

KOLLEKTÖRSÜZ KOLON FLOTASYONUNDA
HİDROFOBİK FRAKSİYON VE TANE
BOYUTUNUN ETKİSİ

İbrahim SÖNMEZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1996

42712

KOLLEKTÖRSÜZ KOLON FLOTASYONUNDA HİDROFOBİK FRAKSİYON
VE TANE BOYUTUNUN ETKİSİ

İbrahim SÖNMEZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
1996

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı tarafından M-68
nolu Yüksek Lisans projesi ile desteklenmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Meftuni YEKELER

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Mehmet CANBAZOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ünal AKDEMİR

Üye : Yrd.Doç.Dr. Meftuni YEKELER

CM/1
Ünal Akdemir
Meftuni Yekeler
23/08/96

ONAY

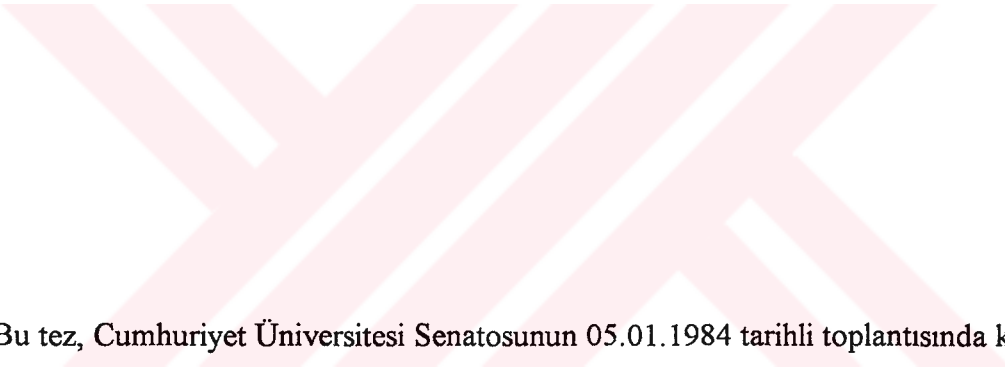
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

02.09 1996

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Doç.Dr. Sezai ELAĞOZ





Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan "Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Klavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kolon Flotasyonu	4
1.2. Flotasyon Çeşitleri	5
1.2.1. Engelli (Hindered) Flotasyon	7
1.2.2. Serbest (Free) Flotasyon	8
1.2.3. Geçiş (Transitional) Flotasyonu	9
1.3. Flotasyon Kinetiği	11
1.3.1 Birinci dereceden ($n=1$) için	12
1.3.1.1. Birinci dereceden eşitliğin sürekli akım tekniklerine uygulanması	14
1.3.2. İkinci dereceden ($n=2$) için	15
1.3.3. Non-integral derece ($1 < n < 2$) için	16

1.4. Flotasyonu Etkileyen Fiziksel Faktörler	18
1.4.1. Karıştırma	18
1.4.2. Besleme Hızı	18
1.4.3. Tane Boyutu	18
1.4.4. Pülp Yoğunluğu	22
1.4.5. Hava Kabarcıkları	22
1.4.6. Hidrofobluk derecesi	23
2. MATERYAL VE METOT	29
2.1. Materyal	29
2.1.1. Talk	29
2.1.2. Kalsit	30
2.1.3. Kömür	31
2.2. Metot	31
3. BULGULAR	33
3.1. Talk Flotasyonu.....	33
3.2. Talk ve Kalsit Karışımlarının Flotasyonu	40
3.3. Kömür Flotasyonu	47
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	54
4.1. Tartışma ve Sonuçlar	54
4.2. Öneriler	56
5. KAYNAKLAR	57
6. ÖZGEÇMİŞ	59

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

KOLLEKTÖRSÜZ KOLON FLOTASYONUNDA HİDROFOBİK FRAKSİYON
VE TANE BOYUTUNUN ETKİSİ

İbrahim SÖNMEZ
Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Meftuni YEKELER

Yüksek derecede hidrofobiklik özelliğine sahip farklı boyut fraksiyonlarındaki talk minerallerinin kolon flotasyonu hücresindeki tane boyutu etkisini araştırmak için flotasyon hız sabiti (k) değeri elde edilmiştir. Yapılan flotasyon kinetiği testleri 30 saniyeden, maksimum verimin elde edildiği 240 saniye'ye kadar olmuştur.

%100 hidrofobik mineral yüzdesine sahip -38 μm boyutundaki saf talk en yüksek verimi vermiştir (%97.53). Boyut fraksiyonları kaba boyuta yükseldikçe hem elde edilebilecek maksimum verimler hem de flotasyon hız sabitleri (k) azalmıştır.

Tamamıyla hidrofilik (suyu seven - suda ıslanan) özelliğe sahip kalsit minerali kollektörsüz olarak %25 ağırlık yüzdesi ile %75 talk ile karıştırılıp yüzdürüldüğünde konsantrasyon verim %57.40'a düşmüştür. %100 kalsit içeren (yani %0 talk) numune %5.63 değeri ile en düşük verim değerini vermiştir. Flotasyon hız sabitleri de aynı azalma eğilimini göstermiştir.

Kömür ile yapılan flotasyon deneylerinde de tane boyutu 250 μm 'nin üzerindeki tane boyutunda maksimum verim ve flotasyon hız sabiti (k) değerleri düşmektedir. Daha ince boyutlarda ise maksimum verim (%98.13) ile flotasyon hız sabiti ($k=7.08 \text{ dak.}^{-1}$) yüksek değerlere ulaşmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Hidrofobik, Hidrofilik, Kolon Flotasyonu,
Flotasyon Hız Sabiti, Talk, Kalsit, Kömür

SUMMARY

MsC Thesis

EFFECT OF THE HYDROPHOBIC FRACTION AND PARTICLE SIZE IN
THE COLLECTORLESS COLUMN FLOTATION KINETICS

İbrahim SÖNMEZ

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Mining Engineering

Supervisor: Yrd.Doç.Dr. Meftuni YEKELER

In order to investigate the particle size effect of a highly hydrophobic talc mineral, different size fractions were floated in the column flotation to obtain the flotation rate constants (k). The tests performed for the kinetics of flotation were from 30 seconds to 240 seconds at which maximum floatable particles were obtained.

Pure talc (or containing 100 % hydrophobic fraction) gave the highest recovery (97.53 %) for the particles whose sizes were below 38 μm . Therefore, as the particle size fractions moved the coarser, the maximum recoveries went down, as well as the flotation rate constants (k).

The talc mineral containing different fractions of calcite, which is highly hydrophilic mineral with no chemicals used, gave also the highest recovery (57.40 %) when the fraction of talc is the highest (75 % talc + 25 % calcite). The lowest recovery was obtained to be 5.63 % when 0 % talc and 100 % calcite were present. The flotation rate constants showed the same decreasing trend while hydrophilic fractions were increased.

Different size fractions of coal were also floated in cloumn flotation cell to obtain flotation rate constant (k). The kinetic tests were performed from 10 seconds to 240 seconds as well. The lowest recovery was to be 9.83% and flotation rate constant was to be $k=0.21 \text{ min.}^{-1}$ for -500+355 μm size fraction.

KEY WORDS: Hydrophobic, Hydrophilic, Column Flotation,
Flotation Rate Constant, Talc, Calcite, Coal

TEŞEKKÜR

Tez alıőmasının her aőamasında bŸyŸk ilgi ve desteğini gŸrdŸęŸm, eleőtirileri ile beni yŸnlendiren Danıőmanım Sayın Yrd.Do.Dr. Meftuni YEKELER'e teőekkŸr ederim.

YŸksek Lisans ve tez çalıőmam sırasında desteklerini esirgemeyen FakŸlte Dekanı Sayın Prof.Dr. Mehmet CANBAZOğLU'na, BŸlŸm Baőkanı Sayın Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ'ye, Ÿęretim Ÿyeleri Sayın Yrd.Doç.Dr. Ÿnal AKDEMİR'e, Sayın Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ' ye ve Maden MŸhendislięi personeline teőekkŸr ederim.

Bu çalışmada kullanılan numuneleri temin eden Barit Maden TŸrk A.Ő.'nin Sivas Selestit İőletmesi MŸdŸrŸ Sayın Emin TEKE'ye ve Őęr.GŸr. Őmer LŸtfi SŸL'e ayrıca teőekkŸr ederim.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Süreksiz ve sürekli test yöntemlerinin şematik gösterimi	2
Şekil 2. Flotasyon kinetiğinin karakteristikleri	6
Şekil 3. Kolon flotasyonunda konsantre boyutu ve hızının besleme hızı ile değişimi	20
Şekil 4. Değişik kollektör konsantrasyonlarında tane boyutu ile flotasyon hızının değişimi	21
Şekil 5. Pülp yoğunluğunun flotasyon hızı üzerindeki etkisi	24
Şekil 6. Pülp yoğunluğu ve pülp akış hızının kalsit flotasyonunda verime etkisi	25
Şekil 7. Verimin, hava kabarcığı boyutu ile değişimi	26
Şekil 8. Kömür flotasyonunda temas açısının karbon içeriği ile ilişkisi ..	27
Şekil 9. Kömür flotasyonunda kollektör tüketimine bağlı olarak verim değişimi	28
Şekil 10. Flotasyon deneylerinde kullanılan kolon hücresinin kesiti	29
Şekil 11. Flotasyon veriminin zamana göre değişimi	35
Şekil 12. Selülde kalan miktarın flotasyon zamanı ile değişimi	36
Şekil 13. Flotasyon hız sabitinin tane boyutu ile değişimi	37
Şekil 14. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi	38
Şekil 15. Maksimum verimin tane boyutuna ile değişimi	39
Şekil 16 Flotasyon veriminin zamana göre değişimi	42

Şekil 17. Selülde kalan miktarın zamana göre değişimi	43
Şekil 18. Flotasyon hız sabitinin hidrofobik fraksiyonla değişimi	44
Şekil 19. Maksimum verimin hidrofobik fraksiyonla değişimi	45
Şekil 20. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi	46
Şekil 21. Flotasyon veriminin zamana göre değişimi	49
Şekil 22. Selülde kalan miktarın flotasyon zamanı ile değişimi	50
Şekil 23. Flotasyon hız sabitinin tane boyutu ile değişimi	51
Şekil 24. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi	52
Şekil 25. Maksimum verimin tane boyutu ile değişimi	53

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Deneyleerde kullanılan talk mineralinin kimyasal analiz sonuçları	29
Tablo 2. Deneyleerde kullanılan kalsit mineralinin kimyasal analiz sonuçları	30
Tablo 3. Deneyleerde kullanılan kömüre ait kimyasal analiz sonuçları	31
Tablo 4. Flotasyon deneyi koşulları	32
Tablo 5. Talk flotasyonunda elde edilen verim ve selülde kalan miktar değerleri	34
Tablo 6. Talk flotasyonun ayrıntılı sonuçları	37
Tablo 7. Talk ve kalsit karışım flotasyonun verim ve selülde kalan miktar değerleri	41
Tablo 8. Talk ve Kalsit karışım flotasyonunun ayrıntılı sonuçları	44
Tablo 9. Kömür flotasyonunda elde edilen verim ve selülde kalan miktar değerleri	48
Tablo 10. Kömür flotasyonun ayrıntılı sonuçları	51

1.GİRİŞ

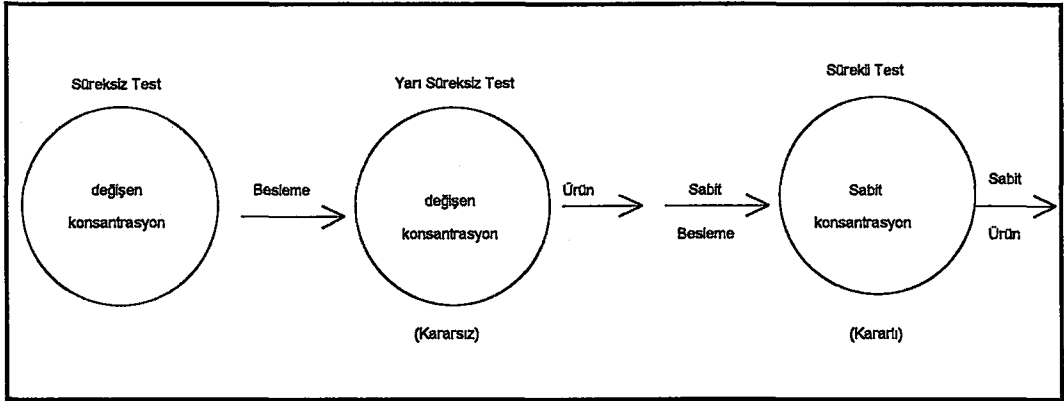
Köpük flotasyonu, pülpte karışım olarak bulunan değerli ve değersiz mineralleri birbirinden ayırmak için cevher hazırlamada yaygın bir şekilde kullanılan fiziko-kimyasal metotlardan biridir. Metod, hava kabarcıklarının mineral ile temas etme esasına dayanan, reaktifler kullanarak ya da doğal hidrofobluktan yararlanarak uygulanan bir yöntemdir (Jameson ve Ark., 1977).

Flotasyon kinetiği, sistemdeki mineral partiküllerinin davranışının zamanın bir fonksiyonu olarak dikkate alınmasıdır. Flotasyon bir çok araştırmacı tarafından hız metodu olarak çalışılmıştır. Bazı araştırmacıların 1.5 veya 2. dereceden hız eşitliğine daha iyi uyduğunu iddia etmelerine rağmen araştırmacıların çoğu flotasyon hızını birinci dereceden kabul etmektedir (Imaizumi ve Inoue, 1965).

Partiküllerin flotasyon hızlarını belirlemek için standart bir prosedür yoktur. Bir çok flotasyon selülü süreksiz (batch) ve sürekli (continuous) yöntemlerde kullanılmaktadır. Batch flotasyon testinde pülp miktarı, kollektör v.b. selülde yer alır ve flotasyon başlar. Köpük selülün üst kısmında oluşmaya başlar ve sık sık elle sıyrılarak alınır.

Süreksiz flotasyon aslında bir kararsız (non-steady state) işlemdir. Çünkü; partikül konsantrasyonu, kollektör, köpürtücü v.b. unsurlar test boyunca değişir. Buna rağmen sistemi kurmak nispeten kolay ve malzeme sarfiyatı düşük olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sürekli flotasyon, flotasyon tesislerinde (gerçek koşullarda) daha çok kullanılmaktadır. Fakat laboratuvarında selül dengeye gelmeden önce çok zaman geçer. Ayrıca doldurma ve hazırlama problemleri ile birlikte çok miktarda pülp v.b. lerine ihtiyaç vardır (Arbiter ve Harris, 1962). Süreksiz ve sürekli test yöntemlerin uygulandığı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Süreksiz ve sürekli test yöntemlerinin şematik gösterimi (Arbiter ve Harris, 1962)

Flotasyon sonuçlarını etkileyen değişkenlerin sayısı çok fazladır. Bunlar üç ana gruba ayrılabilirler:

-Cevher ve mineral özellikleri: mineral özellikleri tarafından belirlenen partikül şekli ve kütlesi,

-Reaktif uygulaması, kolektör konsantrasyonu,

-Flotasyon makinasının karakteristikleri, hava kabarcığı boyutu ve sayısı (Arbiter ve Harris, 1962).

Flotasyon işleminde konsantrenin tenörünü ve verimini tanımlayan faktörler, yani flotasyonun olabilirliği (P), aşağıdaki şartların başarısına bağlıdır:

-Bir mineral taneciği ile hava kabarcığı çarpışma olasılığı (P_c),

-Partikülün hava kabarcığına tutunma olasılığı (P_a),

-Hava kabarcığına tutunan taneciğin pülp yüzeyine taşınabilme olasılığı (P_e),

-Partikülün köpük kolonunda temizleme hareketinde stabil olarak kalmasına ve konsantrede belirmesinin olasılığına bağlıdır (P_f).

$$P = P_c P_a P_e P_f \quad (1.1)$$

P_e havaya yükselme olasılığı olarak tanımlanabilir ve dengedeki temas açısı (θ), partikül ve hava kabarcığı çaplarının (a ve b) bir fonksiyonudur. Bir mineralin

hava kabarcığı ile çarpışma olasılığı (Pc) aşağıdaki değişkenlerin bir fonksiyonudur ve birimsiz B parametresi ile ilişkilidir.

$$B = \frac{2a^2 \rho_m v}{9b\eta} \quad (1.2)$$

a : tanecik çapı,

b : hava kabarcığı çapı,

v : tanecik ve hava kabarcığının relatif hızları,

η : sıvının viskozitesi,

ρ_m : partikül yoğunluğu.

Flotasyon teorisinin deneysel olarak doğrulanması, olasılık faktörlerinin izolasyonunu gerekli göstermektedir. Fakat onların ardışık meydana gelişi ve birbirleri ile olan bağılıkları bunu zorlaştırmaktadır. (1.1) nolu eşitliğin genellenmiş hali son iki faktörü (Pe , Pf) önemsiz kabul eder. Sistem dinamik olduğu zaman P 'nin değeri flotasyon hızının tayinini ihtiva eder (Tomlinson ve Fleming, 1965).

1.1. Kolon Flotasyonu

Klasik flotasyon hücreleri, ince tanelerin flotasyonunda verimli olmamaktadır. 1961 yılında bulunan ve 1980'lerin sonunda endüstriyel uygulamaya konan Kolon Flotasyonu, ince tanelerin flotasyonunda yeni bir çağ açmıştır. Daha küçük hava kabarcığı üretmesi ve kolon yüksekliğinden dolayı daha seçimli bir ayırma sağlamaktadır.

Kolon flotasyonu bakır, molibden, demir, kurşun, çinko, altın, kaba ve ince kömür, lityum, manyezit, talk, fosfat ve diğer minerallerin zenginleştirilmesinde yüksek tenör elde etme imkanı sağlamaktadır. Kolon flotasyonu hücrelerinin yükseklik/çap oranı büyüktür. Genellikle yükseklikleri 5-20 m arasında, çapları ise 4 m 'ye kadar olmaktadır.

Kolon Flotasyonunun avantajları şöyle özetlenebilir:

- Yüksek tenörlü konsantre üretilebilir,
- Köpükte gangın etkisini azaltır,
- Hava kabarcığının pülp içinde kalma süresini yükseltir,
- Selektiviteyi sağlar,
- Enerji tasarrufu sağlar,
- Kontrol ve kullanımı kolaydır.
- İşletme maliyeti düşüktür.

Kolon Flotasyonunun dezavantajları ise:

- Düşük verimde çalışırlar,
- İlk yatırım maliyetleri yüksektir,
- Ölçek büyütme ve dizayn etmek zordur.

Endüstride sekiz farklı şekilde Kolon Flotasyonu Hücresi mevcuttur. Bunlar: Canadian, Turbo-Air, Microcel, Diester, Cominco, Packed, Hydrochem ve Jameson tipi hücrelerdir (Yoon, 1994).

1.2. Flotasyon Çeşitleri

Flotasyon kinetiğini açıklayan diferansiyel eşitlik genellikle birinci dereceden (First Order) kimyasal kinetiğe benzer şekilde yazılır.

$$dC_p = -kC_p C_b dt \quad (1.3)$$

C_p : pülpteki hidrofobik katıların konsantrasyonu, g / cm³

C_b : pülpteki hava kabarcığı konsantrasyonu, l / cm³

k : flotasyon hız sabiti, 1 / dak.

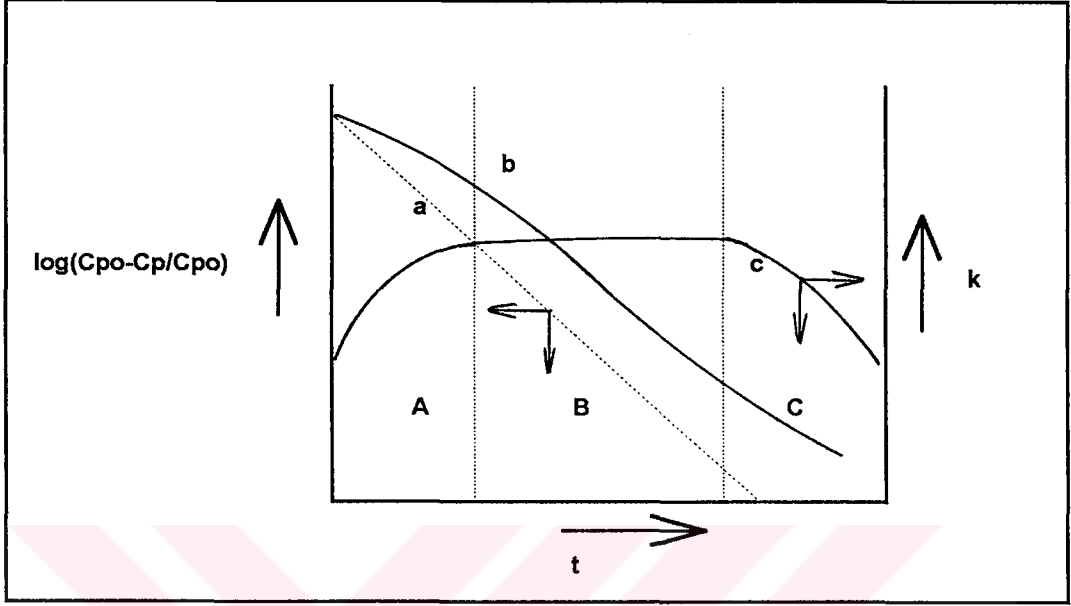
t : zaman, dak.

Daha sonra flotasyon sistemi için C_b sabit kabul edilir ve (1.4) nolu eşitlik

$$dC_p = -kC_p dt \quad (1.4)$$

elde edilir. Dördüncü eşitlik entegre edildikten sonra grafiği çizilirse, Şekil 2'de görüldüğü gibi eğimi $-k$ olan bir doğru elde edilir (Çizgi a). Bu şekil genelde flotasyon sistemlerinin çoğunun tanımlayıcısı olarak kabul edilir. Fakat flotasyon kinetiğinin yayımlanmış çalışmalarının çoğu test sonuçlarının lineer formu takip etmediğini göstermektedir. B çizgisi deney sonuçlarının teorik karakteristiktan yaygın sapmalarını göstermektedir. Görüldüğü gibi gerçek flotasyon yöntemini farklı flotasyon hız değerleri ile ayırt edilen üç bölüme ayırabiliriz (A,B,C).

Yöntemin başlangıcını oluşturan A bölümü, pülpte yüzebilir katıların yüksek bir konsantrasyonu ile tanımlanır bu bölümde flotasyon hızı düşüktür. Daha sonra yüzen katıların bir kısmı pülpten alınır ve flotasyon hızı verilen yöntem için maksimum değere kadar yükselir. Bu B bölümünün karakteristiği ile sunulur. Grafikte C bölümü olarak gösterilen kısımda katıların büyük bir kısmı pülpten alındığı zaman flotasyon hızı genellikle tekrar azalır. Bazen bu azalma sert olabilir. Yani flotasyon hemen hemen durur ve katının tamamını almak imkansızdır.



Şekil 2. Flotasyon kinetiğinin karakteristikleri (Szatkowski, 1987)

Plaksin, Klassen ve Berger'in analizleri değişik koşullarda uygulanabilir (Plaksin ve Ark., 1956). Onların genel eşitliği;

$$\frac{dn}{dt} = Z\emptyset N(n_0 - n) \quad (1.5)$$

n : yüzdürülen pülpte birim hacimdeki tanecik sayısı, $t = t$,

n_0 : pülpün birim hacimindeki tanecik sayısı, $t = 0$,

N : birim hacimdeki hava kabarcığı sayısı, $t = t$,

Z : sabit, (çarpışmanın olasılığı ile ilgili), (Pc),

\emptyset : efektif çarpışma oranı (Pa , Pe , Pf) ile ilgili.

N ve $(n_0 - n)$ karakterleri arasındaki ilişki, yöntemi karakterize eder ve üç durum vardır. Flotasyon kinetiğinin üç aşaması havanın flotasyon olaylarına etkisine dayanarak analiz edilecektir.

1.2.1. Engelli (Hindered) Flotasyon:

Flotasyonun başlangıcında engelli flotasyon kinetiği hava kabarcığının yüzey ve yüzey hassasiyeti sınırlamasından kaynaklanmaktadır. Flotasyon zamanı selülden ilk köpüğün alınmasıyla başlar. Köpüğün şekli için gerekli başlangıçtaki kütle birikimi kinetik analizine dahil değildir.

Hava kabarcıkları tarafından yeteri derecede tanecik toplanması ve yüksek C_p için, pülp içindeki hava kabarcıkları tamamen hidrofobik partiküller tarafından kaplanmaktadır. Pülp içinde yeterli miktarda tanecik bulunması kabarcıklarının kaplanmasını tamamlamayı kolaylaştırır. Yüzen materyallerin miktarı pülpe giren hava kabarcıklarının yüzey alanları ile orantılı olacaktır. Yüzey sınırlamasının etkisi Tomlinson ve Fleming (1965) tarafından Engelli (Hindered) Flotasyon olarak isimlendirilmiştir.

Szatkowski ve Freberger (1985) yüzme hassasiyeti sınırlamasının yalnızca pülp içinde meydana gelen hava kabarcıklarının boyutunun, kritik hava kabarcığı boyutundan daha küçük olduğu zamanlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kritik hava kabarcığı boyutu; mineraller tarafından tamamen kaplanan ve pülp içinde yüzeye taşıyabilecek kadar yeterli yüzebilirliğe sahip olan hava kabarcığının boyutuna denir (critical bubble size). Bu araştırmacılar tarafından sunulan yüzey ve/veya yüzme hassasiyeti sınırlamasının meydana gelebileceği koşulların tahmin edilmesine izin vermektedir. Pülp içindeki hava akım hızının ve hava kabarcığı boyut dağılımının uygun düzeltmelerle bu sınırlamalar iptal edilebilir. (Szatkowski, 1987).

Pülpün altından üstüne doğru yükselen her hava kabarcığı partikül ile tamamen doymuş hale gelir veya yüzey kapasitesi ya da kaldırma gücü tarafından yüklü partiküllerle yüzeye ulaşır. dn / dt yalnızca havalandırma hızına bağlı olur. Eğer bu sabit olursa;

$$\frac{dn}{dt} = kN = K_o \quad (1.6)$$

Bir dereceye kadar idealize edilmiş sınırlı şartlar altında hız sabiti k_o ve partikül konsantrasyonu ile ilgili olarak flotasyon hızı sıfırcı dereceden olur.

Partiküllerin devam eden taşınması ile dn / dt sabitleşecek ve flotasyon hızı birinci dereceye geri dönecektir. Uygulamalarda genellikle partiküller köpükten alındıkça flotasyon engelli flotasyondan serbest flotasyona doğru ilerler. Fakat \emptyset' nin değeri (efektif çarpışma oranı) düşecektir. Çünkü kolay yüzen partiküller yüzecektir. (Tomlinson ve Fleming, 1965).

1.2.2. Serbest (Free) Flotasyon:

Hava kabarcıklarının yüzeyine toplanan katıların miktarı pülp içindeki katıların miktarı kadar olunca C_p hemen yükselir. Flotasyon düzgün bir hat izlemeye başlar. Bu basamak Tomlinson ve Fleming (1965) tarafından Serbest (Free) Flotasyon olarak adlandırılmış ve anlaşıldığı gibi tek bir parametre ile tanımlanmaktadır (hız sabiti, k).

Serbest flotasyon hava kabarcıklarının tanecikler tarafından seyrek olarak kaplandığı ve hiç bir zaman hava kabarcığı noksanlığının olmadığı koşullar altında meydana gelir. Tek bir partikül taneciği için ve sabit hava kabarcığı hızında (1.7) nolu eşitlik elde edilir;

$$\frac{dn}{dt} = k_1(n_o - n) \quad (1.7)$$

(1.7) nolu eşitliğin integrali alınınca aşağıdaki eşitlik ,

$$\log(1/1 - R) = k_1 t \quad (1.8)$$

elde edilir.

Burada; R : Verim n/n_o 'dır

Yani serbest flotasyon şartları altında hız sabiti k_f ile partikül konsantrasyonu konusunda flotasyon hızı birinci derecedendir. (Tomlinson ve Fleming, 1965).

1.2.3. Geçiş (Transitional) Flotasyonu:

Bu flotasyon yukarıda bahsedilen iki durum arasındaki tüm koşulları kapsar. Flotasyon hızı hem kullanılabilir hava kabarcığı kapasitesi hem de partikül konsantrasyonu tarafından etkilenir. Bu durum birinci dereceden çok sıfıncı derece kurallarına benzemektedir (Tomlinson ve Fleming, 1965).

Hidrofobik katıların çoğu pülpten alındıktan sonra flotasyon hızı anlamlı bir şekilde düşer. Bu olayın açıklaması literatürde iki şekildedir. Birincisi; hidrofobik partiküllerin yüzebilirliklerinde farklılık olduğunu kabul eder. Bunlar ya tane boyutundaki farklılıklar ile yüzey özelliklerine ya da kollektörlerin dengesiz dağılmasına bağlarlar (Imazume ve Inoune, 1965). Diğer açıklama (Mori ve Ark, 1986) minerallerle zayıf kaplanmış köpüğün düşük stabilitesini hesaba katar.

Katı oranı çok düşük çözeltilerde mineral partiküllerinin toplanması ile ilgili probleme neden olan önemli başka bir faktörün olduğu farzedilmektedir. Fakat hava kabarcığı ile tanecik birleşmesi henüz direkt olarak ölçülememiştir. Bazı indirekt sonuçlar bulunmaktadır. Bunlar kuvvetli bir şekilde olayın aşağıdaki gibi meydana geldiğini ileri sürmektedirler:

Flotasyon pülpüne giren hava kabarcıkları iki çeşit reaksiyona başlar: hidrofobik partiküllerin toplanması ve diğer hava kabarcıkları ile birleşme. Hidrofobik partiküllerin hava kabarcıkları tarafından toplanma hızı, hava kabarcığı boyutu, partikül boyutu ve pülpteki partikül konsantrasyonuna bağlıdır (Jameson ve Ark, 1977). Hava kabarcığı birleşmesini etkileyen bazı fiziksel temel faktörler, hava kabarcığı çarpışma frekansını belirleyen pülpteki hava kabarcığı konsantrasyonu ve hidrofobik partiküllerin yüzey kaplama derecesidir.

Köpürtücü MIBC (metil izobütil karbünol) içeren fakat katı içermeyen su dolu bir kolonda yapılan birleşme ölçümleri, yüksek konsantrasyondaki hava kabarcıklarının hava kabarcığı büyüme hızını arttırdığını göstermiştir (Szatkowski,

1987). Ayrıca, hava kabarcığı kaynağından çok kısa bir mesafede hızlı bir büyümenin olduğu ve hava kabarcığının belirli bir maksimum değere ulaştığında büyümenin kesildiği ileri sürülmüştür. Bu maksimum boyut sabit kalmakta ve kolonu baştan başa terk etmektedir. Kuvars flotasyonunda hava kabarcığı büyümesi, hava kabarcıklarının partiküller tarafından tamamen kaplandığı noktaya kadar olur (Szatkowski ve Freberger, 1985).

Bu gözlemlerin ışığında katı oranı çok düşük bir çözeltiliye beslenen havanın hidrofobik partiküller tarafından yüzey korumasının yokluğundan dolayı hızlı bir şekilde birleşeceği farzedilebilir. Birleşme, hava kabarcığı çaplarının büyümesi ile, hava kabarcığı birleşme frekansının hızlı bir artışına imkan verecektir. Birleşmenin aşırı olduğu durumda hava kabarcığı oldukça hızlı büyür ve genişler. Pülp ölçülebilir miktarda hidrofobik mineral içerse bile flotasyon hemen hemen sona erer.

Pülpteki birleşmenin anlaşılması birçok flotasyon sisteminde flotasyonun nasıl başarılı olduğunu açıklamada kullanılabilir. Düşük hidrofobik partikül konsantrasyonlu pülpte (örneğin düşük tenörlü sülfürlü cevher flotasyonu) hava kabarcıkları maksimum boyuta hızlı ulaşacaklardır. Bu maksimum boyut katı konsantrasyonunun değişimi ile önemli bir şekilde etkilenmeyecektir. Hava kabarcığı boyutu ve konsantrasyonu sistemin başından sonuna kadar hemen hemen hiç değişmeden kalacaktır. Pülpte geniş hava kabarcıkları ve düşük katı konsantrasyonu olduğu zaman önceki sınırlamaların hiç biri meydana gelmeyecektir. Bu şartlar altında Cb' nin etkilerinin sabitliği tahmini haklı çıkacaktır (Szatkowski, 1987).

1.3. Flotasyon Kinetiği

Flotasyon kinetiği, flotasyon zamanı ile köpük üst akım değişim miktarının ölçümü ve bütün hız kontrol değişkenlerinin nicel olarak belirlenmesidir. Bu değişkenler; flotasyon hız sabiti, flotasyon zamanı ile yüzen mineral arasındaki matematiksel ilişkidir (Tomlinson ve Fleming, 1965).

Hız, flotasyon koşullarını meydana getiren bir çok fiziksel ve kimyasal faktörlerin bir fonksiyonudur. Bu nedenle katıların pülpten nasıl daha hızlı taşınabileceğini ifade eden ve ekonomik sonuçları etkileyen bir parametredir. Flotasyon hız sabiti (k')'nın değeri tek açıdan flotasyon verimini göstermez.

Flotasyon kinetiği kimyasal kinetiğe benzer şekilde yazılır.

$$\frac{dC}{dt} = -k' C^n C_a^{n_a} \quad (1.9)$$

Burada;

C : konsantrasyon (M/V), (M = kütle, V = hacim)

n : reaksiyon derecesi,

C_a : hava konsantrasyonu,

k' ise reaktif konsantrasyonu, partikül ve hava kabarcığı boyutları, flotasyon zamanı, selül tipi, köpük alma hızı gibi özelliklerden oluşan kompleks bir fonksiyon içerir;

Kontrollü bir deneyde aslında bu değişkenler sabittir ve $C=C_0$, $n=n_a$ değiştirilerek tanımlanabilir.

Hava tüketimi sabit, hava kabarcığı konsantrasyonundaki değişim için hiç bir eğilim yoktur. Bu şartlar altında ;

$$\frac{dC}{dt} = -k_n C^n \quad (1.10)$$

Konsantrasyon tanımı tamamen sabit değildir. Çünkü çeşitli değişimler kabul edilmiştir. Genelde

$$C = \frac{M}{V} \quad (1.11)$$

M : katı veya yüzebilen kısım,

V : pülp hacmi, hava içerir veya sadece suyun hacmi olabilir.

V , deney boyunca sabit olabilir. Formülü sabitleştirmek için V sabitlenir.

$$R = \frac{M_o - M}{M_o} \quad (1.12)$$

$$R = \frac{C_o - C}{C_o} \quad (1.13)$$

C_o : başlangıçta selülde kalan miktarı,

C_∞ : son şekliyle yüzmeyip selülde kalan miktarı ifade eder.

$$R_\infty = \frac{M_o - M_\infty}{M_o} = \frac{C_o - C_\infty}{C_o} \quad (1.14)$$

Eğer M yüzebilen mineral ise $M_\infty = 0$, $C_\infty = 0$ ve $R_\infty = 1$ olur.

1.3.1. Birinci dereceden ($n=1$) için;

$$C_i = C_o, t = 0 \text{ 'da}, C_i = C, t = t \text{ 'de}$$

$$C = C_o e^{-k_1 t} \quad (1.15)$$

Grafiksel sunum için

$$\ln \frac{C_0}{C} = k_1 t \quad (1.16)$$

Birinci dereceden eşitlik uygulanarak normal veya log-normal eksenel sistemde çizilen C_0 / C ye karşı t grafikleri k eğimli bir eğri verir. Zaman uzatılsa bile bazı materyaller selülde kalacaktır. Yani C_0 uzun zaman sonunda yüzecek olan besleme malı seçilebilir. Bu yarı-süreksiz (semi-batch) test ile açıklanabilir. Çünkü bu test son aralıkta önemsiz miktarda bir materyal yüzene kadar devam eder. Artıkta kalan materyal konsantrasyonun (C_∞), beslemeden (C_0) çıkarılması ile elde edilen ($C_0 - C_\infty$), (1.15) nolu eşitlikteki C_0 'in yerini alır ve uygun limitler arasında integre edilirse.

$$\frac{dC}{dt} = -k_n [C - C_\infty]^n \quad (1.17)$$

(1.9) ve (1.17) nolu eşitlikteki hız sabiti C ' yi tanımlamalarından dolayı farklıdır.

C_∞ değeri direkt olarak bilinmemektedir. Ancak (1.18) nolu eşitlikle elde edilir:

$$C - C_\infty = [C_0 - C_\infty] e^{-k_1 t} \quad (1.18)$$

Garcia (1935) ve Morris (1952) $C_0 - C_\infty / C - C_\infty$ ye karşı t 'yi çizerek C_∞ 'yi elde etmişler. Bu metod fazlasıyla uzun olabilir, fakat C_∞ 'ı direkt olarak tanımlamak için grafiksel prosedür vardır.

(1.13) ve (1.14) nolu eşitlikteki değer (1.17) nolu eşitlikte yerine konursa

$$\frac{dR}{dt} = -k_n C_o^{n-1} [R - R_\infty]^n \quad (1.19)$$

$n = 1$, $C_o = 0$ ve $t = 0$ 'da $R = 0$ göz önüne alınarak integre edildiğinde

$$R = R_\infty [1 - e^{-k_1 t}] \quad (1.20)$$

Bu eşitlik ilk defa ampirik olarak Garcia (1935) tarafından ortaya atılmıştır.

1.3.1.1. Birinci dereceden eşitliğin sürekli akım tekniklerine uygulanması:

$$k = \frac{C_c Q_c}{C_f V_p} \quad (1.21)$$

C_c : konsantre miktarı,

C_f : artık miktarı,

Q_c : konsantre kazanım hacim hızı,

V_p : selüldeki pülp hacmi,

(1.12) nolu eşitlik (1.21) nolu eşitlikte yerine konursa (1.22) nolu eşitlik elde edilir.

$$R' = \frac{k\lambda}{1 + k\lambda} \quad (1.22)$$

R' : selüldeki fraksiyonel verim (R / R_∞), tüm minerallerin yüzdüğü kabul edilirse $R_\infty = 1$ olur.

λ : selülde kalma zamanı, (nominal residence time)

1.3.2. İkinci dereceden (n=2) için:

$n = 2$, $t = 0$, $C = C_0$ ve $t = t$, $C = C$ sınırları ile integre edilirse,

$$C = \frac{C_0}{1 + C_0 k_2 t} \quad (1.23)$$

Grafiksel sunum için

$$\frac{C_0}{C} = 1 + C_0 k_2 t \quad (1.24)$$

(1.17) nolu eşitlik integre edilirse (1.23) nolu eşitlikten daha karmaşık olur.

$$C = \frac{C_0 + C_\infty [C_0 - C_\infty] k_2 t}{1 + [C_0 - C_\infty] k_2 t} \quad (1.25)$$

(1.25) nolu eşitlik, (1.23) nolu eşitliğe C yerine $C - C_\infty$, C_0 yerine $C_0 - C_\infty$ konarak elde edilir. $C_\infty = 0$ olduğu zaman (1.25) nolu eşitlik tekrar (1.23) nolu eşitliğe döner.

(1.25) nolu eşitliğin değişik bir şekli Arbiter (1951) tarafından (1.26) nolu eşitlikten elde edilir.

$$\frac{dR}{dt} = k_n [R_\infty - R]^n \quad (1.26)$$

$R = 0$ ve $t = 0$ 'da integrasyon ile,

$$R = \frac{R_\infty^2 k_2 t}{1 + R_\infty k_2 t} \quad (1.27)$$

Grafiksel sunum için

$$\frac{t}{R} = \frac{1}{R_{\infty}^2 k_2'} + \frac{t}{R_{\infty}} \quad (1.28)$$

Hukki (1953) tarafından ise (1.29) nolu eşitlik önerilmiştir.

$$\frac{1}{t} = \frac{k_2' R_{\infty}^2}{R} - k_2' R_{\infty} \quad (1.29)$$

1.3.3. Non-integral derece ($1 < n < 2$) için:

Araştırmacıların çoğu hem birinci hem de ikinci dereceden hız eşitliğinde aynı fikri paylaşımlarına rağmen gerekli bir neden yokken n' nin değerinin 13. eşitlikte integre edilmek zorunda olduğu konusunda anlayamamaktadırlar. Aslında Volkovo hız eşitliğinin birinci ve ikinci derecenin arasında olduğu kanısındadır. Birinci dereceden hız eşitliği tek mineral veya çok sulu pülpler için uygulanmaktadır. İkinci dereceden hız eşitliği ise katı oranı yüksek (concentrated pulps) pülplerde veya düşük tenörlü cevherlerde uygulanmaktadır.

Volkova (1946) non-integral derece için aşağıdaki diferansiyel eşitliği önermektedir:

$$\frac{dR_q}{dt} = k_q \frac{[R_{q,\infty} - R_q]^2}{R_{\infty} - R_q} \frac{R_{\infty}}{R_{q,\infty}} \quad (1.30)$$

R_{∞} : Bütün minerallerin toplam verimi,

Q : q. mineral.

Bu eşitlik cebirsel olarak birinci dereceden eşitliktir. İntegrasyonla,

$$k_{qt} = \frac{R_q / R_{q,\infty}}{1 - R_q / R_{q,\infty}} \left[1 - \frac{R_{q,\infty}}{R_q} \left[-\frac{R_{q,\infty}}{R_q} \ln \right] 1 - \frac{R_q}{R_{q,\infty}} \right] \quad (1.31)$$

yalnızca bir durum anlaşılmadığı zaman veya katı-sıvı oranı çok düşük olduğu zaman ($R_{q,\infty} = R_\infty$);

$$k_{qt} = \ln \frac{1}{1 - \frac{R_q}{R_\infty}} \quad (1.32)$$

(1.32) nolu eşitlik birinci derecedendir.

($R_{q,\infty} \ll R_\infty$) olduğu zaman (1.32) nolu eşitlik;

$$k_{qt} = \frac{\frac{R_q}{R_{q,\infty}}}{1 - \frac{R_q}{R_{q,\infty}}} \quad (1.33)$$

haline dönüşür.

İkinci dereceden eşitliğin bir başka şekli integrasyonla çıkarılır. (Arbiter ve Harris, 1962).

$$\frac{dR_q}{R_{q,\infty}} = \frac{k_q}{R_{q,\infty}} [R_{q,\infty} - R_q]^2 \quad (1.34)$$

1.4. Flotasyonu Etkileyen Fiziksel Faktörler

1.4.1. Karıştırma

Flotasyon pülünde karıştırma veya türbülans derecesi flotasyon hızını etkiler. İyi karıştırma partikül-hava kabarcığı temasına yardımcı olur. Fakat, çok hızlı karıştırma partikülleri hava kabarcığından ayıracaktır. Eğer karıştırma derecesi çok düşük olursa partikülleri hava kabarcığına tutunmak için gerekli kinetik enerjiye sahip olamayacaklardır. Yani pülpte karıştırma derecesi önemlidir. Yükselen pülp akış hızında pülp fakirleşmesini azaltmak karıştırma ile olmaktadır. Flotasyon hızı belirli bir değere kadar artan karıştırma ile artmaktadır.

1.4.2. Besleme Hızı

Jawett ve Safvi (1960), Denver flotasyon selülünde kömürün flotasyon hızı üzerinde beslemenin etkisini incelemişler ve verimin besleme hızının artması ile arttığını bulmuşlardır. Fakat, verimin artmasına rağmen kazanılmış yüzebilen katı fraksiyonu besleme hızı arttığı için azalmaktadır. Verim ve besleme hızı genelde birbirinin tersidir. Yüksek verim düşük besleme hızında elde edilir. Fakat bu durumda selül kapasitesi tam olarak değerlendirilemez.

Kolon flotasyonunda besleme hızının ürün boyutu ve hızı üzerindeki etkisi Şekil 3' de verilmiştir. (Yoon, 1994)

1.4.3. Tane Boyutu

Tane boyutunun artması ile, hava kabarcığının partikülle çarpışma verimi artmakta fakat selüldeki verim azalmaktadır. -100+10 μm boyut aralığında verim maksimum olmaktadır. Bu maksimum değerini nedeni tam belli değildir. Bir olasılık, partiküller genişledikçe hava kabarcığı-partikül kombinasyonunun yoğunluğu pülp yoğunluğuna yaklaşmasıdır. Bu nedenle hava kabarcıkları az yüzen

partiküllerle yüklenir. Fakat bu durum onların belirttiği boyuttan daha büyük olduğu zaman meydana gelir. Galen partikülleri ile 1mm çaplı hava kabarcığı içeren ve yoğunluğu 1.3 olan pülpte, yaklaşık çapı 600 μm ' den daha küçük olan partikül yüzeye taşınır. 2 mm çaplı hava kabarcığı içeren pülp ise yaklaşık 1.2 mm çaplı partikülleri yüzeye taşır ve bu belirtilen çaplardan daha büyüktür (Jameson ve Ark., 1977).

Verimin tane boyutu ile değişimi mineral, kollektör ve flotasyon makinasına bağlı olmaksızın aynı eğilimi göstermektedir. İri taneli mineraller için verim sifra doğru hızla azalmaktadır. Geleneksel selüllerde, yaklaşık 35 mesh'den (500 μm) 200 mesh'e kadar olan boyutlarda verim sabit kalmakta ve daha sonra 10-20 μm dolayında flokülasyondan dolayı tekrar azalmaktadır.

Tane boyutu 65 μm 'den büyük olursa flotasyon derecesi birinciden üçüncüye doğru yükselecektir. Spesifik flotasyon hızı 10-37 μm aralığında maksimum olmaktadır. Bunun altındaki ve üstündeki boyutlarda azalacaktır. Fakat 0.1-40 μm aralığındaki hız sabiti fazlaca değişmez (Arbiter ve Harris, 1962).

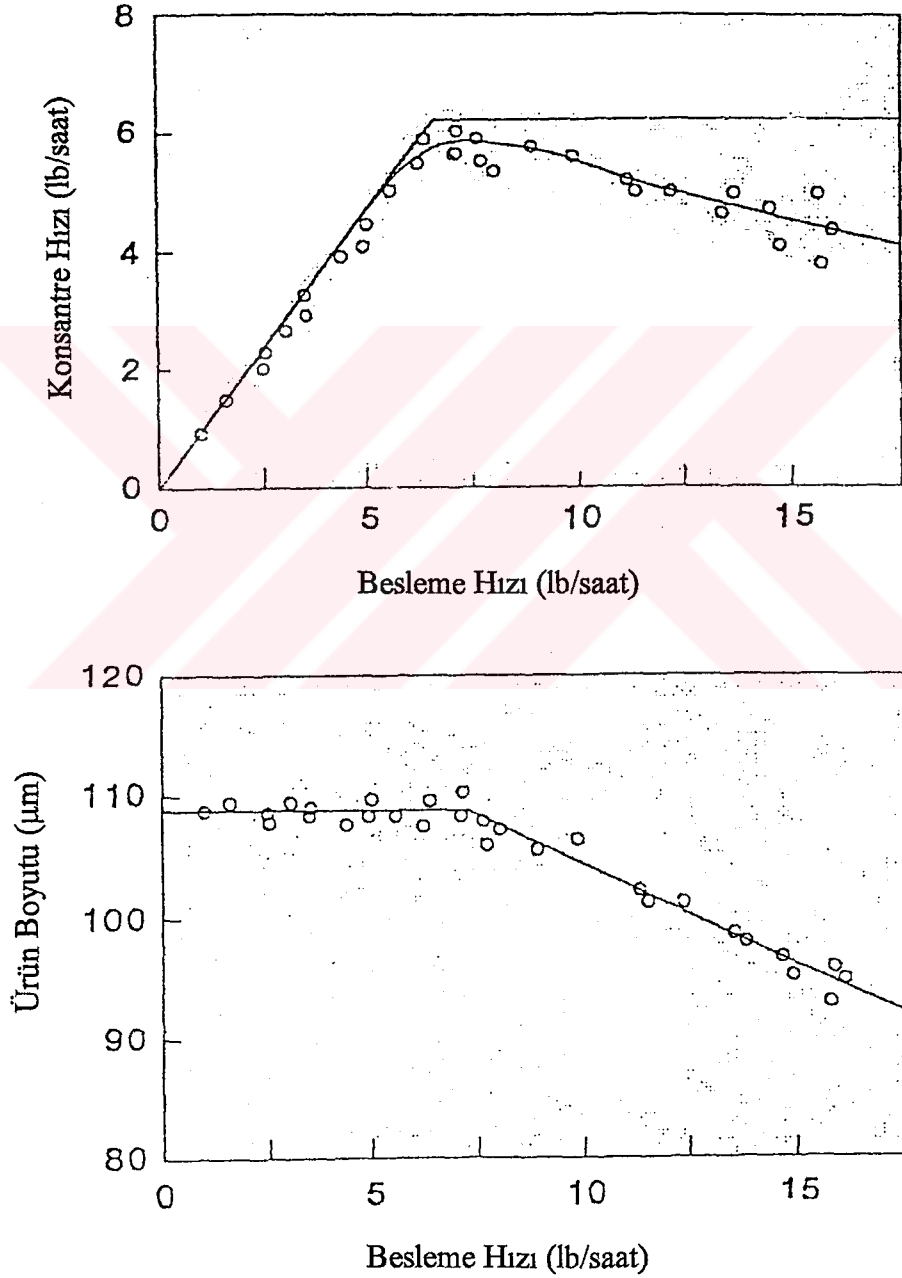
Değişik kollektör konsantrasyonlarında tane boyutu ile flotasyon hızının değişimi Şekil 4' de verilmiştir.

Flotasyon ince boyutlu kömürün ($\cong -600 \mu\text{m}$) zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yapısına bağlı olmakla birlikte, bazı tür kömürlerin doğal yüzebilirlik gösterdiği ve kollektör gerektirmeden yüzdüğü bilinmektedir. Ancak bazı tür kömürlerde ise ıslanmazlık yeteneği daha az olduğundan bazı apolar yağlar flotasyon için gereklidir.

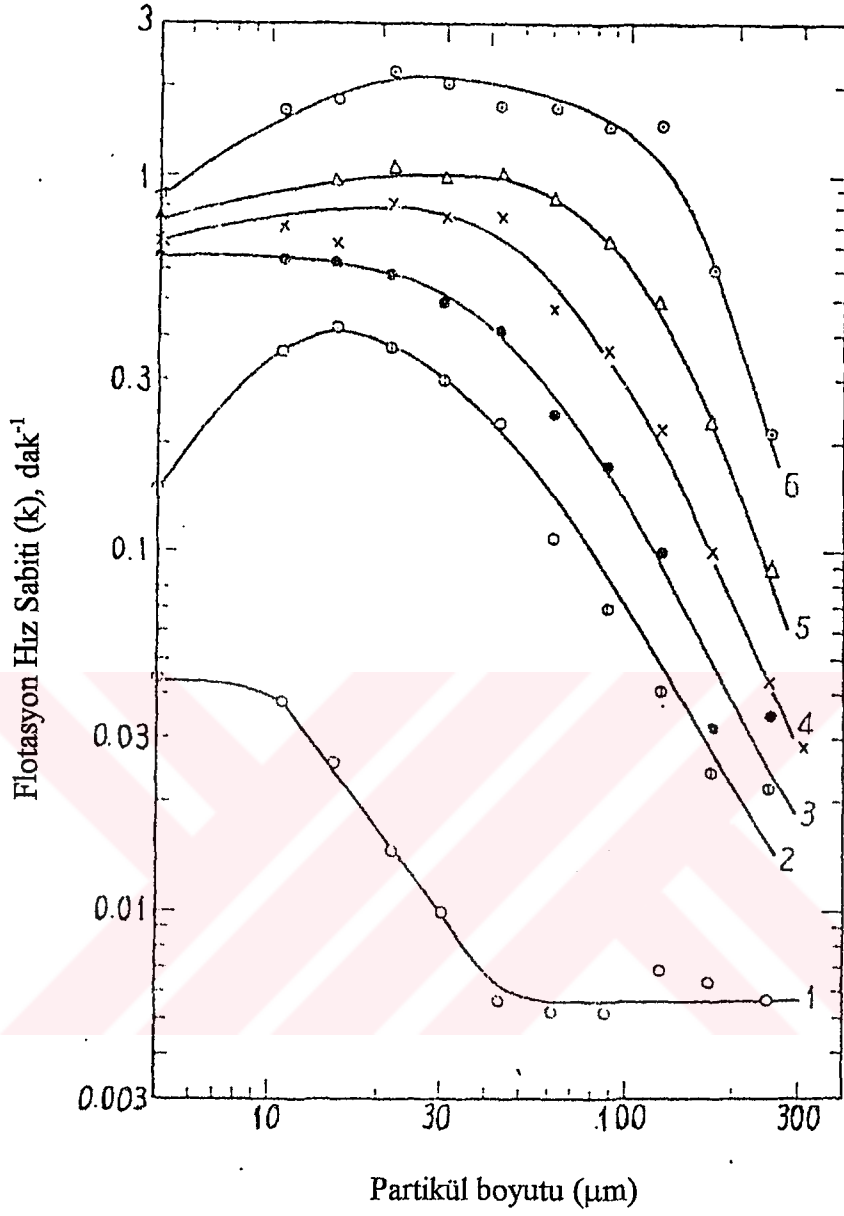
Tane boyutunun kömürün flotasyon hızı ve verimi üzerindeki etkisi üzerine yapılan çalışmalarda şu ana sonuçlara varılmıştır: 1. Flotasyon hızı orta boyutlu malzeme için maksimumdur. 2. Tane boyutu arttıkça yüzebilirlik hızla azalmaktadır. 3. Tane boyutu küçüldükçe yüzebilirlik hızındaki azalış daha yavaş olmaktadır (Ersayın ve Apling, 1989).

Firth ve Diğerleri (1978), beslenen kömürün tane boyutu dağılımının flotasyon performansını önemli ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir. Trahar (1981)

ve Jawett (1983)' ün araştırmalarında ise ince malzemenin yüzebilme hızının iri malzemedan daha fazla olduğu görülmüştür.



şekil 3. Kolon flotasyonunda konsantre boyutu ve hızının besleme hızı ile değişimi (Yoon, 1994)



Şekil 4. Değişik kolektör konsantrasyonlarında tane boyutu ile flotasyon hızının değişimi (Imaizumi ve Inoue, 1965)

Eğri	Kolektör konsantrasyonu (mg/l)
1	0.01
2	0.12
3	0.4
4	1.2
5	4.0
6	12.0

Mineral: Kuvars,
 Kolektör: Dodesil Amonyum Asetat,
 Köpürtücü: Aerofroth No. 60, 20 mg/l,

1.4.4. Pülp Yoğunluğu

Jawett ve Safvi (1960)' nin değişik pülp yoğunluklarında kömürle yaptıkları çalışmalara göre hız eşitliği birinci derecedendir, fakat yüzmeyen mineral miktarı hakkındaki şüpheden dolayı güvenilir bir tahmin yapmak mümkün olamamıştır.

Imaizumi ve Inoue (1965)' nin kömürle yaptığı çalışmalar pülp yoğunluğu arttıkça flotasyon hızının yavaşladığını göstermektedir. Şekil 5, pülp yoğunluğunun flotasyon kinetiği üzerindeki etkisini göstermektedir.

Tomlinson ve Fleming (1965), iki tür flotasyon karakterize etmişlerdir. Engelli flotasyonun yüzebilen minerallerin çok yüksek yoğunluklarında meydana geldiği ve flotasyon hızının yalnızca havalandırma hızına bağlı olduğudur. Bunun anlamı tüm hava kabarcıklarının partikül ile yüklü olarak köpük alma bölgesine yükseldikleridir. Birinci dereceden bir sistem olan serbest flotasyon düşük pülp yoğunluklarında meydana gelmektedir ve hava kabarcıkları seyrek olarak partiküllerle kaplanmaktadır.

Testlerde açıklandığı gibi, partikül hava kabarcığı karışımının (ρA) gerçek yoğunluğu 0.6 civarında olduğu zaman maksimum flotasyon hızına ulaşılır (Tomlinson and Fleming, 1965). Fakat bu verilen yoğunluk değerinde N hava kabarcığından her birinin yalnızca yeterli miktarda tanecik taşıdığını ifade etmez.

Pülp yoğunluğu ve pülp akış hızının kalsit flotasyonunda verime etkisi Şekil 6' da verilmiştir etkisi (Marvos ve Ark., 1990).

1.4.5. Hava Kabarcıkları

Brown (1965) kömürle yaptığı çalışmalarda flotasyon hızı üzerinde hava kabarcığının hızı ve boyutunun etkilerini incelemiştir. Üzerinde çalışılan kömürün tane boyutu 0.2-0.3 mm arasında değişmektedir. Ölçümler her 1000 hava kabarcığının üzerindeki partikül sayısına göre yapılmıştır ve hava kabarcığı çapı 0.1-2.1 mm arasında değişmekte, çoğunlukla 0.2-0.6 mm civarındadır. Ortalama yükleme hava kabarcığının çapının artması ile yükselmekte, ancak direkt olarak

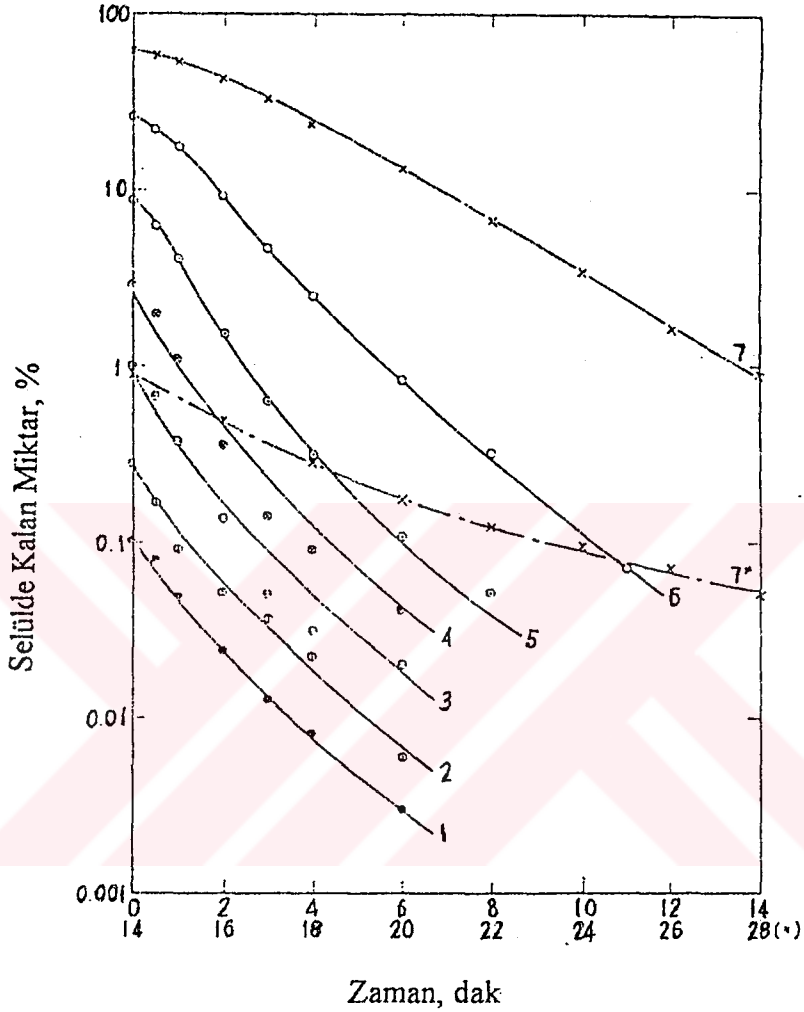
orantılı olmamaktadır. Verilen hava tüketim hızına göre kömür flotasyon hızı hava kabarcığı boyutunun ve miktarının artması ile yükselmiştir (Jameson ve Ark., 1977).

Kho ve Sohn (1989)'nın hava kabarcığı boyutunun flotasyon verimine etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmaların sonuçları Şekil 7' de verilmiştir.

1.4.6. Hidrofobluk derecesi

Hidrofobluk kömür flotasyonunda önemli bir parametredir. Kömürlerin hidrofobluğu temas açısı ölçüm yöntemleri kullanılarak belirlenebilir. Sıvı fazda ölçülen yüksek temas açısı yüksek hidrofobluk demektir. Şekil 8' de karbon içeriği ile kontakt açısı arasındaki ilişki verilmektedir (Aplan, 1988). Şekilden de görüldüğü gibi kontakt açısı karbon içeriğinin belirli bir değerine kadar yükselmekte ve daha sonra azalmaya başlamaktadır.

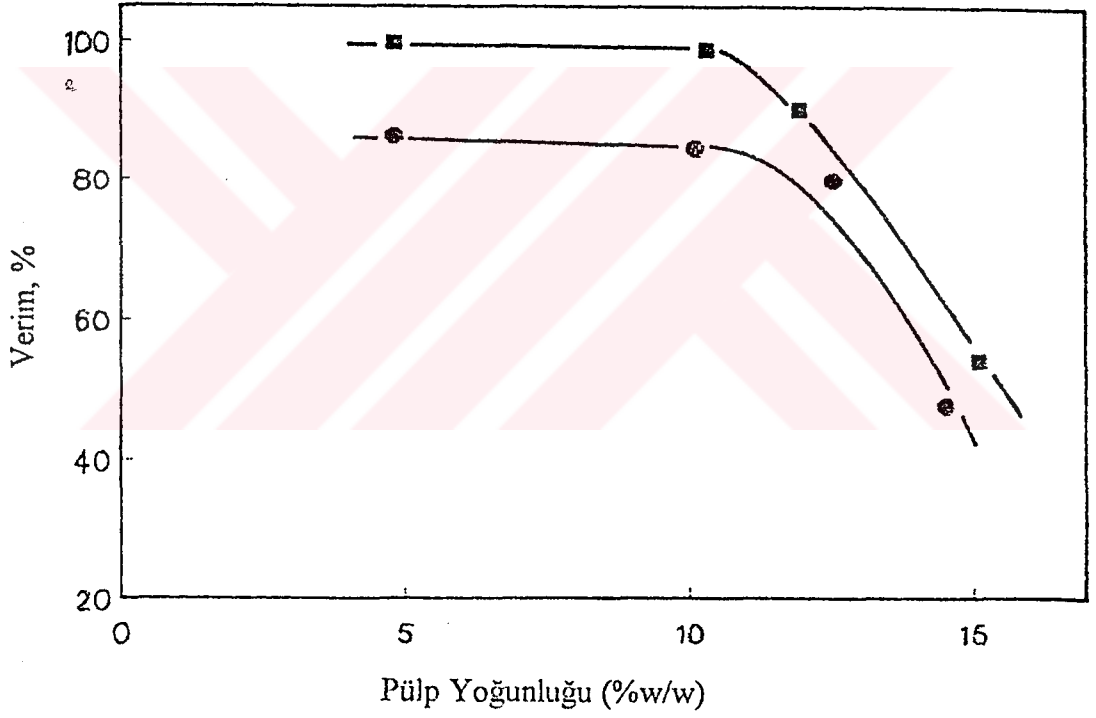
Genel olarak yüksek karbonlu hidrofob kömürler yalnızca köpürtücü kullanılarak yüzdürülebilmektedir. Fakat iri boyutlu ve okside olmuş kömürlerde flotasyon hızını arttırmak için 500-1500 gr/ton fuel oil ilave edilebilmektedir. Şekil 9' da kollektör tüketimine bağlı olarak kömür veriminin değişimi verilmiştir (Wojcik, 1989).



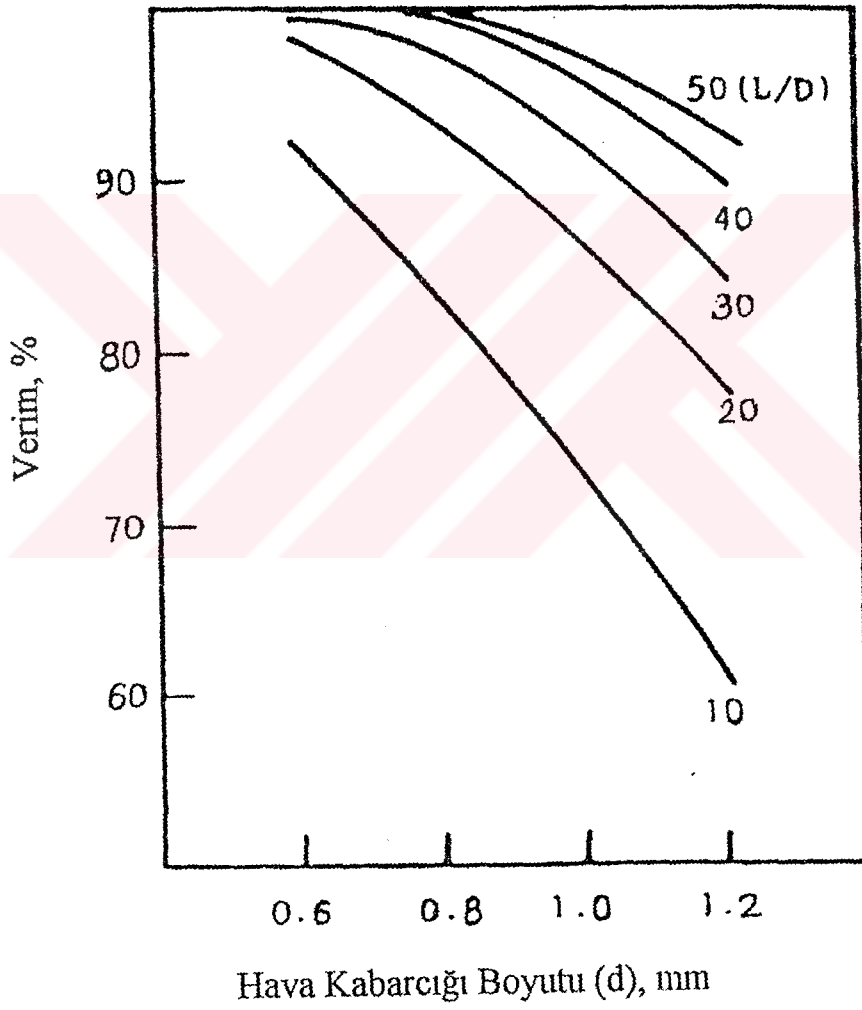
Şekil 5. Pülp yoğunluğunun flotasyon hızı üzerindeki etkisi (Imaizumi ve Inoue, 1965)

Eğri	Pülp yoğunluğu (g/l)
1	0.77
2	2.3
3	7.7
4	23.0
5	69.0
6	208.0
7	460.0

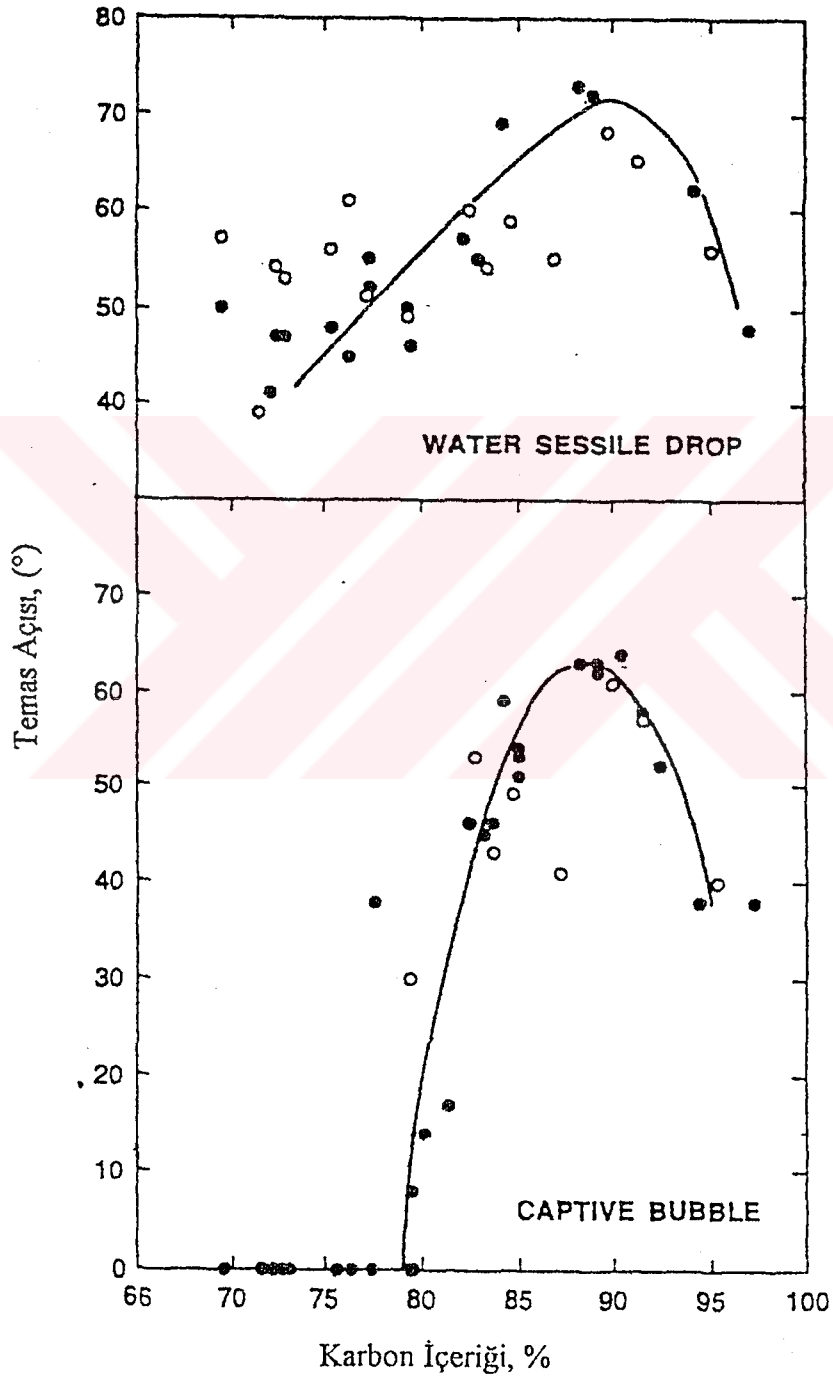
Mineral: Kuvars, 105/74 μm ,
 Kollektör: Dodesil Amonyum Klorit, 4 mg/l,
 Köpürtücü: Aerofroth No. 60, 20 mg/l,
 pH: Normal.



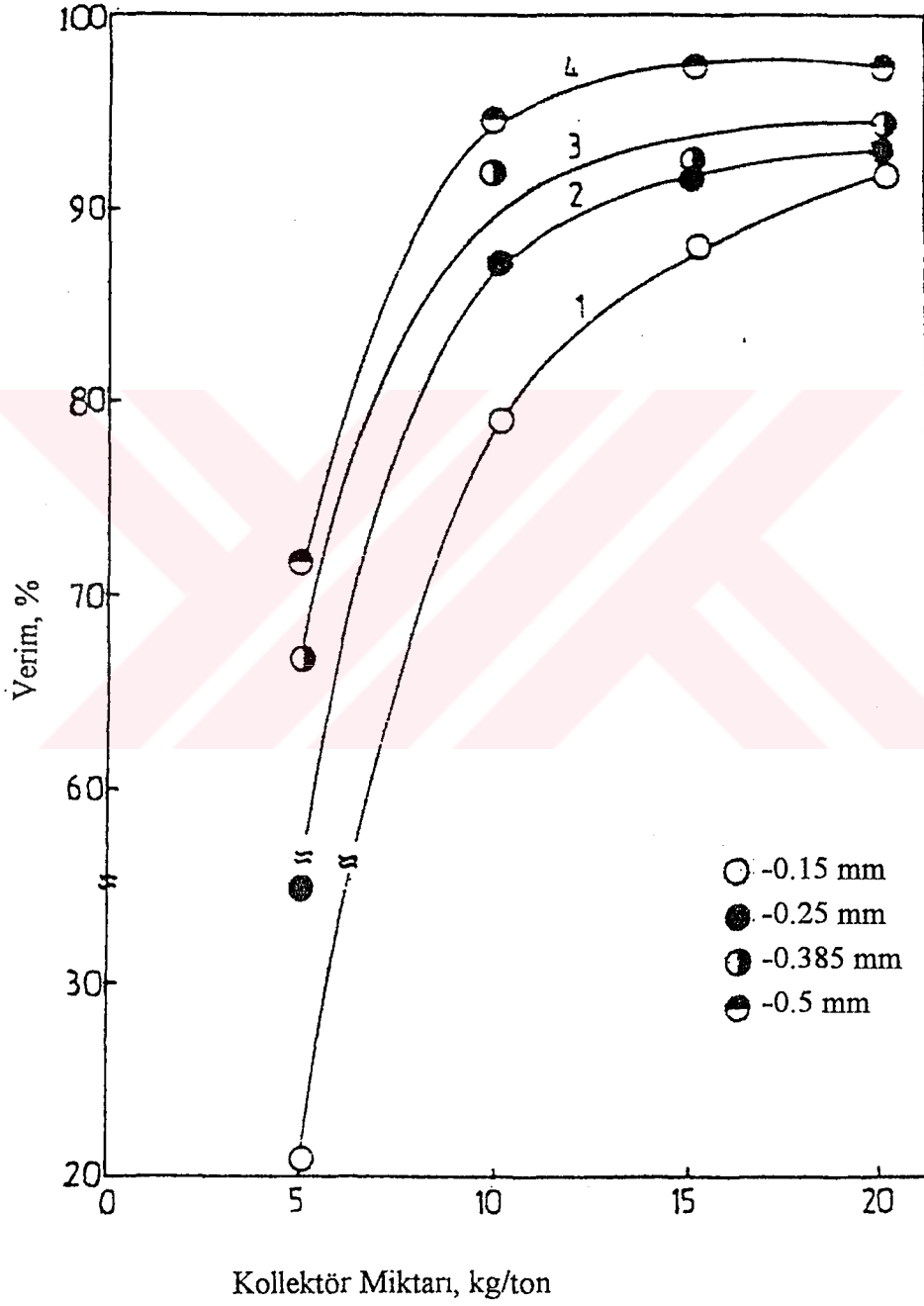
Şekil 6. Pülp yoğunluğu ve pülp akış hızının kalsit flotasyonunda verime etkisi (Marvos ve Ark., 1990) (gaz hızı: 1.02 cm/s, yıkama suyu hızı: 0.34 cm/s, pülp hızı: ■ = 0.84 cm/s, ● = 1.02 cm/s)



Şekil 7. Verimin, hava kabarcığı boyutu ile değişimi, (L/D = kolon yüksekliğinin kolon yarıçapına oranı) (Kho ve Sohn, 1989)



Şekil 8. Kömürlerde temas açısının karbon içeriği ile ilişkisi (Aplan, 1988)

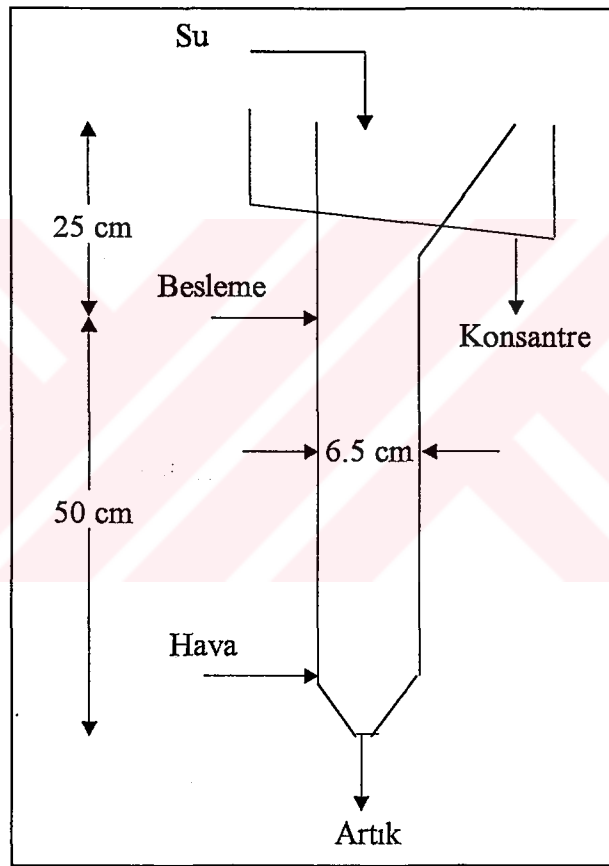


Şekil 9. Kömür flotasyonunda kolektör tüketimine bağlı olarak verim değişimi (Wojcik, 1989)

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan kolon flotasyonu hücresi Cominco (Yoon, 1994) tipe benzemektedir ve kesiti Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 10. Flotasyon deneylerinde kullanılan kolon hücresinin kesiti

2.1.1. Talk

Talk ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) numunesi Gülsoy Madencilik A.Ş.'nin Ulaş-Tecer- (Sivas) bölgesindeki açık işletmesinden temin edilmiştir. Elde edilen talk numunesi Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünün Cevher Hazırlama Laboratuvarındaki çeneli kırıcı kullanılarak iri boyut küçültmeye

tabi tutulmuştur. Daha sonra çubuklu değirmende öğütülmüştür. Numuneleri öğütmede hacmi 9000 cm³ olan çubuklu değirmen kullanılmıştır. Öğütülen talk mineralleri titreşimli elekte elenerek -180+125, -125+90, -90+38, ve -38 µm boyut fraksiyonlarında sınıflandırılmıştır. Deneylerde kullanılan talk mineralinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan talk mineralinin kimyasal analiz sonuçları
(TÜBİTAK Marmara Bilimsel Araştırma Merkezi Raporu,
Tarih: 30.01.1991, No: 90-313)

Mineral	Ağırlık, %
SiO ₂	63.82
MgO	29.28
TiO ₂	0.59
Fe ₂ O ₃	0.56
Al ₂ O ₃	0.55
P ₂ O ₅	0.14
CaO	0.06
Kızdırma Kaybı	5.00

2.1.2. Kalsit

Deneylerde kullanılan kalsit (CaCO₃) minerali ise Barit Maden Türk A.Ş.' den sağlanmıştır. Kalsit mineralini temsil eden üç numuneye ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 2' de görülmektedir.

Kalsit minerali de yukarıda talk için açıklanan boyut küçültme işlemine tabi tutulmuş ve -38 µm boyut fraksiyonu hazırlanmıştır.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kalsit mineralinin kimyasal analiz sonuçları

Mineral	Ağırlık, %		
	Numune 1	Numune 2	Numune 3
CaCO ₃	97.80	97.20	97.40
MgCO ₃	1.40	1.50	1.40
SiO ₂	0.13	0.13	0.08
Fe(ppm)	--	--	--
Çözünmeyen madde	0.42	0.89	0.93
Toplam	99.75	99.72	99.81

2.1.3. Kömür

Bu çalışmada kullanılan kömür numunesi Zonguldak Kozlu Müessesesine ait kömür ocaklarından alınmıştır. Kullanılan kömürün kimyasal analiz sonuçları Tablo 3' de verildiği gibidir.

Tablo 3. Deneyleerde kullanılan kömüre ait kimyasal analiz sonuçları

Üst Kalori, cal/g	7790
Kükürt, %	0.30
Kül, %	2.23

Kömür de diğer mineraller gibi boyut küçültme işlemine tabi tutularak -500+355, -355+250, -250+180, -180+125, -125+90, -90+63 ve -63 µm boyut fraksiyonlarında hazırlanmıştır.

2.2. Metot

Flotasyon deneyleri süresiz (batch) olarak yapılmıştır. Köpürtücü ilave edildikten sonra 2 dakika mineral ilave edilmeksizin kondisyon süresi verilmiştir. Kolon flotasyonuna her deney için 30 gr. Flotasyon selülüne mineral beslemesinde sonra da 2 dakika kondisyon süresi daha verilmiştir.

Talk minerali ile yapılan deneyler, her tane fraksiyonu için 30, 60, 90, 150, 210, ve 240 saniyelerde ayrı ayrı yapılmıştır. Talk ile yapılan kinetik deneylerde köpürtücü olarak % 1' lik çamyağı çözeltisinden 60 gr/ton kullanılmıştır.

Flotasyonda hidrofilik fraksiyonun flotasyon kinetiği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla hidrofobik mineral olan talk ile hidrofilik mineral olan kalsit belirli oranlarda karıştırılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu karışım deneyleri talk flotasyonunda en iyi verim değeri -38 µm' de elde edildiği için bu boyutta yapılmıştır. Kalsit, %25, 50, 75 ve 100 oranlarında talk ile karıştırılmıştır. Bu deneylerde de köpürtücü olarak %1' lik çamyağı çözeltisinden 60 gr/ton kullanılmıştır. Karışım deneylerin yapılışı, talk deneyleri ile aynı şekildedir.

Kömür flotasyonu deneylerinde yine 30 gr numune beslenmiş, köpürtücü olarak %1' lik çamyacı çözeltisinden 100 gr/ton kullanılmıştır. Kömür flotasyonunda deneyler 10, 20, 30, 60, 90, 150 ve 210 saniyelerde ayrı ayrı yapılmıştır.

Flotasyon deneylerinde yüzen malzeme dakikada ortalama 20 defa yapılan sıyırma işlemi ile konsantre olarak kazanılmıştır. Konsantreler filtre edildikten sonra etüvde $\cong 40$ °C de 12 saat kurutulup tartılarak verimler hesaplanmıştır. Deney koşulları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Flotasyon deneyi koşulları

Flotasyon selülünün tipi	Dikdörtgen prizma
Selül hacmi	2200 mL
Besleme miktarı	30 g
Hava besleme hızı	75 cm ³ / dak
Flotasyon ortamının pH' ı	8 - 8.5
Selül sıcaklığı	15 °C
Kondisyon süresi	2 dak.
Kullanılan mineraller	Talk, Kalsit ve Kömür
Beslenen boyut fraksiyonları, μm (Talk için)	-180+125, -125+90, -90+38, -38
Beslenen boyut fraksiyonu, μm (Talk + Kalsit karışımı için)	-38
Beslenen boyut fraksiyonları, μm (Kömür için)	-500+355, -355+250, -250+180 , -180+125, -125+90, -90+63, -63

3. BULGULAR

3.1. Talk Flotasyonu

Değişik boyut fraksiyonlarındaki talk minerali ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda bulunan verimler flotasyon süresine karşı değerlendirilerek Şekil 11 elde edilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi maksimum verim % 98.53 ile -38 µm boyutunda, minimum verim ise % 11.07 ile -180+125 µm boyutunda alınmıştır.

Bulunan verim değerlerinden selülde kalan miktar (100-Verim) hesaplanmıştır. Talk minerali ile yapılan flotasyon deneyleri sonucu elde edilen verim ve hesaplanarak bulunan selülde kalan miktar değerleri Tablo 5' de verilmiştir. Selülde kalan miktarlar her boyut fraksiyonu için zamana karşı değerlendirilerek Şekil 12 çizilmiştir. Şekil 12' deki eğrilerin eğimleri aşağıdaki

$$k = \frac{\log m_1 - \log m_2}{t_2 - t_1}$$

formülden yararlanılarak flotasyon hız sabiti olan (k , dak.⁻¹) hesaplanmıştır. Her boyut fraksiyonu için ayrı ayrı bulunan flotasyon hız sabitleri, tane boyutuna karşı değerlendirilerek Şekil 13 elde edilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe flotasyon hız sabiti artmaktadır. Tane boyutu ile flotasyon hız sabiti (k) arasındaki matematiksel ilişki (3.1) nolu eşitlikteki gibidir. Bu ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2= 0.9961$) dir.

$$k = -0.711 \ln d + 4.72 \quad (3.1)$$

Her boyut fraksiyonunda bulunan maksimum verimler aynı boyut fraksiyonlarındaki flotasyon hız sabitine karşı değerlendirilerek Şekil 14 çizilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi flotasyon hız sabiti azaldıkça maksimum verim de azalmaktadır. Şekil 14' den elde edilen, maksimum verim ile flotasyon hız sabiti

arasındaki matematiksel ilişki (3.2) nolu eşitlikteki gibidir. Bu ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.8909$) dir.

$$R_{\infty} = 120.88 \ln k + 15.78 \quad (3.2)$$

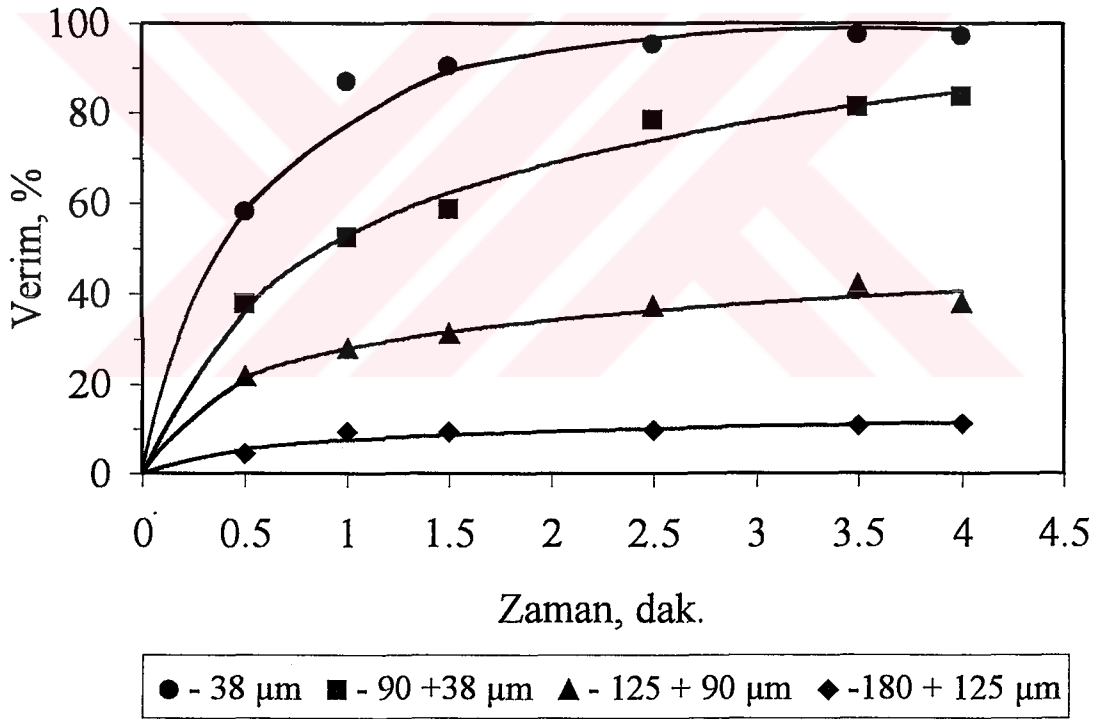
Her boyut fraksiyonunda elde edilen maksimum verimler tane boyutuna karşı değerlendirilerek Şekil 15 oluşturulmuştur. Grafikten görüldüğü gibi tane boyutu büyüdükçe maksimum verim azalmaktadır. Aralarındaki matematiksel ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.9454$) dür ve bu ilişki (3.3) nolu eşitlikteki gibidir.

$$R_{\infty} = -0.64 d + 128.2 \quad (3.3)$$

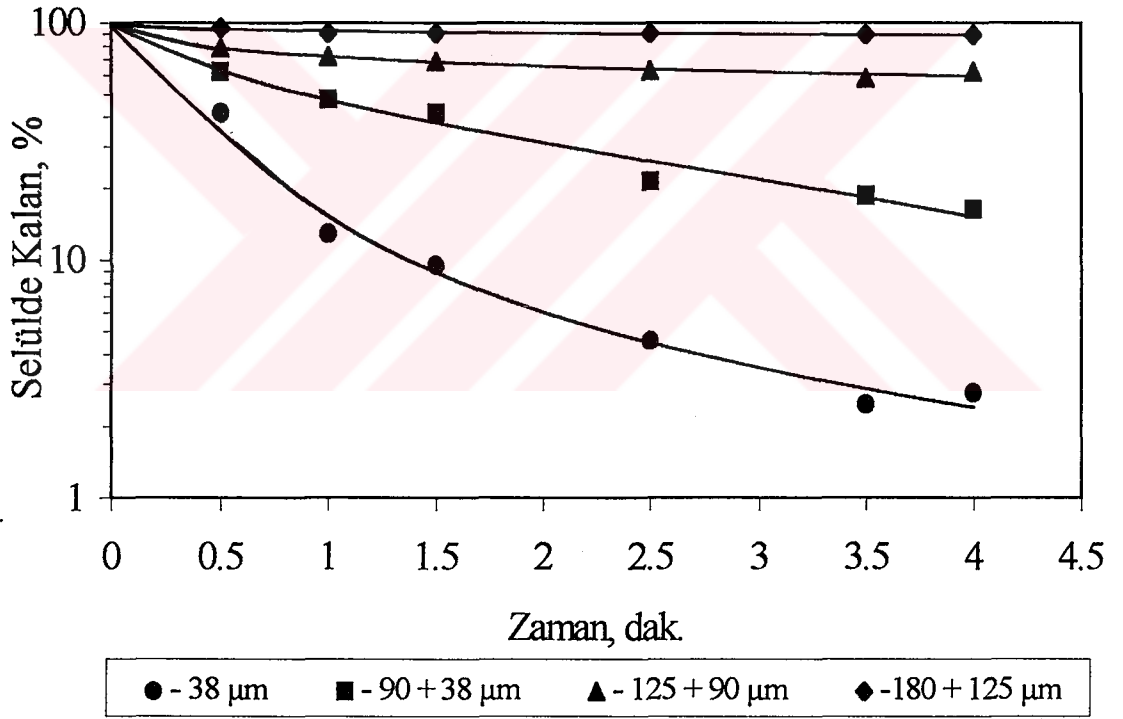
Ayrıca talk flotasyon kinetiği deneylerinin ayrıntılı sonuçları Tablo 6' da sunulmuştur.

Tablo 5. Talk flotasyonunda elde edilen verim ve selülde kalan miktar değerleri (R: Verim, C: Selülde Kalan)

Zaman, dak.	Tane Boyutu, μm							
	-180+125		-125+90		-90+38		-38	
	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %
0.5	4.40	95.60	21.50	78.50	37.87	62.13	58.17	41.83
1.0	9.20	90.80	27.83	72.17	52.46	47.54	87.10	12.90
1.5	9.14	90.86	31.23	68.77	58.40	41.60	90.47	9.53
2.5	9.77	90.23	37.20	62.80	78.60	21.40	95.40	4.60
3.5	10.77	89.23	41.80	58.20	81.40	18.60	97.53	2.47
4.0	11.07	88.93	37.93	62.07	83.70	16.3	97.23	2.77



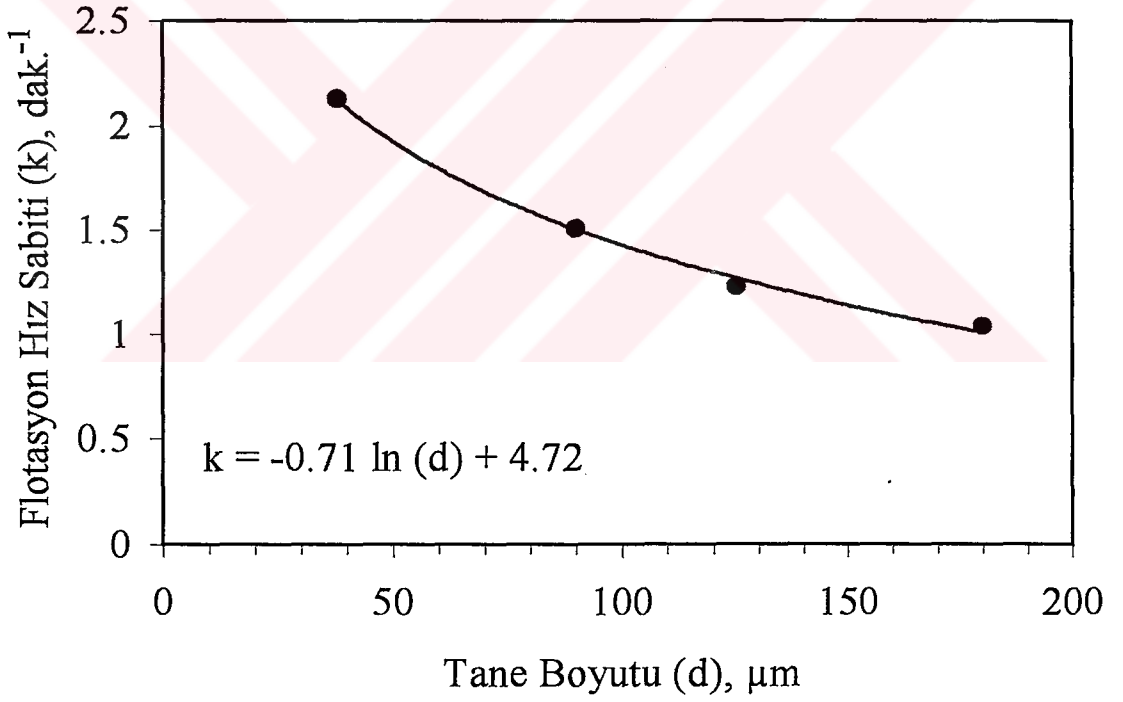
Şekil 11. Flotasyon veriminin zamana göre değişimi



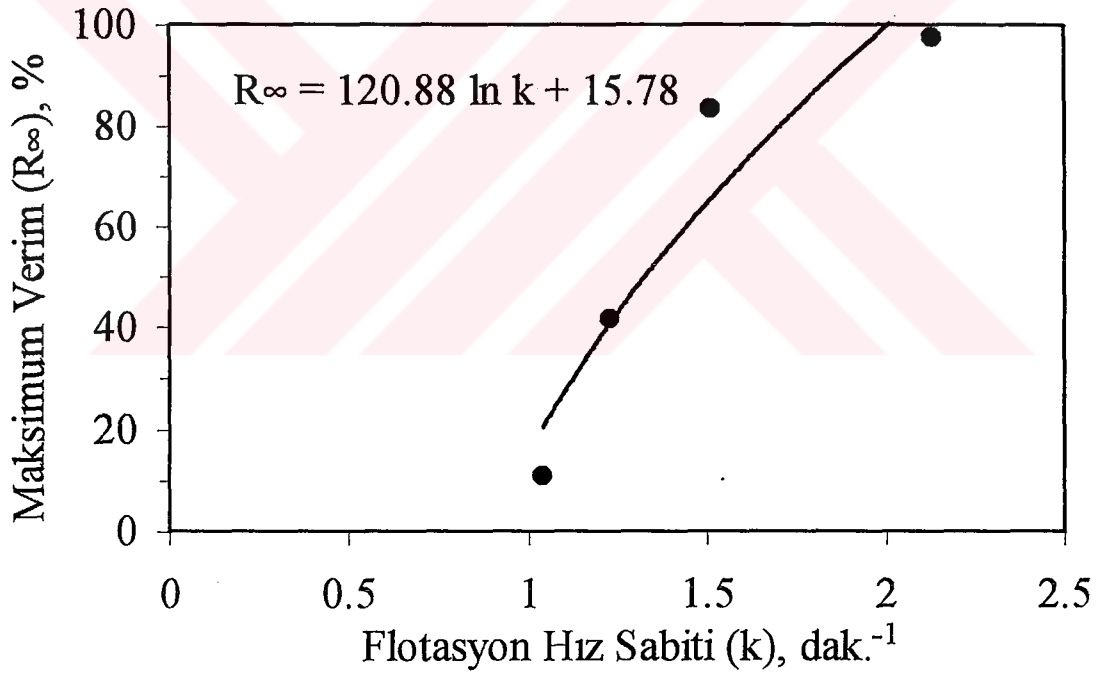
Şekil 12. Seltülde kalan miktarın flotasyon zamanı ile değişimi

Tablo 6. Talk flotasyonun ayrıntılı sonuçları

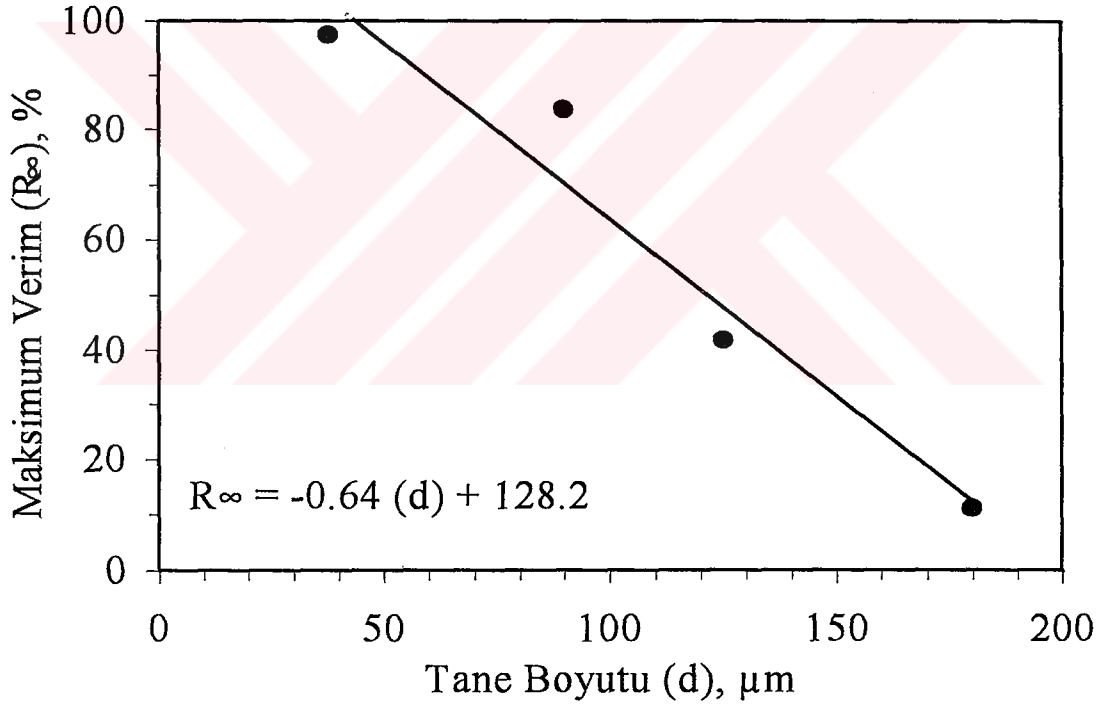
Tane Boyutu, μm	k , dak^{-1}	R_{∞} , %
-180+125	1.04	11.07
-125+90	1.23	41.80
-90+38	1.51	83.70
-38	2.13	97.53



Şekil 13. Flotasyon hız sabitinin tane boyutu ile değişimi



Şekil 14. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi



Şekil 15. Maksimum verimin tane boyutu ile değişimi

3.2. Talk ve Kalsit Karışımlarının Flotasyonu

Talk + kalsit karışımı ile yapılan flotasyon deneyleri sonucu bulunan verim değerleri flotasyon süresine karşı değerlendirilerek Şekil 16 elde edilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi hidrofobik mineral yüzdesi arttıkça flotasyon verimi de artmaktadır. Örneğin %100 hidrofobik mineral yüzdesinde maksimum verim %97.23, hidrofobik mineral karıştırılmadan %100 hidrofilik mineral ile yapılan deneyde ise verim %5.63 olmaktadır.

Bulunan verim değerlerinden selülde kalan miktar (100-Verim) hesaplanmıştır. Talk ve kalsit mineralleri ile yapılan flotasyon deneyleri sonucu elde edilen verim ve hesaplanarak bulunan selülde kalan miktar değerleri Tablo 7' de verilmiştir. Hesaplanarak bulunan selülde kalan değerleri flotasyon süresine karşı değerlendirilmiş ve Şekil 17 oluşturulmuştur. Şekil 17' deki eğrilerin eğimlerinden talk ve kalsit karışım flotasyonu hız sabitleri (k) hesaplanmıştır. Hesaplanan flotasyon hız sabitleri hidrofobik mineral yüzdesine karşı değerlendirilerek Şekil 18 çizilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi hidrofobik mineral yüzdesi arttıkça flotasyon hız sabiti de (1.01)' den (2.13)' e yükselmektedir. Flotasyon hız sabiti ile hidrofobik mineral yüzdesi arasındaki matematiksel ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.9274$) dir ve bu ilişki (3.4) nolu eşitlikte ifade edildiği gibidir.

$$k = 0.96 \exp(0.0076 HF) \quad (3.4)$$

Ayrıca hidrofobik fraksiyonun maksimum verim üzerindeki etkisini incelemek için maksimum verim değerleri hidrofobik mineral fraksiyonuna karşı değerlendirilerek Şekil 19 elde edilmiştir. Hidrofobik mineral fraksiyonu arttıkça bulunan maksimum verimler de artmaktadır. En yüksek verim %100 hidrofobik mineral yüzdesinde %97.23 olurken %25 hidrofobik fraksiyonda (%75 hidrofilik fraksiyon) maksimum verim %15.40' a düşmektedir. Hidrofobik mineral fraksiyonu ile maksimum verim arasındaki matematiksel ilişki (3.5) nolu eşitlikteki gibidir ve bu ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.9633$) dür.

$$R_{\infty} = 7.02 \exp(0.028HF) \quad (3.5)$$

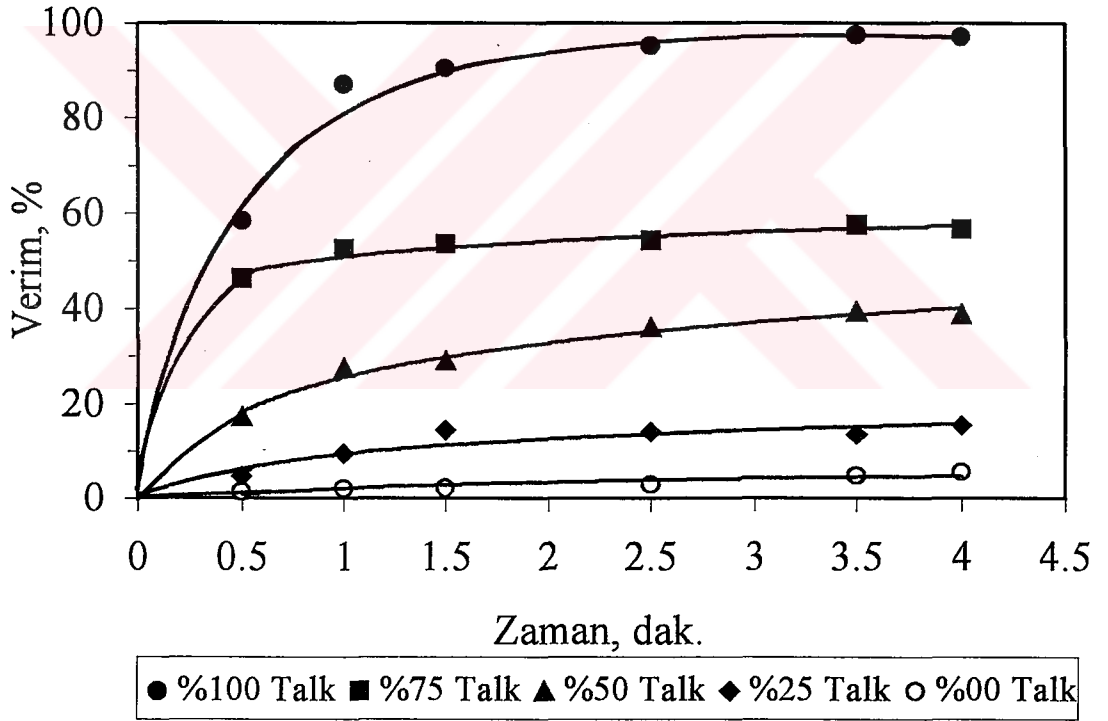
Her hidrofobik mineral fraksiyonunda hesaplanan flotasyon hız sabitleri maksimum verime karşı değerlendirilerek Şekil 20 çizilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi flotasyon hız sabiti yükseldikçe elde edilen maksimum değerde yükselmektedir. Maksimum verim ile flotasyon hız sabiti arasındaki matematiksel ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.9739$) dur ve bu ilişki (3.6) nolu eşitlikteki gibidir.

$$R_{\infty} = 78.62k - 71.27 \quad (3.6)$$

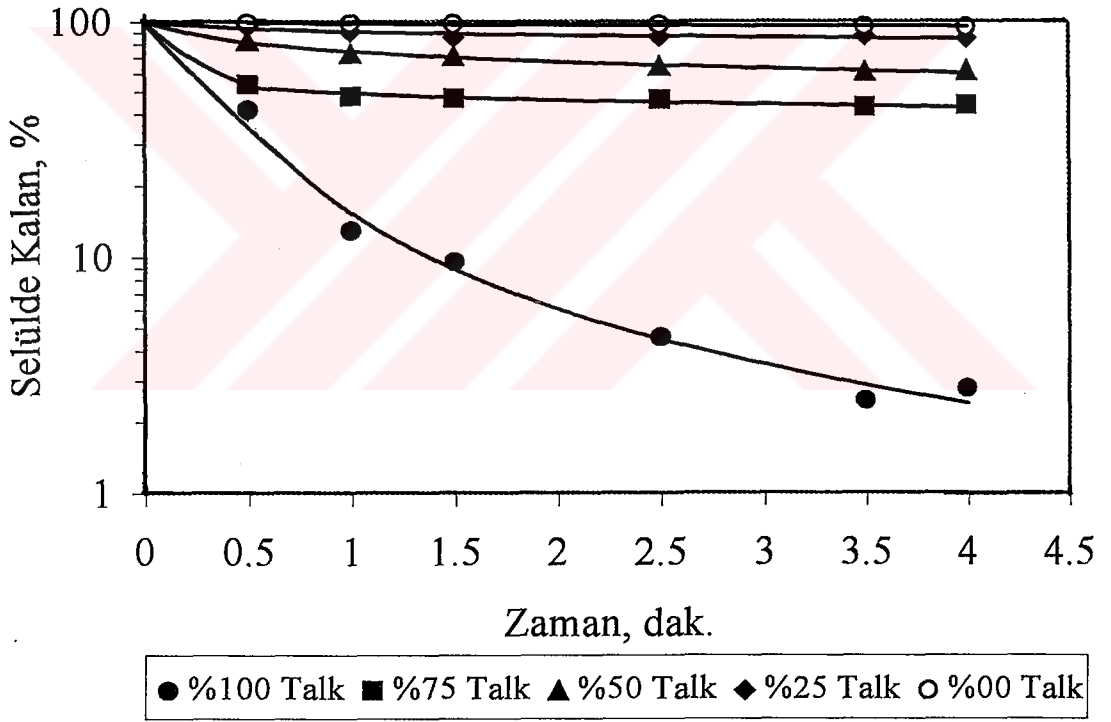
Talk ve kalsit karışımı ile yapılan flotasyon deneylerinin ayrıntılı sonuçları Tablo 8' de verilmiştir.

Tablo 7. Talk ve kalsit karışım flotasyonunun verim ve selülde kalan miktar değerleri (R: Verim, C: Selülde Kalan)

Zaman, dak	Hidrofobik Fraksiyon									
	% 100		% 75		% 50		% 25		% 00	
	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %
0.5	58.17	41.83	46.23	53.77	17.20	82.80	4.67	95.33	1.37	98.63
1.0	87.10	12.90	52.47	47.53	27.43	72.57	9.50	90.50	2.03	97.97
1.5	90.47	9.53	53.43	46.57	29.10	70.90	14.50	85.50	2.27	97.73
2.5	95.40	4.60	54.10	45.90	36.07	63.93	14.10	85.91	2.97	99.03
3.5	97.53	2.47	57.40	42.60	39.27	60.73	13.53	86.47	4.87	95.13
4.0	97.23	2.77	56.50	43.50	38.90	61.10	15.40	84.60	5.63	94.37



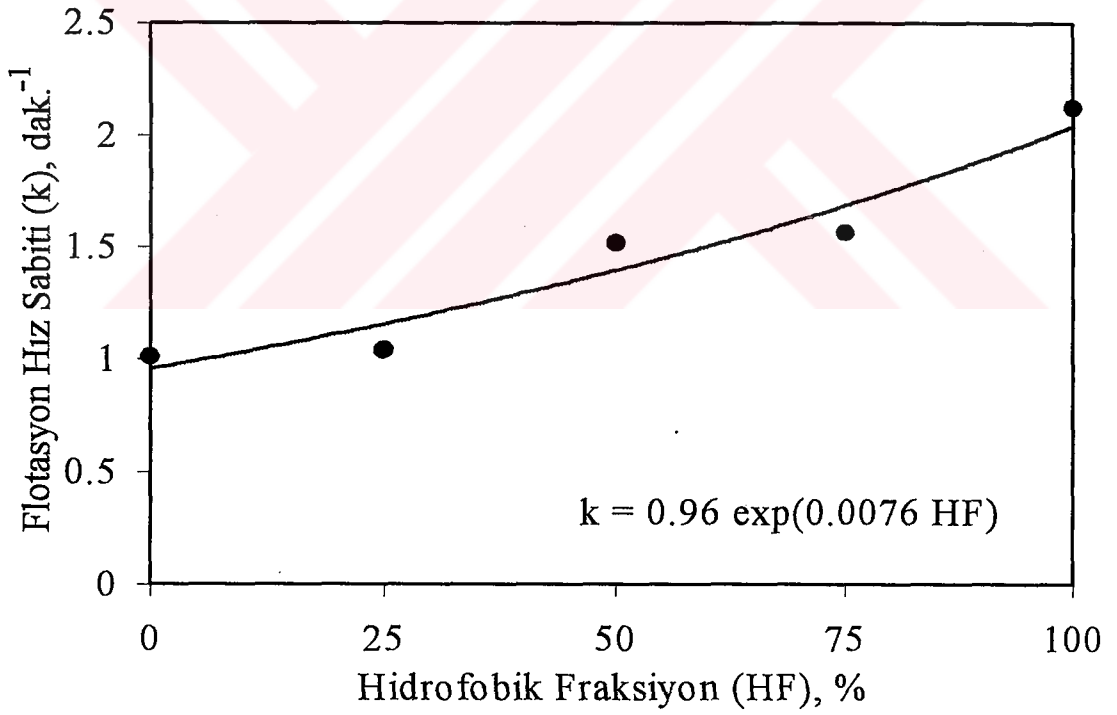
Şekil 16. Flotasyon veriminin zamana göre değişimi



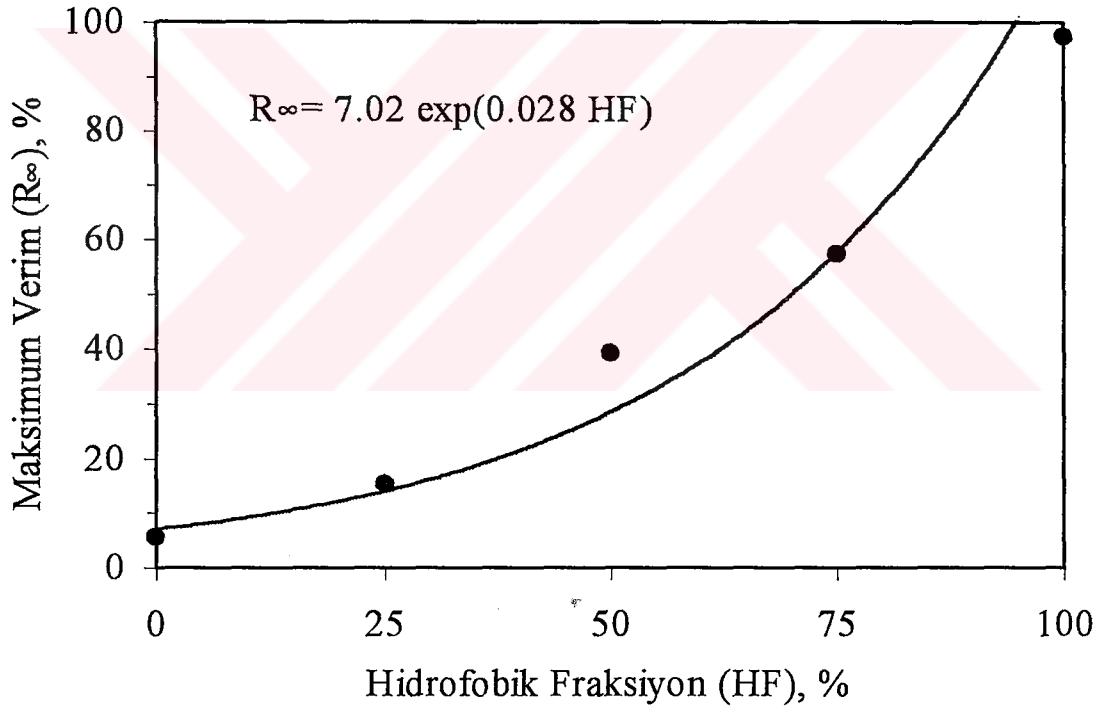
Şekil 17. Selülde kalan miktarın zamana göre değişimi

Tablo 8. Talk ve Kalsit karışım flotasyonunun ayrıntılı sonuçları

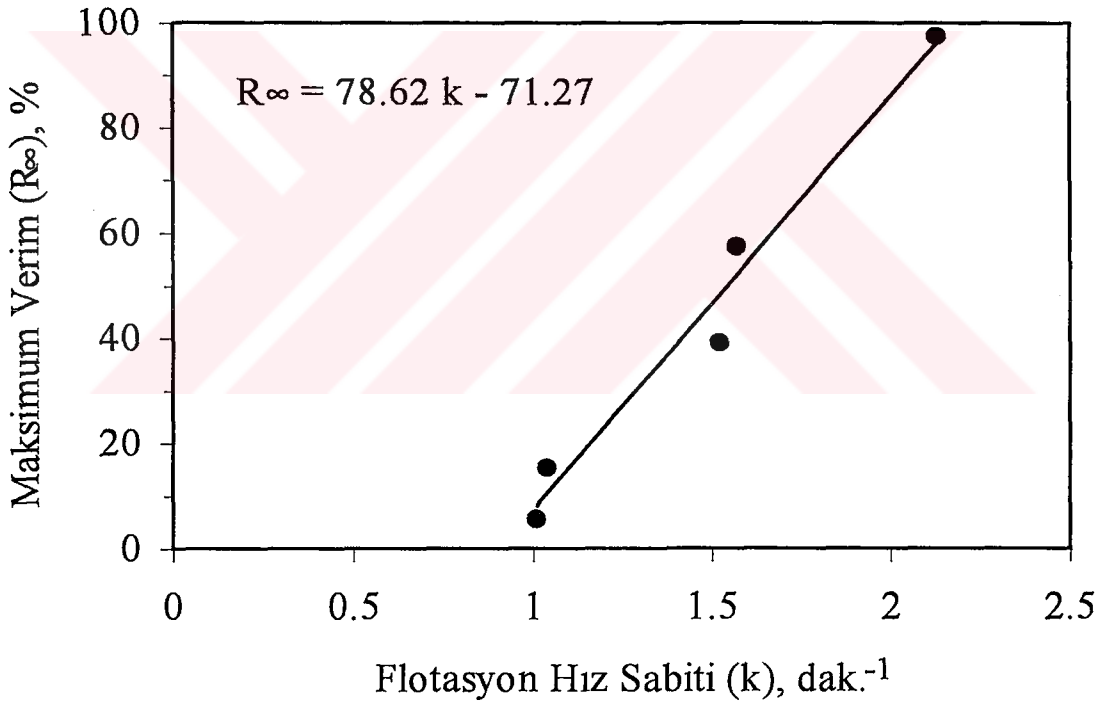
Hidrofobik Fraksiyon, %	k , dak ⁻¹	R_{∞} , %
0	1.01	5.63
25	1.04	15.40
50	1.52	39.27
75	1.57	57.40
100	2.13	97.53



Şekil 18. Flotasyon hız sabitinin hidrofobik fraksiyonla değişimi



Şekil 19. Maksimum verimin hidrofobik fraksiyonla değişimi



Şekil 20. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi

3.3. Kömür Flotasyonu

Değişik tane boyutlarındaki kömür ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen verim değerleri flotasyon süresine karşı değerlendirilerek Şekil 21 çizilmiştir. Grafikten de görüldüğü minimum verim %9.83 ile -500+355 μm boyutunda alınmıştır.

Elde edilen verim değerlerinden selülde kalan miktar (100-Verim) hesaplanmıştır. Kömür ile yapılan flotasyon deneyleri sonucu alınan verim ve hesaplanarak bulunan selülde kalan miktar değerleri Tablo 9' da verilmiştir. Selülde kalan miktarlar her tane fraksiyonu için zamana karşı değerlendirilerek Şekil 22 oluşturulmuştur. Şekil 22' deki eğrilerin eğimleri hesaplanarak flotasyon hız sabiti olan (k , dak.^{-1}) bulunmuştur. Her tane fraksiyonu için ayrı ayrı bulunan flotasyon hız sabitleri, tane boyutuna karşı değerlendirilerek Şekil 23 elde edilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe flotasyon hız sabiti artmaktadır. Tane boyutu ile flotasyon hız sabiti (k) arasındaki matematiksel ilişki (3.7) nolu eşitlikteki gibidir. Bu ilişkinin regresyon katsayısı ($R^2=0.9841$) dir.

$$k = -0.016 (d) + 7.9597 \quad (3.7)$$

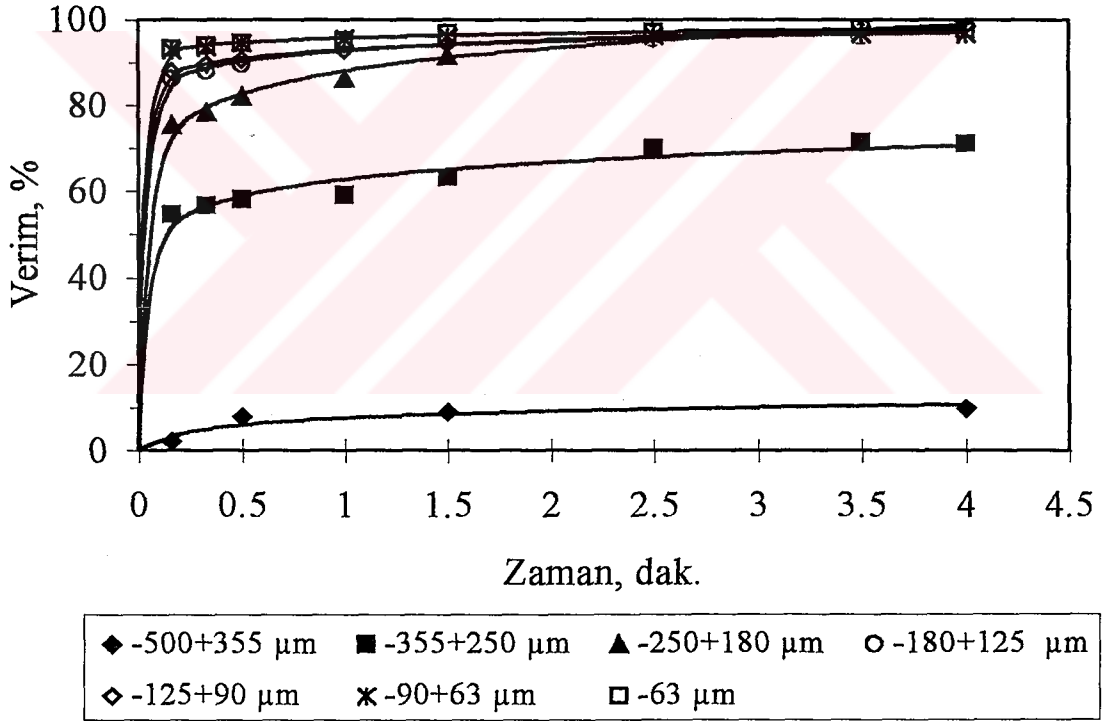
Her tane fraksiyonunda elde edilen maksimum verimler o tane fraksiyonlarındaki flotasyon hız sabitine karşı değerlendirilerek Şekil 24 çizilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi flotasyon hız sabiti 3.5-4.0 olana kadar maksimum verim yükselmektedir. Flotasyon hız sabiti 4.0-7.0 değerleri arasında iken maksimum verim en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Maksimum verim, flotasyon hız sabiti 7.0' dan büyük olduğu zaman tekrar azalacağı tahmin edilmektedir.

Her tane fraksiyonda bulunan maksimum verimler tane boyutuna karşı değerlendirilerek Şekil 25 elde edilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi tane boyutu 250 μm ' nin üstüne çıktığı zaman elde edilen maksimum verim azalmaktadır. Tane boyutu -50 μm ' den sonra maksimum verimin tekrar azalacağı görülmektedir.

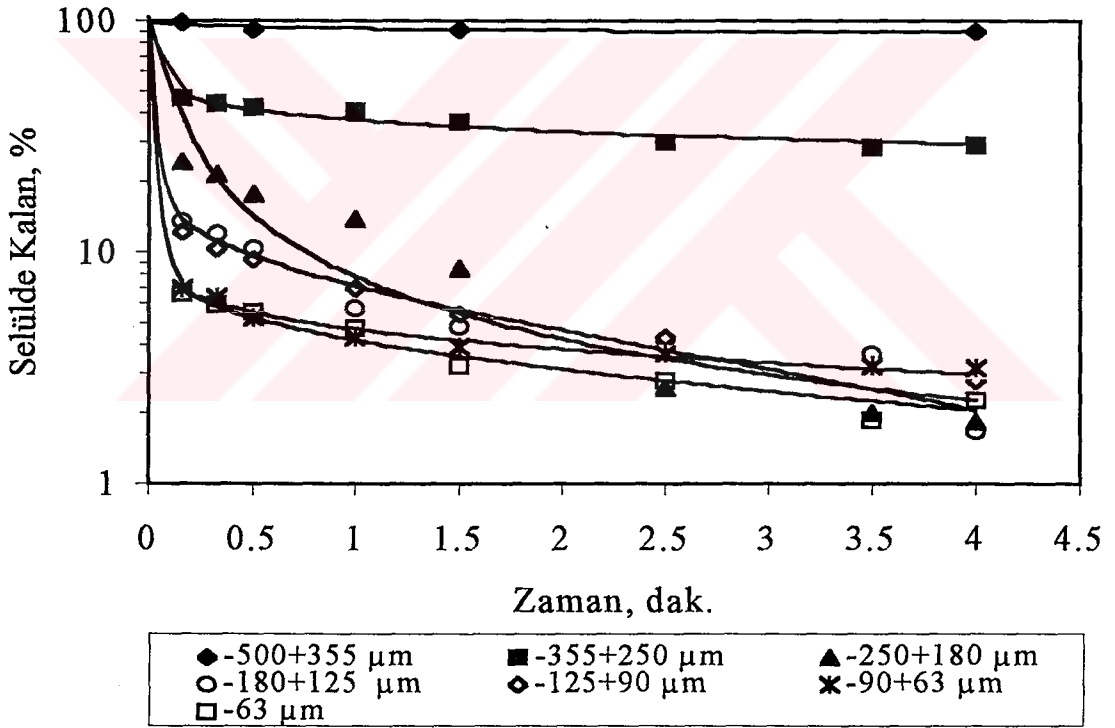
Ayrıca kömür flotasyon kinetiği deneylerinin ayrıntılı sonuçları Tablo 10' da verilmiştir.

Tablo 9. Kömür flotasyonunda elde edilen verim ve selülide kalan miktar değerleri (R: Verim, C: Selülide Kalan)

Zaman, dak	Tane Boyutu, μm																	
	-500+355		-355+250		-250+180		-180+125		-125+90		-90+38		-38					
	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %	R, %	C, %				
0.16	2.13	97.87	54.53	45.77	75.50	24.50	86.40	13.60	87.90	12.10	93.03	6.97	93.40	6.60				
0.33			56.66	43.34	78.46	21.54	88.10	11.90	89.60	10.40	93.60	6.40	94.03	5.97				
0.5	7.87	92.13	58.13	41.87	82.07	17.93	89.67	10.33	90.76	9.24	94.73	5.27	94.50	5.50				
1.0			59.20	40.80	86.30	13.70	94.23	5.77	93.03	6.97	95.70	4.30	95.33	4.67				
1.5	8.90	91.10	63.23	36.77	91.53	8.47	95.20	4.80	94.60	5.40	96.06	3.94	96.76	3.24				
2.5			69.96	30.04	97.40	2.60	95.77	4.23	95.73	4.27	96.33	3.67	97.20	2.80				
3.5			71.43	28.57	98.00	2.00	96.37	3.63	96.70	3.30	96.80	3.20	98.13	1.87				
4.0	9.83	90.17	71.00	29.00	98.16	1.84	98.33	1.67	97.20	2.80	96.83	3.17	97.73	2.27				



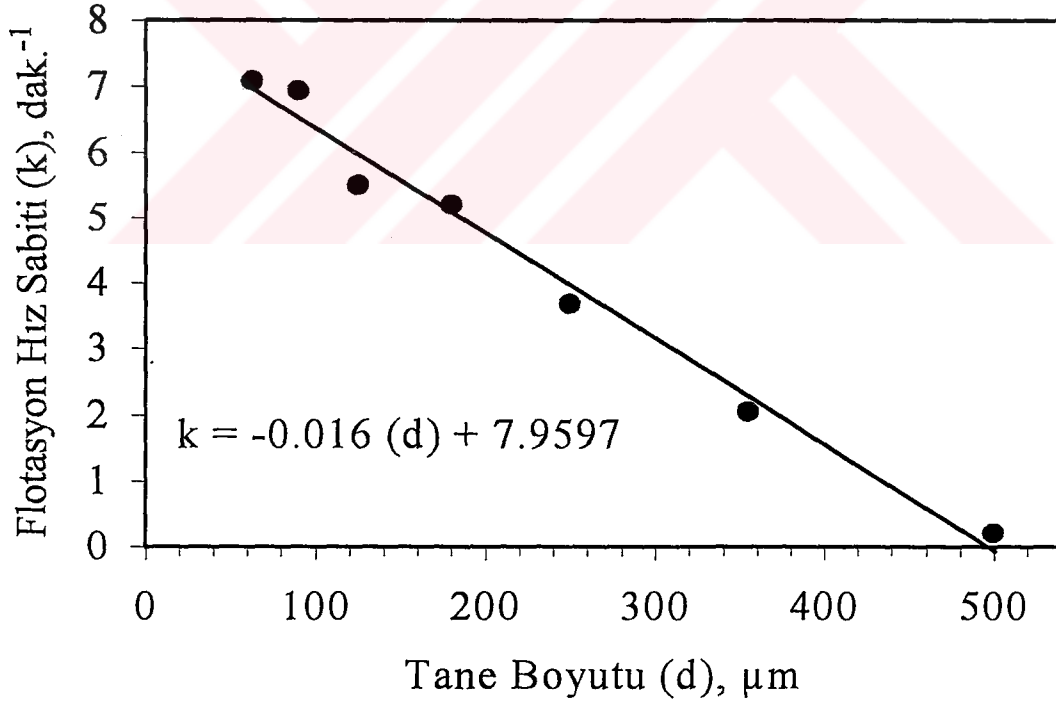
Şekil 21. Flotasyon veriminin zamana göre değişimi



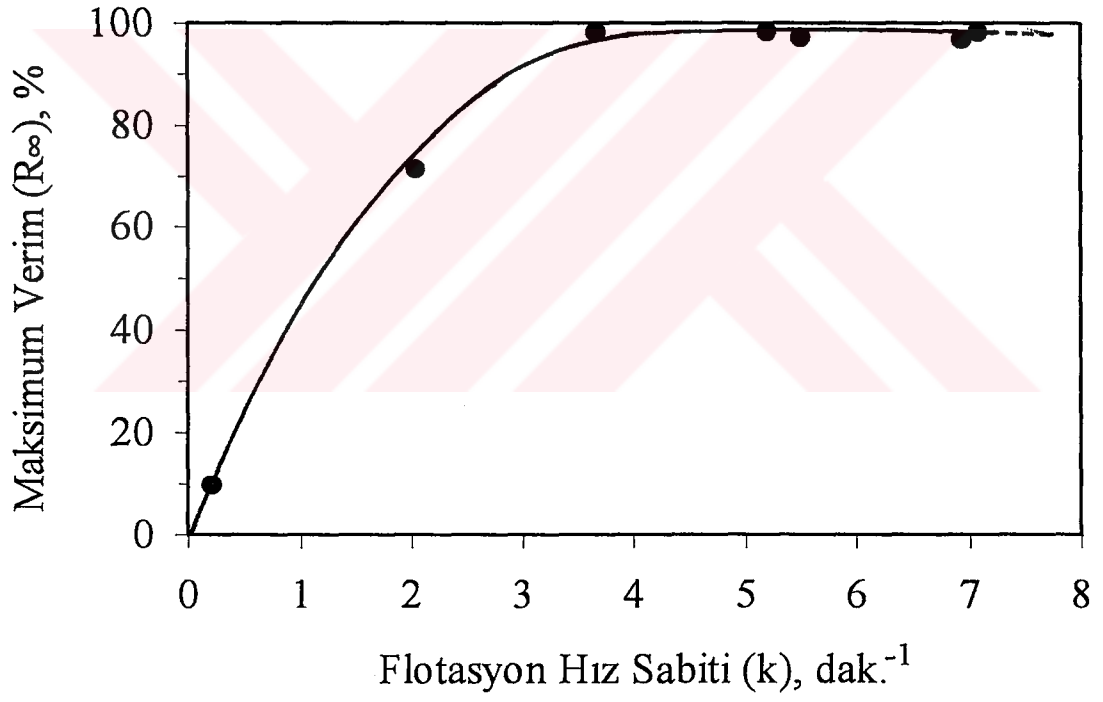
Şekil 22. Selülde kalan miktarın flotasyon zamanı ile değişimi

Tablo 10. Kömür flotasyonun ayrıntılı sonuçları

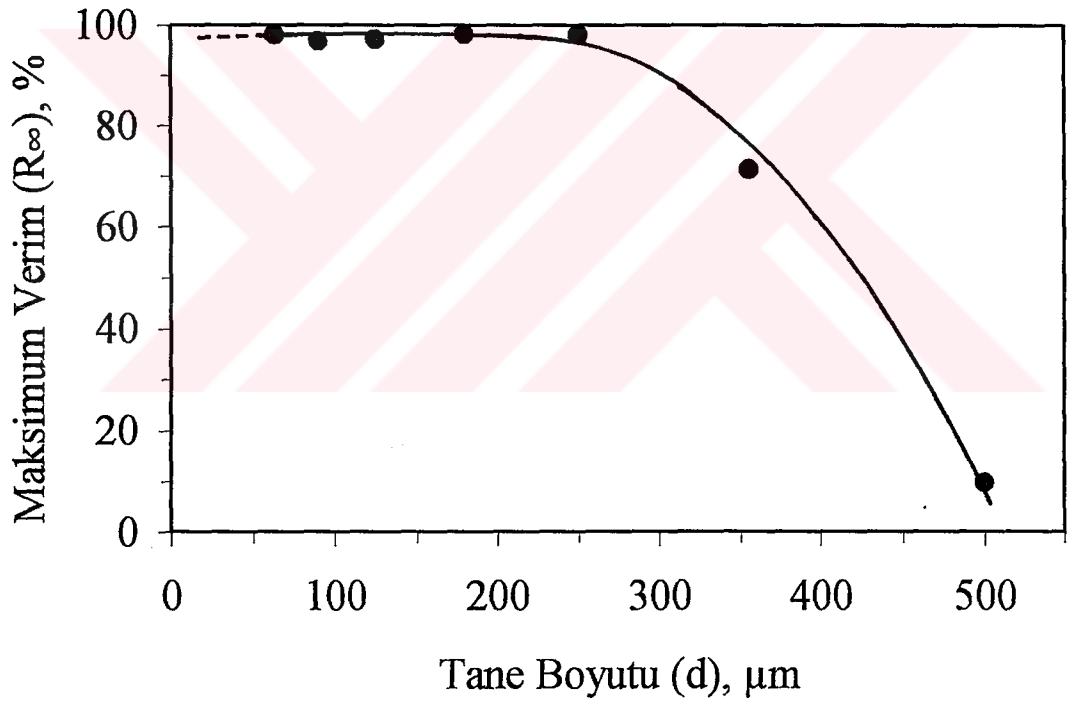
Tane Boyutu, μm	k , dak^{-1}	R_{∞} , %
-500+355	0.21	9.83
-355+250	2.04	71.43
-250+180	3.67	98.70
-180+125	5.20	98.33
-125+90	5.50	97.20
-90+63	6.94	96.83
-63	7.08	98.13



Şekil 23. Flotasyon hız sabitinin tane boyutu ile değişimi



Şekil 24. Maksimum verimin flotasyon hız sabiti ile değişimi



Şekil 25. Maksimum verimin tane boyutu ile değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1. Tartışma ve Sonuçlar

1. Yapılan araştırmaların çoğu flotasyon kinetiğinin birinci dereceden olduğunu göstermektedir.

2. Tane boyutu, hidrofobisitesi yüksek minerallerin flotasyonunda önemli rol oynamaktadır. Talk minerali için iri boyutlarda (-180+125 μm) minimum verim %11.07 ve flotasyon hız sabiti (k) 1.04 dak.^{-1} iken, ince boyutlarda (-38 μm) maksimum verim %97.53 ve flotasyon hız sabiti (k) 2.13 dak.^{-1} elde edilmiştir.

Arbiter ve Harris (1962)'in yaptığı çalışmalarda flotasyon hızının 10-37 μm aralığında maksimum olacağı, bunun altındaki ve üstündeki boyutlarda azalacağı belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda da -38 μm boyut fraksiyonunda flotasyon hız sabiti maksimum bulunmuş, tane boyutu büyüdükçe flotasyon hız sabiti düşmüştür.

Jameson ve Arkadaşlarının (1977) yaptığı çalışmalarda -100+10 μm boyut aralığında verimin maksimum olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da tane boyutu -90+38 ve -38 μm tane boyutlarında yüksek, 90 μm 'nin üstünde ise düşük verimler elde edilmiştir.

3. Talk minerali ile yapılan flotasyon deneylerinde tane boyutu (d) ve flotasyon hız sabiti (k) arasındaki matematiksel ilişki aşağıdaki gibidir:

$$k = -0.711 \ln d + 4.72$$

4. Kömür ile yapılan flotasyon deneylerinde tane boyutu önemli bir parametredir. Kömür için iri boyutlarda (-500+355 μm) minimum verim %9.83 ve flotasyon hız sabiti (k) 0.21 dak.⁻¹ iken, ince boyutlarda (-63 μm) maksimum verim %97.53 ve flotasyon hız sabiti (k) 7.08 dak.⁻¹ elde edilmiştir. Tane boyutu 250 μm ' nin altındaki fraksiyonlarda maksimum verim %97.0-98.0' e kadar yükselmekte, aynı tane boyutlarında flotasyon hız sabitleri de yükselmektedir.

Ersayın ve Apling (1989)' in yaptığı çalışmalarda da flotasyon hızı orta boyutlu malzeme için maksimum olduğu, tane boyutu arttıkça yüzebilirliğin hızla azalacağı ve tane boyutu küçüldükçe yüzebilirlik hızındaki azalışın daha yavaş olacağı belirtilmişti. Bu çalışmada da 250 μm ' nin altındaki tane boyutlarında flotasyon hızı daha iri tane boyutlarındaki hızdan yüksek bulunmuştur. Tane boyutu 250 μm ' nin üzerindeki fraksiyonlarda flotasyon hızı düşmektedir.

5. Kömür ile yapılan flotasyon deneylerinde tane boyutu (d) ve flotasyon hız sabiti (k) arasındaki matematiksel ilişki aşağıdaki gibidir:

$$k = -0.016 (d) + 7.9597$$

6. Hidrofobik mineral fraksiyonu flotasyon sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Flotasyon hız sabiti (k) ve hidrofobik fraksiyon (HF) arasındaki matematiksel ilişki aşağıda ifade edildiği gibidir:

$$k = 0.96 \exp(0.0076 HF)$$

4.2. Öneriler

1. Bu çalışmada serbest flotasyon şartlarının geçerli olduğu düşük katı oranında çalışılmıştır. Engelli flotasyon şartlarının geçerli olduğu yüksek katı oranlarında flotasyon hızı sıfırcı dereceye düşmektir. Katı oranının etkisini incelemek amacıyla yüksek katı oranlarında da deneyler yapılarak, katı oranı ile flotasyon verimi ve flotasyon hız sabiti arasındaki ilişkiler incelenmelidir.

2. Talk ile yapılan flotasyon deneylerinde en küçük boyut fraksiyonu olarak $-38 \mu\text{m}$ alınmıştır. Daha düşük boyut fraksiyonlarında da ($-38+20 \mu\text{m}$, $-20+10 \mu\text{m}$ ve $-10 \mu\text{m}$ gibi) deneyler yapılarak çok küçük tane boyutlarındaki flotasyon verimi ve flotasyon hız sabitindeki değişimler bulunmalıdır.

3. Talk ile yapılan flotasyon deneylerinde özellikle $125 \mu\text{m}$ ' nin üzerindeki boyut fraksiyonlarında verimler ve flotasyon hız sabitleri düşmektedir. Bu boyut fraksiyonlarında çeşitli kollektörler kullanılarak flotasyon verimi ve flotasyon hız sabitlerindeki değişimler incelenmelidir.

4. Ayrıca kömür ile yapılan flotasyon deneylerinde de $-63+45 \mu\text{m}$, $-45+38 \mu\text{m}$, $-38+20 \mu\text{m}$ ve $-20 \mu\text{m}$ gibi çok küçük boyutlarında flotasyon deneyleri yapılarak, bu boyutlardaki flotasyon verimi ve flotasyon hız sabitlerindeki değişimler tesbit edilebilir.

5. Kömür ile yapılan flotasyon deneylerinde $250 \mu\text{m}$ ' nin üzerindeki boyut fraksiyonlarında flotasyon verimleri ve flotasyon hız sabitleri düşmektedir. Bu fraksiyonlarda değişik kollektörler kullanılarak, kollektör miktarı ile flotasyon verimi ve flotasyon hız sabiti arasındaki ilişkiler elde edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

APLAN, F.F., (1988). How the Nature of Raw Coal Influence Its Cleaning: AIME Industrial Practice of Fine Coal Processing, (Edited by R.R. Klimpel and P.T. Luckie), pp. 99-111, Colorado.

ARBİTER, N., (1951). AIME Trans., vol. 190, p. 791.

ARBİTER, N.; HARRIS, C. C., (1962). Flotation Kinetics, Froth Flotation: 50th Anniversary Volume, (Edited by D. W. Fuerstenau), pp. 215-246, New York.

ERSAYIN, S.; APLING, A., (1989). Tane Boyu Dağılımının Kalkopirit Flotasyonunun Kinetik Parametreleri Üzerine Olan Etkisi: Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik Kongresi, Sayfa: 417-431.

FIRTH, B.A.; SWANSON, A.R.; NICOL S.K., (1978). The Influence of Feed Size Distribution on the Staged Flotation of Poorly Floating Coals: Proc. Australas Inst. Min. Metall., Vol. 267, pp. 49-53.

GARCIA-ZUNIGA, H., (1935). Bol. Soc. Nac. Min., Santiago, vol. 47, p. 83.

HUKKI, R. T., (1953). AIME Trans., vol. 196, p. 1122.

IMAIZUMI, T.; INOUE, T., (1965). Kinetic Consideration of Froth Flotation: Proc. 6th Int. Min. Process. Cong., Cannes, (Edited by A. Roberts), pp. 581-593. Pergamon Press, Oxford,

JAMESON, G.J.; NAM, S.; MOO YOUNG, M., (1977). Physical Factors Affecting Recovery Rates in Flotation: Mineral Science and Eng., Vol. 9, no.3, pp. 103-118.

JAWETT, A.; SAFVİ, S. M. M., (1960). Refinements in Methods of Determining Flotation Rates: Trans. Soc. Min. Engrs., AIME, vol. 217, pp. 351-357.

JOWETT, A., (1983). Particle Size Effect in Coal Flotation: Proc. Symp. on Improving Froth Flotation of Coal, Univ. of NSW, Australia.

KHO, C. J.; SOHN, H. J., (1989). Column Flotation of Talc: International Journal of Mineral Processing, 27, pp. 157-167.

MORI, S.; OKAMOTO, H.; HARA, T.; ASO, K., (1986). Kinetics Studies of Fluorite Flotation: Proc. 15th Int. Min. Process. Cong., Cannes, Vol. 3, pp. 155-162.

- MORRIS, T. M., (1952). AIME Trans., vol. 193, p. 794.
- PLAKSIN, I. N.; KLASSEN, V. I., BERGER, G. S., (1956). On The Kinetic Equations of The Flotation Process, Tsvet. Metall. (Moskova), 29, (4), 22.
- SZATKOWSKI, M.; FREYBERGER, W. L., (1985). Kinetics of Flotation With Fine Bubbles: Trans. Inst. Min. Metall. (Section C: Mineral Process. Extr. Metall.), 94, pp. 61-70.
- SZATKOWSKI, M., (1987). Some Comments on Flotation Kinetics: Chemical Engineering Science, Vol . 42, No.10, pp. 2475-2478.
- TOMLINSON, H.S.; FLEMING, M.G., (1965). Flotation Rate Studies: Proc. 6th Int. Min. Process. Cong., Cannes, (Edited by A. Roberts), pp. 563-579. Pergamon Press, Oxford.
- TRAHAR, W.J., (1981). A Rational Interpretation of Particle Size in Flotation: Int. J. of Min. Processing, Vol. 8, pp. 289-327.
- WOJCIK, W.; JANCZUK, B.; BIALOPIOTROWICZ, T., (1989). Correlation Between Flotation Activity of Coal, the Contact Angle and Stability of the Coal/n-Alkaline Film-Air Bubble-Water System, The Chemical Engineering Journal, 42, pp. 63-67.
- VOLKOVA, Z. V., (1946). Acta. Phys. Chem., vol. 21, p. 1105.
- YOON, R. H., (1994). Kolon Flotasyonunun Teorisi ve Cevher ile Kömür Hazırlama Endüstrisinde Uygulamaları: Meslekte Yenileme Semineri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.

6. ÖZGEÇMİŞ

İbrahim SÖNMEZ, 1969 yılında Sivas'ın Divriği ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara' da tamamladı. 1988 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Bölümüne başladı ve 1992 yılında Maden Mühendisi olarak mezun oldu. 1993 yılında aynı bölüme Araştırma Görevlisi olarak başladı ve halen aynı göreve devam etmektedir.

Evli ve bir çocuk babası olan İbrahim SÖNMEZ, İngilizce bilmektedir.

