

FLOTASYON PERFORMANSINA ETKİ EDEN KİNETİK ÖZELLİKLERİN  
YÜZEYLERDE KİMYASAL KİMYASAL ARASINDAKİ İLİŞKİNİN  
ARAŞTIRILMASI

ŞAHİN TEKİNALP

Yüksek Lisans Tezi

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Meftuni YEKELER

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Flotasyon Performansına Etki Eden Kinetik Özellikler ile Yüzebilirlik  
Parametresi Değişkenleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması

Şahin TEK NALP

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Meftuni YEKELER

Bu tez çalışmasında, bazı minerallerin(Grafit, Ta kömürü, değişik orjinli linyitler(G.Afrika ve Ukrayna) ve Kükürt değişken koşullar altında flotasyon performanslarına etki eden kinetik özellikleri ile yüzebilirlik parametresi değişkenleri arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan örneklerin tamamı öğütme işlemi ile 212+150µm, -150+106µm, -106+75µm ve -75µm boyutlarına ayrılarak her boyut için farklı pH'larda, farklı zamanlarda, farklı koşullarda flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmada kullanılan minerallerin kritik ıslanma yüzey gerilimleri ( $\sigma_c$ ) hız sabitleri ( $k_1, k_2$  ve  $k_{ort}$ ) ve % Flotasyon veriminin zamana göre değişimi incelenmiştir.

Elde edilen kinetik hız sabiti, flotasyon verimi ve ıslanma diyagramının değişimini temsil eden hidrofobluk parametreleri ve kritik ıslanma yüzey gerilimleri arasında olabilecek anlamlı ilişkiler araştırılmış ve bazı sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışılan numuneler ile yapılan deneyler sonucunda farklı pH'larda değişik boyutlarda numunelerin flotasyonu incelenmiştir, Grafit numunesi ile yapılan çalışmalar sonucunda; pH 8.00'de, -212+150µm tane boyutunda % 80.93 flotasyon verimine ulaşılmıştır. Bu koşullarda elde edilen hız sabitleri  $k_1= 15.22$ ,  $k_2= 0.73$  ve  $k_{ort} = 7.98 \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Kritik ıslanma yüzey geriliminin

( $\sigma$ )'in -212+150 $\mu$ m tane boyutunda 32 din/cm, ıslanma eimi (A) 0.0091 olarak bulunmu tur.

Ta kömürü ile yapılan flotasyonda; pH 7.35'de -212+150 $\mu$ m tane boyutunda % 93.68 flotasyon verimine ula ılmı tır. Bu ko ullarda elde edilen hız sabitleri  $k_1= 0.54$ ,  $k_2= 0.05$  ve  $k_{ort}= 0.29 \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmu tur. Kritik ıslanma yüzey geriliminin ( $\sigma$ )'in -212+150 $\mu$ m tane boyutunda 39 din/cm, ıslanma eimi (A) 0.027 olarak bulunmu tur.

G.Afrika Linyit numunesi ile yapılan flotasyonda; pH 8.00'de -212+150 $\mu$ m tane boyutunda % 91.78 flotasyon verimine ula ılmı tır. Bu ko ullarda elde edilen hız sabitleri  $k_1= 1.33$ ,  $k_2= 0.02$  ve  $k_{ort}= 0.68 \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmu tur. Kritik ıslanma yüzey geriliminin ( $\sigma$ )'in -212+150 $\mu$ m tane boyutunda 42 din/cm, ıslanma eimi (A) 0.025 olarak bulunmu tur.

Ukrayna Linyit numunesi ile yapılan flotasyonda; pH 8.10'da, -212+150 $\mu$ m tane boyutunda % 94.58 flotasyon verimine ula ılmı tır. Bu ko ullarda elde edilen hız sabitleri  $k_1= 0.817$ ,  $k_2= 0.023$  ve  $k_{ort}= 0.42 \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmu tur. Kritik ıslanma yüzey geriliminin ( $\sigma$ )'in -212+150 $\mu$ m tane boyutunda 40 din/cm olarak bulunmu tur.

Kükürt numunesi ile yapılan flotasyonda; pH 7.80'de -212+150 $\mu$ m tane boyutunda % 98.14 flotasyon verimine ula ılmı tır. Bu ko ullarda elde edilen hız sabitleri  $k_1= 0.91$ ,  $k_2=0.001$  ve  $k_{ort}= 0.46 \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmu tur. Kritik ıslanma yüzey geriliminin ( $\sigma$ )'in -212+150 $\mu$ m tane boyutunda 41 din/cm, ıslanma eimi (A) 0.029 olarak bulunmu tur.

Çalı malarda kullanılan numunelerden Ta kömürü ve Kükürt minerallerinin do al yüzebilirlik gösterdi i, Grafit ve de i ik orjinli linyitlerin flotasyonun da ise kimyasalların ilavesi ile ancak bahsedilen de erlere ula ılmı tır.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, Ta kömürü, Grafit, Kükürt, Linyit,

## SUMMARY

Master of Science Thesis

Investigation of the relationship between the kinetics properties that affect flotation performance and flotability parameters for some minerals.

shak TEK NALP

Cumhuriyet University

Graduate School

Mining Engineering Department

Advisor: Prof.Dr.Meftuni YEKELER

In the scope of this thesis, the possible correlations between the kinetics properties that affect flotation performance and flotability parameters were investigate under different conditions for same minerals such as graphite, anthracite, lignite and sulphure.

All of the samples used in experimental works were ground and seined to -212+150  $\mu\text{m}$ , -150+106  $\mu\text{m}$ , -106+75  $\mu\text{m}$  and -75  $\mu\text{m}$  size fractions for flotation and wettebility tests at different pH, time and conditions. The flotation rate constants ( $k, \text{min}^{-1}$ ).

The critical surface tension of wetting ( $\sigma_c, \text{din/cm}$ ) and wetting slope values were obtained and some of them were plotted against flotation recovery for those minerals used in this study. Therefore, some correlation were obtained from the results.

The maximum recovery was obtained 80.93 % for -212+150  $\mu\text{m}$  fraction of graphite sample at pH of 8.0. On the other hand, flotation rate constants were  $k_1 = 15.22$ ,  $k_2 = 0.73$  and  $k_{\text{average}} = 7.98$  with the  $\sigma_c$  value of 32  $\text{din/cm}$  and wettability slope (A) of 0.0091 for the same graphite sample.

The maximum recovery was obtained 93.68 % for -212+150  $\mu\text{m}$  fraction of anthracite sample at pH of 7.35. On the other hand, flotation rate constants were  $k_1= 0.54$ ,  $k_2= 0.05$  and  $k_{\text{average}} = 0.29$  with the  $\sigma_c$  value of 39  $\text{din/cm}$  and wettability slope (A) of 0.027 for the same anthracite sample.

The maximum recovery was obtained 91.78 % for -212+150  $\mu\text{m}$  fraction of South Africa lignite sample at pH of 8.0. On the other hand, flotation rate constants were  $k_1= 1.33$ ,  $k_2= 0.02$  and  $k_{\text{average}} = 0.68$  with the  $\sigma_c$  value of 42  $\text{din/cm}$  and wettability slope (A) of 0.025 for the same South Africa lignite sample.

The maximum recovery was obtained 94.58 % for -212+150  $\mu\text{m}$  fraction of Ukraine lignite sample at pH of 8.1. On the other hand, flotation rate constants were  $k_1= 0.817$ ,  $k_2= 0.023$  and  $k_{\text{average}} = 0.420$  with the  $\sigma_c$  value of 40  $\text{din/cm}$ .

The maximum recovery was obtained 98.14 % for -212+150  $\mu\text{m}$  fraction of sulphure sample at pH of 7.8. On the other hand, flotation rate constants were  $k_1= 0.91$ ,  $k_2= 0.001$  and  $k_{\text{average}} = 0.46$  with the  $\sigma_c$  value of 41  $\text{din/cm}$  and wettability slope (A) of 0.029 for the same sulphure sample.

The anthracite and sulphur samples used in this study showed natural hydrophobicity, while graphite and lignite were not behaved as these, but gave similar flotation performance with the addition of chemical.

Keywords: Flotation, rate constant, graphite, anthracite, lignite, sulphure, hydrophobicity, wettability.

## 1. G R

Günümüzde, cevherlerden de erli mineralleri konsantre olarak elde ederek satı ı gerçekle tirmek için cevher hazırlama ve arkasından uygun zenginle tirme yöntemlerine tabi tutularak ekonomik de eri yükseltilerek yapılmaktadır. Zenginle tirmede yararlanılan en önemli yöntemlerden olan flotasyon metodunda ince boyutlara ö ütülmü de erli minerallerin ona e lik eden gang minerallerinden hava kabarcıkları için uygun yüzeylere hazırlama esasına dayanan fiziko-kimyasal ayırma yöntemlerinden biridir(Aplan, 1980).

Belirli ko ullar altında farklı mineraller, farklı flotasyon davranı ı ve yüzebilen mineral miktarını göstermektedir. Bu farklılık sadece mineral cinsine ba lı olmayıp, tane boyutu, kullanılan reaktif miktarı ve türleriyle hücredeki hidrodinamik ko ullara ba lıdır. Genel olarak 1. dereceden flotasyon kineti i;  $dC/dt = - k C^n$  ile ifade edilmektedir (C= yüzebilen mineral miktarı, t= süre, k= flotasyon hız sabiti, n= flotasyon derecesi).

Flotasyon miktarı ya da hız sabiti yukarıda bahsedilen flotasyon performansına etkileyen tüm de i kenlere ba lı olarak her mineral için deneysel yöntemlerle belirli bir sayısal de erle ifade edilebilmektedir. Flotasyon hız sabiti sonuçta zenginle tirilmesi istenen mineralin hücrede kalması gereken süreyi ve devrenin optimizasyonunu tahmin etmeye yarayan önemli verilerden biridir (Yekeler ve Sönmez, 1997).

Minerallerin kinetik anlamda hız sabitini etkileyen ku kusuz en önemli parametrelerden biri hidrofobluktur. Yani, mineralin ıslanma ıslanmama özelli i flotasyon performansına etkileyen parametrelerden biri olup bu özelli in do al ya da kimyasallar ilavesi ile sa lanması flotasyon verimini, dolayısı ile hız sabiti (k) de erini artıracaktır. Islanmayı karakterize eden pek çok sayısal yakla ımlar mevcuttur. Bu tez kapsamında sayısal ıslanma de erleri ile hız sabiti arasındaki ili ki kurularak flotasyon performansını tahmin etmeye çalı mak bu çalı manın amacını olu turmaktadır.

## **2. L TERATÜR ÇALI MASI**

### **2.1. Flotasyon**

Flotasyon çok ince boyutlu mineralleri zenginle tiren bir yöntemdir. Bu yöntemde ayırma bazı minerallerin hava kabarcıklarına ili erek yüzmesi ile sa lanır. Bu mineraller yüzey özelliklerine veya çe itli reaktiflerle yüzey özelliklerinin de i tirilmesine ba lı olarak hava kabarcı ma tutunurlar. Bu özellikleri göstermeyen di er mineraller ise, su içinde ıslanarak batarlar. Flotasyon yöntemi sırası ile u i lemleri içerir:

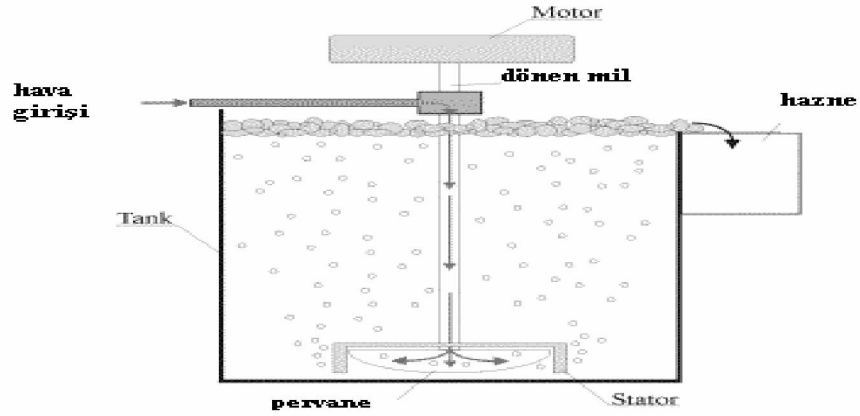
1. Cevherin maksimum 0,5-0,2 mm gibi bir boyutun altına ö ütülmesi;
2. % 15-35 arasındaki katı içecek ekilde sulandırılması;
3. Pülpe, bir veya birkaç çe it inorganik kontrol reaktifinin çok az miktarda ilavesi;
4. Mineral yüzeyini kaplayarak köpü e yapı masını sa layacak toplayıcı (kollektör) reaktifin ilavesi;
5. Dayanıklı hava kabarcı ı olu turan köpürtücü reaktifin ilavesi;
6. Karı tırma yolu ile veya basınçlı hava sevki ile köpü ün olu turulması;
7. Mineral ta ıyan köpük zonu ile, köpü e yapı mayan mineralleri bulunduran pülpün birbirinden ayrılması. Bu i lemler bazen birbirini takip etmek yerine, bir arada da uygulanabilir.

Flotasyon yönteminin geni olarak uygulanması ucuz olu undan yüksek derece cevherlerin tüketeni i, gang içinde ince da ılmı cevherleri kıymetlendirme zorunlulu u, çok ince taneleri ayırma imkanı veren flotasyon yönteminin büyük ölçüde önem kazanmasına sebep olmu tur (Atak, 1994).

Flotasyon genelde farklı yüzey özelli ine sahip minerallerin zenginle tirilmesine uygulanan bir yöntemdir. Örne in do al yüzebilme yetene i olan kömür, grafit, kükürt gibi mineraller yanta tan kolayca flotasyonla ayrılır. Sülfürlü mineraller bazen do rudan do ruya, bazen de toplayıcı (kollektör) reaktiflerin yardımı ile yanta tan ayrılabilir. Çe itli kontrol reaktiflerinin yardımı

ile de i ik sülürlü mineraller de birbirlerinden kolaylıkla ayrılabilir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından benzer yapıda olan di er oksit, silikat ve tuz tipi mineraller de uygun kontrol reaktifleri ve toplayıcılarla zenginleştirilebilir.

Flotasyon çetili minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarına dayanır. Reaktiflerle muameleden sonra, flotasyon pülpündeki (katı/sıvı) mineraller arasında yüzey özellikleri farklılıkları belirgin hale gelir ve flotasyon gerçekleşir. Parçacıklar hava kabarcığına yapışır, kaldırılır ve su yüzeyine yükselerek köpük oluştururlar. Pülpün üzerindeki köpük sıyrılarak uzaklaştırılır konsantrasyon elde edilir. Eğer parçacıklar iri ise hava kabarcıkları suyun kaldırma kuvvetinden yararlanarak parçacıkları kaldıramaz. Parçacıklar hava kabarcığından ayrılıp düşer. Şekil 1 flotasyon makinesinde flotasyonun temel prensibini göstermektedir.



Şekil 1: Flotasyonun prensipleri (www.minerals.org.au).

### 2.1.1. Flotasyon Sürecinin Özellikleri

Çetili minerallerin ıslanabilirlikleri arasındaki farkı kullanan, yüzey kimyasına dayanan ve iyi bilinen bir taneysel ayırım süreci olan flotasyon sürecindeki i letme mekanizması ince da ılımlı tanelerin uygun flotasyon reaktifinin adsorpsiyonuyla hidrofobik yapılmasıdır. Böylece onlara çarpan akı içindeki kabarcıklar yakalanır. Hava kabarcıklarına yapışan taneler köpük tabakasına taşınır ve alınır. Yeteri kadar hidrofobik olmayan taneler kuvvetli bir



kabarcık-tane ba 1 olu turmazlar ve süspansiyonda kalarak, artık olarak de erlendirilirler (Yekeler ve Yarar, 1994).

kinici a amada karakterize edilebilen ve birçok mikroprosesin canlandırıldı ı flotasyon süreci Scheludko ve Schulze (1971) tarafından formüle edilmi tir.

A) Temas durumundan önce a a ıda yer alan süreçler olu ur:

1) Tane ve kabarcık arasındaki hidrodinamik etkile im,

2) Kritik kalınlı a ( $h_{krit}$ ) kadar tane ve kabarcı ı ayıran sıvı filmin seyrelmesi yani, filmin kopmaya ba ladı ı kalınlık,

3) Filmin kopması ve kritik.

B) Mü faz temasının olu umu ( $r_{krit}$ ) ilk temas durumundan sonra ise:

Kararlı bir 3'lü faz temas çevresinin olu umuna kadar kritik çap'tır (Stechemesser ve Ahmed, 2000).

## **2.1.2 Flotasyon Çe itleri**

### **2.1.2.1 Köpük Flotasyonu**

Düz ve ters yapılabilir.

i) Düz Flotasyon: stenilen de erli mineral azınlıkta ise de erli mineralin yüzdürülmesi.

ii) Ters Flotasyon: E er cevher içerisinde gang minerali azınlıkta ise bu gang minerali yüzdürülür ve de erli mineral bastırılır (Atak, 1994).

### **2.1.2.2 Tamah Flotasyon**

Taneler çok ince oldu u için yüzdürülmesi istenen tanelerin yüzme hızları dü üktür. Böyle durumlarda pülp içine iri taneler ilave edilir. Bunlar yüzdürülerek iri tanelere yapı an inceler kazanılabilir. Kaolenler içerisindeki ince demir tanelerini ayırmak için pülpe 150-200  $\mu\text{m}$  boyutlarına ö ütülmü kalsit taneleri ta ıyıcı olarak ilave edilir (Atak, 1994).

### **2.1.2.3. Çözünmü Hava Flotasyonu**

çerisinde su bulunan basınçlı kap ve bunun üzerinde 1 atm. basınçdan fazla hava bulunur. Bundan başka di er bir kapta da yüzdürölmek istenen tanelerin bulundu u pölp vardır. Burada taneler hidrofobik yapılı ve iyice karı tırılarak hava kabarcıklarıyla çarpı maları sa lanır. Burada birinci kapta su içerisinde çözülen hava ikinci kaba basınçlı olarak pöskürtölür ve ikinci kapta alçak basınçta hidrofobik taneler üzerinde çok küçük boyutlu hava kabarcıkları olu turulur. Bu kabarcıklarda taneleri yüze ta ırlar. Fazla ekonomik de ildir. Belediyeler artık suların arıtılmasında kullanılırlar.

### **2.1.2.4. Elektro Flotasyon**

Suyun elektrolizine dayanır. Suyu akım verilerek çok küçük boyutlu kabarcıklar olu turulur. Olu an kabarcıklar elektrotlara do ru gider (Atak, 1994).

### **2.1.2.5. Masa Flotasyonu**

Sallantılı masa kullanılır. Malzeme masaya verilmeden önce toplayıcı ile karı tırıldıktan sonra beslenir. Yüzeyi toplayıcı ile kaplanan taneler çok rahat bir ekilde suyla sürüklenir. Toplayıcıyla kaplanmayanlar ise su filmi tarafından sürüklenmez (Atak, 1994).

### **2.1.2.6. Flash Flotasyonu**

Metalik mineral flotasyonun da ö ütme devresinde kıymetli mineraller gere inden fazla ö ütüölür. Örne in siklon üst akı ındaki taneler 100 µm boyutlu ise ve devrede yo unlukları farklı olan iki mineral varsa hafif olan tanelerin hepsi 100 µm boyutunda siklon üstünden ta arlar. Fakat a ır olan taneler ise 100 µm boyutunda üstün ta mazlar de irmene tekrar gelirler ve daha ufak boyutlara ö ütüölürler. Bu sakıncayı önlemek amacıyla siklon alt akı ıyla de irmen arasına tek bir hücre konur. Avantajları unlardır.

- Az miktar reaktif kullanımı
- Az miktar enerji kullanımı

- Verimin ve tenörün yükseltilmesi
- Devredeki yük oranının azalması

Bu yöntem Cu-Ni, Cu-Wa, Ni-Au devrelerinde çok fazla kullanılır. Tüm hücrelerden elde edilen randımanın % 50'si birim hücreden gelir (Atak, 1994).

### **2.1.2.7. Engelli Flotasyon**

Flotasyonun ba langıcında engelli flotasyon kineti i hava kabarcı mın yüzey ve yüzey hassasiyeti sınırlamasından kaynaklanmaktadır. Flotasyon zamanı selülden ilk köpü ün alınmasıyla ba lar. Köpü ün ekli için gerekli ba langıçtaki kütle birikimi kinetik analizine dahil de ildir.

Hava kabarcıkları tarafından yeteri derecede tanecik toplanması ve yüksek  $C_p$  (pülpteki hidrofobik katıların konsantrasyonu,  $g/cm^3$ ) 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 kabarcı ı boyutundan daha küçük olduğu zamanlarda meydana geldi ini belirtmişlerdir. Kritik hava kabarcı ı boyutu; mineraller tarafından tamamen kaplanan ve pülp içinde yüzeye taşıyabilecek kadar yeterli yüzebilirliğe sahip olan hava kabarcı mın boyutuna denir. Bu araştırmacılar tarafından sunulan yüzey ve/veya yüzme hassasiyeti sınırlamasının meydana gelebilece i koşulların tahmin edilmesine izin vermektedir. Pülp içindeki hava akım hızının ve hava kabarcı ı boyut da ılımının uygun düzeltmelerle bu sınırlamalar iptal edilebilir (Szatkowski, 1987).

### 2.1.2.8 Serbest 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 flotasyon olarak adlandırılmış ve anlaşıldığı gibi tek bir parametre ile tanımlanmaktadır (hız sabiti,  $k$ ).

Serbest flotasyon hava kabarcıklarının tanecikler tarafından seyrek olarak kaplandı ve hiçbir zaman hava kabarcığı noksanlığının olmadığı koşullar altında meydana gelir. Tek bir partikül taneciği için ve sabit hava kabarcığı hızında aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$\frac{dn}{dt} = k_1(n_0 - n) \quad (1)$$

Bu denklemin integrali alınınca aşağıdaki denklem,

$$\log(1 - R) = k_1 t \quad (2)$$

elde edilir.

Burada;  $R$ : Verim  $n/n_0$ 'dır (Sönmez 1996).

### 2.1.2.9 Geçi Flotasyonu

Bu flotasyon yukarıda bahsedilen iki durum (engelli ve serbest flotasyon koşullarının) arasındaki tüm koşulları kapsar. Flotasyon hızı hem kullanılabilir hava kabarcığı kapasitesi hem de partikül konsantrasyonu tarafından etkilenir (Tomlinson ve Fleming, 1965).

Hidrofobik katıların çoğu pülpden alındıktan sonra flotasyon hızı anlamlı bir şekilde düşer. Bu olayın açıklaması literatürde iki şekilde yapılır. Birincisi; hidrofobik partiküllerin yüzey özelliklerinde farklılık olduğunu kabul eder. Bunlar ya tane boyutundaki farklılıklar ile yüzey özelliklerine ya da kollektörlerin dengesiz dağılımına bağlıdır (Imazume ve Inoue, 1965). Diğer açıklama (Mori ve Ark. 1986) mineralle zayıf kaplanmış köpüğünün düşük stabilitesini hesaba katar.

Flotasyon pülpüne giren hava kabarcıkları iki çeşit reaksiyona tabi: 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 çarpma frekansını belirleyen pülpteki hava kabarcığı konsantrasyonu ve hidrofobik partiküllerin yüzey kaplama derecesidir (Sönmez 1996).

### **2.1.3. Flotasyon Kinetiği**

Flotasyon kinetiği, flotasyon sırasında yüzen malzemenin zamana karşı değişiminin incelenmesi olarak tanımlanabilir. Kinetik çalışmalarda birkaç amaç vardır.

I) Deney sonuçlarının ampirik analiziyle, bir takım flotasyon parametrelerinde flotasyon hız sabitlerinin belirlenmesi.

II) Kinetik modeller oluşturularak, bunların deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.

III) Simülasyon ve kontrol amacıyla flotasyon devrelerinin kinetiğinin modellenmesi (Kop ve Ark, 1995).

Flotasyon kinetiğini açıklayan diferansiyel denklemler genellikle birinci dereceden kimyasal kinetiğe benzer şekilde yazılır.

$$dC_p = -kC_pC_b dt \quad (1.1)$$

$C_p$  = pülpteki hidrofobik katıların konsantrasyonu, g / cm<sup>3</sup>

$C_b$  = pülpteki hava kabarcığı konsantrasyonu, l / cm<sup>3</sup>

$k$  = flotasyon hız sabiti, .1 / dak.

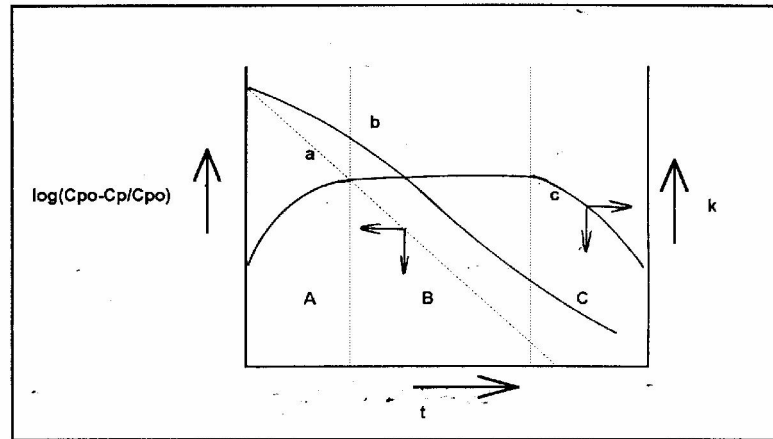
$t$  = zaman, dak.

Daha sonra flotasyon sistemi için  $Q$ , sabit kabul edilir ve (1.2) nolu denklemler

$$dC_p = -kC_p dt \quad (1.2)$$

elde edilir. Dördüncü e itlik entegre edildikten sonra grafi i çizilirse, ekil 2'de görüldü ü gibi e imi -k olan bir do ru elde edilir (Çizgi a). Bu ekil genelde flotasyon sistemlerinin ço unun tanımlayıcısı olarak kabul edilir. Fakat flotasyon kineti inin yayımlanmı çalı malarının ço u test sonuçlarının do rusal formu takip etmedi ini göstermektedir. B çizgisi deney sonuçlarının teorik karakteristikten yaygın sapmalarını göstermektedir. Görüldü ü gibi gerçek flotasyon yöntemini farklı flotasyon hız de erleri ile ayırt edilen üç bölüme ayırabiliriz (A,B,C).

Yöntemin ba langıcını olu turan A bölümü, pülpte yüzebilir katıların yüksek bir konsantrasyonu ile tanımlanır bu bölümde flotasyon hızı dü üktür. Daha sonra yüzen katıların bir kısmı pülpten alınır ve flotasyon hızı verilen yöntem için maksimum de ere kadar yükselir. Bu B bölümünün karakteristi i ile sunulur. Grafikte C bölümü olarak gösterilen kısımda katıların büyük bir kısmı pülpten alındı ı zaman flotasyon hızı genellikle tekrar azalır. Bazen bu azalma sert olabilir. Yani flotasyon hemen hemen durur ve katının tamamını almak imkansızdır.



ekil 2. Flotasyon kineti inin karakteristikleri (Sönmez, 1996).

Flotasyon kineti i, flotasyon zamanı ile köpük üst akım de i im miktarının ölçümü ve bütün hız kontrol de i kenlerinin nicel olarak belirlenmesidir. Bu de i kenler; flotasyon hız sabiti, flotasyon zamanı ile yüzen mineral arasındaki matematiksel ili kidir (Tomlinson ve Fleming, 1965).

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

Flotasyon kineti i kimyasal kineti e benzer eilde yazılır.

$$\frac{dC}{dt} = -k' C^n C_a^{n_a} \quad (1.3)$$

Burada;

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

n= reaksiyon derecesi

C<sub>a</sub>= hava konsantrasyonu,

k' ise reaktif konsantrasyonu, partikül ve hava kabarcı ı boyutları, flotasyon zamanı, selül tipi, köpük alma hızı gibi özelliklerden olu an kompleks bir fonksiyon içerir.

Kontrollü bir deneyde aslında bu de i kenler sabittir ve C = C<sub>0</sub>, n = n<sub>a</sub> de i tirilerek tanımlanabilir.

Hava tüketimi sabit, hava kabarcı ı konsantrasyonun daki de i im için hiçbir e ilim yoktur. Bu artlar altında;

$$\frac{dC}{dt} = -k_n C^n \quad (1.4)$$

Konsantrasyon tanımı tamamen sabit de ildir. Çünkü çe itli de i imler kabul edilmi tir. Genelde

$$C = \frac{M}{V} \quad (1.5)$$

M= katı veya yüzebilen kısım,

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

V, deney boyunca sabit olabilir. Formülü sabitle tirmek için V sabitlenir.

$$R = \frac{M_0 - M}{M_0} \quad (1.6)$$

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} \quad (1.7)$$

$C_0$ = başlangıçta selülde kalan miktarı,

$C_\infty$ = son ekliyle yüzmeyip selülde kalan miktarı ifade eder.

$$R_\infty = \frac{M_0 - M_\infty}{M_0} = \frac{C_0 - C_\infty}{C_0} \quad (1.8)$$

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

### 2.1.3.1. Birinci dereceden (n = 1) için;

$C = C_0$ ,  $t = 0$ 'da,  $C_t = C$ ,  $t = t$ 'de

$$C = C_0 e^{-k_1 t} \quad (1.9)$$

Grafiksel sunum için

$$\ln \frac{C_0}{C} = k_1 t \quad (1.10)$$

Birinci dereceden e itlik uygulanarak normal veya log-normal eksenel sistemde çizilen  $C_0 / C$ 'ye karşı t grafikleri k e imli bir e ri verir. Zaman uzatılrsa 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. Aralıkta kalan materyal konsantrasyonunun ( $C_\infty$ ), beslemeden ( $C_0$ ) çıkarılması ile elde edilen ( $C_0 - C_\infty$ ) (1.8) nolu e itlikteki  $C_0$ 'ın yerini alır ve uygun limitler arasında integre edilirse,

$$\frac{dC}{dt} = -k_n [C - C_\infty]^n \quad (1.11)$$



(1.3) ve (1.11) nolu e itlikteki hız sabiti  $C'$  yi tanımlamalarından dolayı farklıdır.

$C_\infty$  de eri direkt olarak bilinmemektedir. Ancak 1.12 nolu e itlikle elde edilir:

$$C - C_\infty = [C_0 - C_\infty] e^{-k_1 t} \quad (1.12)$$

Garcia (1935) ve Morris (1952)  $C_0 - C_\infty / C - C_\infty$ 'ye kar ıt t' yi çizerek  $C_\infty$ 'yi elde etmi ler. Bu metot fazlasıyla uzun olabilir, fakat  $C_\infty$ 'ı do rudan olarak tanımlamak için grafiksel prosedür vardır.

(1.7) ve (1.8) nolu e itlikteki de er (1.11) nolu e itlikte yerine konursa

$$\frac{dR}{dt} = -k_n C_0^{n-1} [R - R_\infty]^n \quad (1.13)$$

$n = 1$ ,  $C_0 = 0$  ve  $t = 0$ 'da  $R = 0$  göz önüne alınarak integre edildi inde

$$R = R_\infty [1 - e^{-k_1 t}] \quad (1.14)$$

Bu e itlik ilk defa ampirik olarak Garcia (1935) tarafından ortaya atılmı tır.

### **2.1.3.2. kinci Dereceden (n = 2) çin**

$n = 2$ ,  $t = 0$ ,  $C = c_0$  ve  $t = t$ ,  $C = C$  sınırları ile integre edilirse,

$$C = \frac{C_0}{1 + C_0 k_2 t} \quad (1.17)$$

Grafiksel sunum için

$$\frac{C_0}{C} = 1 + C_0 k_2 t \quad (1.18)$$

(1.11) nolu e itlik integre edilirse (1.17) nolu e itlikten daha karma ık olur.

$$C = \frac{C_0 + C_\infty [C_0 - C_\infty] k_2 t}{1 + [C_0 - C_\infty] k_2 t} \quad (1.19)$$

(1.19) nolu e itlik, 1.17 nolu e itlikte C yerine C - C<sub>∞</sub>, C<sub>0</sub> yerine C<sub>0</sub> - C<sub>∞</sub> konularak elde edilir. C<sub>∞</sub> = 0 oldu u zaman 1.19 nolu e itlik tekrar 1.17 nolu e itli e döner.

(1.19) nolu e itli in de i ik bir ekli Arbiter (1951) tarafından (1.20) nolu e itlikten elde edilir.

$$\frac{dR}{dt} = k'_n [R_\infty - R]^n \quad (1.20)$$

R = 0 ve t = 0'da integrasyon ile

$$R = \frac{R_\infty^2 k'_2 t}{1 + R_\infty k'_2 t} \quad (1.21)$$

Grafiksel sunum için

$$\frac{t}{R} = \frac{1}{R_\infty^2 k'_2} + \frac{1}{R_\infty} \quad (1.22)$$

Hukki (1953) tarafından ise (1.23) nolu e itlik önerilmi tir.

$$\frac{1}{t} = \frac{k'_2 R_\infty^2}{R} - k'_2 R_\infty \quad (1.23)$$

#### **2.1.4 Do al Olarak Yüzebilen Minerallerin Flotasyonu**

Bazı, mineraller toplayıcı reaktiflere ihtiyaç göstermeden, hava kabarcı na ili ebilirler. Kömür, grafit, kükürt ile bitüm, asfalt vs. gibi katı hidrokarbonlar, atomlar arası ba lar nedeni ile do al olarak suyu iten (hidrofobik) yüzey özellikleri gösterirler. Di er bazı mineraller kırılmalar sırasında dilinimlerine ba lı olarak, kovalent ba lar içiren nötr yüzeylerini açı a çıkarırlar. Pek çok sülfürlü mineralde bu duruma rastlanırsa da, kırılım ekli bakımından molibdenit (Mo, S<sub>2</sub>) ve Stibnit (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) yüksek oranda do al yüzebilirlik gösterir. Yine kırılım ekline göre, talk, pirofilit gibi bazı silikatlar da do al yüzebilme yetene ine sahiptir.

Do al olarak yüzebilen mineraller, toplayıcı reaktif hatta bazen köpürtücü reaktif kullanılmadan yüzdürülebilirler. Bu mineraller genelde yumu ak yapılı oldu undan (grafit, kükürt) en önemli sorun, daha sert olan yanta ın yüzeyleri kaplaması veya çok yumu ak olan minerallerin gang minerali yüzeylerini boyamasıdır. Temizleme kademeleri ile bu sorun giderilebilir. Flotasyon süresini azaltmak ve verimi yükseltmek için bu minerallerin rotasyonunda nötr bir ya ve köpürtücü kullanılabilir.

Do al olarak yüzen mineraller yüzeyleri de i tirilerek bastırılabilirler. Yüzey de i imi ya yüksek oranda oksidasyonla veya yüzeylerin organik kolloidlerle adsorpsiyonu ile sa lanır. Oksitleyici olarak, potasyum permanganat, sodyum hipoklorit gibi inorganik oksidanlar, organik kolloid olarak da ni asta, dekstrin gibi maddeler kullanılır.

Grafit: Tabakalı tipte olanı kolaylıkla yüzdürülebilir. Kullanılan yegane organik reaktif çamyadır. Fakat gang minerallerinin kırma ve ö ütme sırasında grafitle boyanması ayırmayı ve temiz konsantre üretimini güçle tirebilir. lamlı cevherlerde sodyum silikat, sülfürlü cevherlerde sodyum siyanür kullanılarak ve birkaç temizleme kademesi uygulanarak konsantre tenörleri yükseltilebilir. Di er cevherlerin flotasyonunda grafit istleri bastırmak için, dekstrin, lignin sülfonat gibi organik kolloidler kullanılır (Atak, 1994).

Kömür: Kömür do al yüzebilirlik gösterirse de bu durum karbon miktarı, kül ve bünye rutubeti miktarına göre de i ir. En iyi yüzen kömür az uçucu madde içeren bitümlü kömür olup, daha yüksek karbonlu antrasite ve daha dü ük dereceli linyite gidildikçe, do al flotasyon yetene i azalır. Kül ve rutubet oranı arttıkça da hidrofobluk azalmaktadır.

Kömürde en önemli safsızlıklardan biri olan kükürt, flotasyon yolu ile azaltılabilir. Kükürt kömürde organik ve inorganik ekilde bulunur. Organik kükürt makro molekül yapılı kömür polimerinin bünyesinde bulundu undan, flotasyonla uzakla tırlamaz. norganik kükürt genellikle demir sülfür, bazen de jips halinde bulunur. Bunlar, serbestle me mümkün oldu u takdirde, flotasyonla ve di er yıkama yöntemleri ile ayrılabilirler.

Kömür do al olarak yüzeabilen bir mineral oldu u halde, yüzeyde ıslanan kısımlar bulundurulabilir ve bu durum reaktif kullanımını gerektirebilir. Çamyacı, kresilik asit, MIBC gibi köpürtücülerle birlikte, gazya ı gibi bir nötr ya 0,5-1,5 kg/ton mertebesinde kullanılabilir (Atak, 1994).

Kükürt: 80<sup>0</sup>'yi a an temas açısı ile do al olara yüzeabilen bir mineraldir. Fakat kükürt çok yumu ak bir mineral oldu undan, ö ütmeye sırasında sert yanta la kaplanarak do al hidrofoblu unu kaybedebilir. Kükürt flotasyonunda nötr ya lar bir köpürtücü ile birlikte kullanılır (Atak, 1994).

### **2.1.5. Flotasyon Reaktifleri**

yi bir flotasyon devresinde bütün reaktifler ayrı olarak de i ik kıvım tanklarına verilir. Reaktifler kademelide ilave edilebilir. Reaktifler a a ıdaki sırada verilir:

#### I. Düzenleyiciler

##### 1. Bastıcılar

##### 11. Canlandırıcılar

#### II. Toplayıcılar

#### III. Köpürtücüler

### **2.1.5.1. Toplayıcılar (Kollektör)**

Hidrofoblu u olu turmak veya artırmak için toplayıcılar pülpe ilave edilip bir süre artlandırılır. Toplayıcılar seçilen mineral yüzeyine yapı ıp onlara suyu itici özellik kazandıran organik bile iklerdir. Toplayıcılar hidratasyona u ramı tabakaları mineral yüzeyinden uzakla tırılarak hava kabarcı ının yapı masını sa larlar.

Toplayıcı molekülleri ya suda iyonlara ayrı an bile ikler veya çözünmeyen ve minerali su itici yapan iyonla mayan bile iklerdir.

Genellikle, az miktar toplayıcı kullanılır (10-200 g/t cevher), bu tek-tabaka halinde mineral yüzeyini kaplar. Daha çok miktarlar, tüm mineralleri yüzdürür, seçimliliği azaltır ve maliyeti yükseltebilir. Toplayıcı uzakla tırılması yapı masından daha zordur. Fazla toplayıcı kullanılması de erli mineral verimini çok tabakalı toplayıcı adsorpsiyonu dolayısıyla olumsuz yönde etkileyebilir. Hidrofobiklik ve yüzebilirlik azalır.

yonla an toplayıcılar iyon tipine göre anyonik veya katyonik olurlar.

#### **2.1.5.1.1. Anyonik Toplayıcılar:**

Bunlar en yaygın olarak kullanılan flotasyon toplayıcılarıdır. Polar gruplarının yapısına göre ikiye ayrılırlar: Oksitril ve sülfidril.

Oksitril toplayıcılar organik asit veya sabunlardır. Karboksilatlar ya asitleri olarak bilinir.

Karboksilatlar kuvvetli toplayıcılarıdır fakat seçimlilikleri azdır.

Sülfat ve sülfonat toplayıcıları daha az kullanılır. Ya asitlerine benzer özelliklere sahiptirler, fakat toplama güçleri daha dü üktür.

#### **2.1.5.1.2. Katyonik Toplayıcılar:**

Katyonik toplayıcılar ortamın pH'sına çok hassastır. Az asidik solüsyonlarda çok aktif, kuvvetli baz ve asit ortamlarda aktif de ildir.

Aminler; oksit, karbonal, silikat, alkali toprak metalleri (barit, karnalit, sülfinit), flotasyonunda kullanılır. Toplayıcı gereksinimi polar olmayan gaz ya ı ilavesiyle azaltılabilir. Gaz ya ıda mineral yüzeyinde adsorp olur.

#### **2.1.5.2. Köpürtücüler**

Toplayıcı kullanarak hidrofobik yapılan mineral yüzeyleri, pülpdeki kabarcık yapma dengesini köpürtücünün verimine dayanır. deal olarak köpürtücü sıvı fazda çalı ır ve mineral yüzeyinin durumunu etkilemez.

Köpürtücüler, kimyasal olarak iyonik toplayıcılara benzerler. Birçok toplayıcılar güçlü köpürtücülerdir.

Köpürtücüler hava-su ara yüzeyine adsorp olur ve ortamın yüzey gerilimini azaltarak dengeli köpük ve hava kabarcığı oluşur. Köpürtücüler suda kolay çözünmelidir. En etkili köpürtücüler a) a) daki bileşiklerden birini yapısında içermelidir.

- |                |  |
|----------------|--|
| - Hidroksit    | - OH   |
| - Karboksil    | - C $\begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array}$ |
| - Karbonil     | - C = O  |
| - Amino grubu  | - NH <sub>2</sub>  |
| - Sülfür grubu | - OSO <sub>2</sub> OH – SO <sub>2</sub> OH                                 |

Asitler, aminler ve alkoller en çok çözünen köpürtücülerdir. Alkoller (-OH) toplama özellikleri olmadığından en sık kullanılırlar.

Çam yağı ve aromatik alkol olan terpinol (C<sub>10</sub>H<sub>17</sub>OH) en yaygın olarak kullanılan köpürtücülerdir. Kresol'de, cresilic acid (CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OH) oldukça sık kullanılır.

### **2.1.5.3. Düzenleyiciler**

Ayarlayıcılar veya de i tiriciler flotasyonda mineral yüzeyinin su itme özelliğini azaltmak veya artırmak için kullanılırlar. Böylece toplayıcı bazı minerallere karşı daha seçimli olur. Düzenleyiciler canlandırıcı, bastırıcı olarak bilinirler.

#### **2.1.5.3.1. Canlandırıcılar**

Bu reaktifler mineral yüzeyinin kimyasal yapısını de i tirerek toplayıcının hidrofobik yüzeye yapışmasını sağlar. Canlandırıcılar genellikle iyonla an tuzlardır. Bu iyonlar sonra mineral yüzeyleriyle reaksiyona girer.

Canlandırmada en klasik örnek sfaleritin bakır sulfat (CuSO<sub>4</sub>) ile muamelesidir.

### **2.1.5.3.2. Bastırıcılar**

Bastırıcılar bazı minerallerin seçimli flotasyonunu artırmak için hidrofilik yapıya sahip flotasyonun önlenmesi için kullanılır. Bir çok tipte bastırıcı vardır. Bunların fonksiyonları karmaşık ve değişiklidir.

Organik reaktifler nişasta, tanin, quebracho ve dekstrin iyonlaşmaz fakat koloidal parçacıklar halinde mineral yüzeyine çökelirler. Flotasyonu lam kaplamadaki gibi engellerler.

## **2.2. Minerallerin İslanma Özellikleri ve Kritik İslanma Yüzey Gerilimleri**

Katıların veya mineral tanelerinin ıslanabilmesi, flotasyon, aglomerasyon ve katı-sıvı ayırımı gibi pek çok teknolojik işlemi etkileyen önemli parametrelerden biridir (Fuerstenau ve Ark., 1991).

Katıların ıslanabilirliği/hidrofilikliği ve yüzeyebilirliği/hidrofobluğu katı-sıvı ve katı-hava ara yüzeyleri, kimyasal bağlar, bulk özellikleri, katıların kristal yapısı ve katıların su ile reaksiyona girebilmesi gibi özellikler bakımından incelenmiştir. Hidrofobluk her ne kadar katı-sıvı-hava sistemindeki iletkenlikten kaynaklansa da, hidrofobluğu ve yüzeyebilirliği basit ilişkilerle ve kurullarla ifade etmek için çok uzun zamandan beri çalışmalar yapılmaktadır (Gaudin ve Ark., 1957; Drzymala, 1994).

### **2.2.1. Ara yüzey enerjileri ve temas açısı**

Cevher hazırlamada temas açısından, teori ve uygulamada yaygın olarak kullanılıp yararlanılmaktadır. Temas açısının termodinamik olarak kökeni ve yüzey enerjileri ile bağlantısı ilk defa Young (1805) tarafından açıklanmıştır. Sonrasında, Gibbs (1878) tarafından ıslanma ileminin termodinamiği açık olarak izah edilmiştir. Statik ve dinamik temas açısı üzerine son 20 yılı boyunca çok sayıda araştırma yapılmış olup, ara yüzey enerjilerinin modern teorileri, ıslanabilirliğin altında açıklanmıştır. Temas açısı flotasyon ileminde mineral

kazanımından sorumlu tek bir kriter de ildir, ancak oldukça önemli faktörlerden birisidir (Ralston ve Newcombe, 1992).

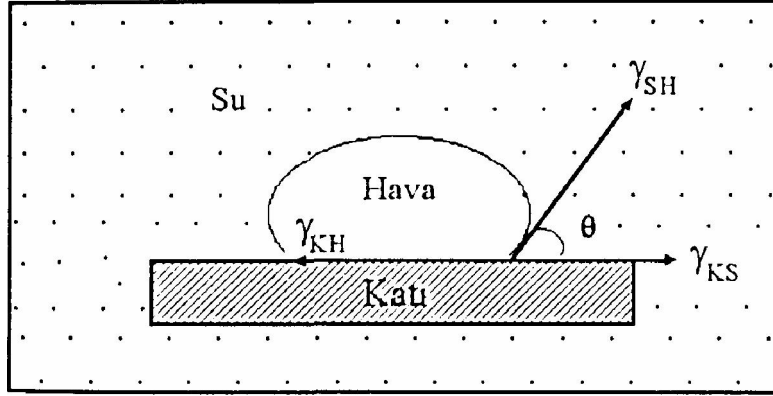
Bir kabarcık veya damlacık küresel bir ekle bürünmekle yerçekimi altındaki serbest enerjisini en aza indirir. Kabarcık veya damlacık bir katı ya da sıvı alt tabakasıyla temas halindedir ve Gibbs tarafından belirtildi i gibi serbest enerjisini en aza indirmek isteyecektir.

Katı yüzeyinde bir damla, ince bir sıvı filmi halinde yayılabilir veya bir damlacık olarak kalabilir. İlk durum tam ıslanma olarak adlandırılırken, ikinci durum ise kısmi ıslanma olarak tanımlanır. Benzer davranı bir kabarcıkla temas halindeki bir alt tabaka içinde geçerlidir.

Sıvı ve altındaki katı madde arasında bazı etkile imler mevcuttur. Bunlar sadece Van der Waals kuvvetleri olmayıp, adsorpsiyon veya yüzey gruplarının iyonizasyonu gibi etkenler de söz konusudur (Ralston ve Newcombe, 1992).

Flotasyon sisteminde üç faz mevcuttur: Katı, sıvı ve hava fazı. Bu üç fazın dengede olması hali "Young e itli i" ile açıklanır. Bu üç fazın dengede olması halinde ara yüzey gerilimlerinin cebirsel toplamı sıfırdır (E itlik 24). ekil 3'de görüldü ü gibi katı yüzeyi ile sıvı-hava ara yüzeyi arasındaki açığa temas açısı ( $\theta$ ) adı verilir.





ekil 3. Sulu ortamda katı ve kabarcık arasındaki temas açısı

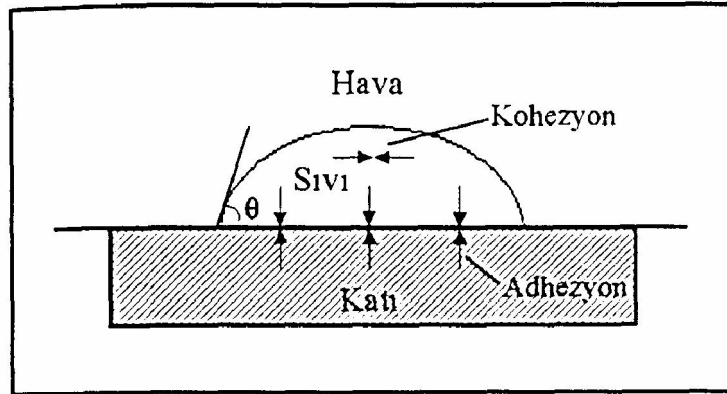
$$\gamma_{SH} + \gamma_{KH} + \gamma_{KS} = 0 \quad (24)$$

Burada;  $\gamma_{SH}$  = Sıvı-hava ara yüzey gerilimi,  $\gamma_{KH}$  = Katı-hava ara yüzey gerilimi ve  $\gamma_{KS}$  = Katı-sıvı ara yüzey gerilimidir.

$$\cos\theta = (\gamma_{KH} - \gamma_{KS}) / \gamma_{SH} \quad (25)$$

Temas açısı büyüdükçe, katı ile hava kabarcığı arasındaki adhezyon kuvveti büyümekte ve katının yüzeyliliği artmaktadır (Wills, 1985).

ekil 4'de verilen sistem için;



ekil 4. Üçlü faz sistemi (katı-sıvı-hava) için kohezyon ve adhezyon enerjileri (Laskowski, 1986)

$$\text{Kohezyon enerjisi}; W_{\text{kohezyon}} = 2\gamma_{SH} \quad (26)$$

$$\text{Adhezyon enerjisi}; W_{\text{adhezyon}} = \gamma_{KH} + \gamma_{KS} \quad (27)$$

ve temas açısıyla ili kilendirilirse;

$$W_{\text{Adhezyon}} = \gamma_{\text{SH}} (1 + \cos\theta) \text{ olur.} \quad (28)$$

Katı yüzeyinde sıvı için yayılma katsayısı (S);

$$S = W_A - W_K > 0 \text{ ise sıvı katı yüzeyinde yayılır.} \quad (29)$$

Bu durumda,  $\theta=0^\circ$  olacaktır. Yüzebilirlik ko ulu ise  $W_A < W_K$ ,  $\theta=0^\circ$  dir.

Katı-hava teması için termodinamik ko ul olarak serbest enerji de i imi;

$$\Delta G = G_2 - G_1 < 0 \text{ (P, T ve n sabit) olmalıdır.} \quad (30)$$

Burada;  $G_1$  katı ile havanın yapı masından önceki Gibbs serbest enerji de i imi,  $G_2$  yapı madan sonraki Gibbs serbest enerji de i imi, P basınç, T sıcaklık ve n ise mol sayısıdır.

Young e itli inin uygulanmasıyla flotasyonun gerçeikle ebilmesi için;

$$\Delta G = \gamma_{\text{SH}} (\cos\theta - 1) \quad (31)$$

Burada,  $\theta = 0^\circ$  için  $\Delta G = 0$  ve  $\theta > 0^\circ$  için  $\Delta G < 0$  oldu u açıktır ve  $\Delta G < 0$  olması flotasyonun gerçeikle mesi için termodinamik kriterdir.

Statik temas açıları, sıvının ön tarafına ilerleyen "yayılma temas açısı (advancing) ( $\theta_i$ )" ve sıvının geri tarafına ilerleyen temas açısı "çekilme temas açısı (receding) ( $\theta_g$ )" olmak üzere iki eilde belirlenir. Genel olarak  $\theta_i > \theta_g$  olup, bu durum hata (hysteresis) olarak ifade edilir. Pratikte katı yüzeyleri her zaman pürüzlü ve heterojen bir yapı gösterir. Kimyasal yüzey heterojenitesi, çe itli kimyasal kısımlardan kaynaklanan karma ık bir temas açısını meydana getirirken, pürüzlülük ya ıslanmayı azaltır ya da artırır. Hata, yani ileriye giden ve geriye giden temas açıları arasındaki farklılık heterojenite ve pürüzlülü ün bir yansıması sonucudur. Sıvı ıslanmayan katı yüzeyler üzerine ilerledi inde hata gözlenir. Heterojenite genellikle pürüzlülükten daha yüksek bir hataya neden olur. Hata statik durumlardaki farklılıkları ifade etmede kullanılır (Andrade ve Ark., 1985; Ralston ve Newcombe, 1992). Bir sıvı damlacı ı için ölçülebilen temas açısı ( $\theta$ )

E itlik 25'de verilmi tir. Venzel (1936) bu ifadeyi pürüzlülü ü dikkate alarak a a ıdaki e itlik ile ifade etmi tir.

$$\cos \theta_r = r(\gamma_{KH} - \gamma_{KS}) / \gamma_{SH} \quad (32)$$

$$r = (\text{gerçek yüzey alanı}) / (\text{geometrik yüzey alanı}) \quad (33)$$

$\theta_r$  pürüzlü bir yüzey üzerinde olu an temas açısıdır,  $r'$  nin artması pürüzlü ünün artması demektir. Düz yüzeyler üzerinde ölçülen  $90^\circ$ 'nin altındaki bir temas açısı, pürüzlülük arttıkça azalmaktadır. Bu açının üzerindeki temas açılarında ise pürüzlülük arttıkça temas açısı da artmaktadır.  $90^\circ$ 'de ise pürüzlülükle temas açısı de i memektedir (Adamson, 1990). Ayrıca, Yarar ve Aksu (1997) tarafından yapılan çalı mada ise pürüzlülü ün ıslanmayı artırdı ı belirtilmi tir. Yani, pürüzlülük mineralin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_C$ ) de erini artırarak, hidrofoblu unu azaltacaktır.

### **2.2.2. Hidrofobik ve Hidrofilik Katılar**

Bir kaç istisna dı nda, inorganik katıların yüzeyleri suda tamamen ıslanır. ıslanmayı meydana getiren sebep, katı yüzeyindeki iyonların su içindeki hidrate iyonlarla ba lantı kurmalarıdır. Bu hidrate iyonlar, suyu te kil eden hidrojen ve hidroksil iyonu olabildi i gibi, su içinde bulunan di er elektrolitler de olabilir.

Laskowski (1986), polar ya da iyonik grupları ta ımamaları halinde, tüm katıların hidrofobik olacaklarını belirtmi tir.

Gaudin ve Ark. (1957) do al yüzeybilirli e etki eden faktörleri katıların kristal yapıları bakımından incelemi lerdir. Katıların yüzeybilirli i yüzeylerinde hidrokarbon ta ıyan iyonlar ve moleküller tarafından artırılmaktadır. Ancak, do al yüzeybilirli in atomlar arasındaki ba ların kırılmadan en azından bazı klivaj yüzeyleri olu makla meydana geldi ini vurgulamı lardır. Kristal yapısı, iyonik ba ları te kil eden katılar için yüzeybilirli i olumsuz yönde etkilemektedir.

Katıların veya minerallerin yüzeybilme ya da ıslanma karakterleri bir çok deneysel ve ampirik tekniklerle nicel olarak tahmin edilebilir. Bunlardan biri katıların veya minerallerin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_C$ ) de eridir (Shafrin ve

Zisman, 1960; Parekh ve Aplan, 1974; Yarar ve Kaoma, 1984). Bu de er veya daha az yüzey gerilimine sahip sıvılar, katı madde veya mineral yüzeyine tamamıyla yayılmak suretiyle ıslatırlar. Saf suyun yüzey gerilimi (72 mN/m) baz alınarak,  $\gamma_c$  de eri 72 mN/m' den büyük olan mineraller “hidrofilik, dü ük olanlar ise “hidrofobik” veya “do al hidrofobik” olarak tanımlanırlar.

### **2.2.3. Islanma Davranı ının Tahmini; Kritik Islanma Yüzey Gerilimi ( $\gamma_c$ )**

Islanma mikro-elektronikten, ince film kaplama, katı yüzeyler üzerine sıvıların yayılmasını içeren görüntü formasyonuna kadar pek çok ileri teknoloji uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bilimsel bakı açısıyla islanma olgusu yüzeylerin ve ara yüzeylerin fizi i ile ba lantılı olarak hem teorik hem de deneysel olarak oldukça çalı ılmı tır. Yüzey gerilimi ve ıslanabilirlik adhezyon, adsorpsiyon, ya lama, kataliz, katı-sıvı reaksiyon kinetikleri gibi bilim ve teknolojinin farklı bir çok alanında önemli bir olgudur (Wapner ve Hoffman, 2002).

Partiküllerin ıslanabilmesinin, flotasyon, aglomerasyon, katı-sıvı ayrımı ve tozun bastırılması gibi pek çok teknolojik süreci etkileyen önemli parametrelerden biri oldu u bilinmektedir (Fuerstenau ve Williams., 1987).

Kritik ıslanma yüzey gerilimi, Zisman' in geli tirdi i, verilen bir katı üzerinde çe itli sıvıların temas açılarını tahmin etmek için kullanılabilen yararlı bir kavramdır. Zisman homolog sıvı serileri ve katı için,  $\gamma_{SG}$  ve  $\cos \theta$  arasında bir lineer ili ki oldu unu göstermi tir (Hogg, 1980). Bunun için Zisman, (1964) dü ük yüzey enerjili katılarla temas halindeki saf sıvılarca olu turulan denge temas açılarını ara tırarak, katıların kritik ıslanma yüzey gerilimi kavramını geli tirmi tir. Düz ve homojen bir polimerik katı yüzeyinde sıvı damlasının olu turdu u temas açısının, kullanılan sıvıların yüzey geriliminin azalmasıyla azaldı ını bulmu lardır. Sıvının katı yüzeyini yayılma sonucu tamamıyla ıslattı ı andaki yüzey gerilimi de erini, katının kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) olarak tanımlamı lar ve adsorplanan organik filmlerle kaplanan yüksek enerjili yüzeyler

ve organik katıların ıslanabilirliğini karakterize etmede bunu genelleştirmektedirler. Böylelikle, katıların ıslanma özellikleriyle, organik yüzeylerdeki organik kökler ve atomların do al ve sıkı masını iliklendirebilmektedirler. Bu onlara, katılar üzerine çözültiden tek moleküllü filmlerin oluşturulmasında reaksiyon yöntemiyle adsorblanan bir film oluştuğuz zaman autophobic sıvıların davranışını açıklamaya müsaade etmektedir.

Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) bir mineral yüzeyini karakterize etmede etkili bir parametre olarak dikkate alınabilir. Bununla birlikte, flotasyona uygulandıında, mineral ayrımları için termodinamik flotasyon kriterinin test edilmesinde doğrudan bir yol sunmaktadır (Andrade ve Ark., 1985; Laskowski, 1986; Yarar, 1988).

Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de erisi saf suyun yüzey geriliminden (~ 72 mN/m) düşük olan mineraller  $\gamma_c < 72$  mN/m) do al hidrofob mineraller ve yüksek olanlar ise ( $\gamma_c > 72$  mN/m) hidrofilik mineraller olarak isimlendirilirler.

$\gamma_c$  de eriden düşük sıvının yüzey gerilimlerinde, mineral bu çözülti tarafından tamamen ıslatılmak suretiyle hidrofobluk veya yüzeybilirlik özelliğini kaybeder (Laskowski, 1986).

#### **2.2.4 Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) ve belirleme teknikleri**

Shafrin ve Zisman (1960) ve Zisman (1964) düşük yüzey enerjili katılarla temas halindeki saf sıvılar tarafından oluşturulan denge temas açılarını araştırarak, katıların kritik ıslanma yüzey gerilimi kavramını geliştirmektedirler. Düz ve homojen polimerik bir katı yüzeyinde sıvı damlasının oluşturduğu temas açısının ( $\theta$ ) kullanılan sıvıların yüzey geriliminin azalmasıyla azaldığını bulmuşlardır. Sıvının katı yüzeyini yayılma sonucu tamamıyla ıslattığı andaki yüzey gerilimi de erisini, katının "kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ )" olarak tanımlamışlardır. Adsorplanan organik filmlerle kaplanan yüksek enerjili yüzeyleri ve organik katıların ıslanabilirliğini karakterize etmede bunu genelleştirmektedirler ve böylelikle, katıların ıslanma özellikleriyle organik yüzeylerdeki atomlar ve organik köklerin do al ve sıkı masını iliklendirebilmektedirler.

Zisman'ın yaklaşımı, di er ara tırmacılar tarafından polimerik olmayan katılara do ru geni letilmi tir. Karboksilik asit ve aminlerle kaplanan metallere, temiz cam ve parlatılmı metallere gibi yüksek yüzey enerjili katılar (Zisman, 1964; Olsen ve Ostersaas, 1964) ve çe itli yüzey aktif maddelerle kaplanan farklı mineraller (Parekh ve Aplan, 1974, 1980) kullanılmı lar ve hem de  $\cos \theta$  ile  $\gamma_{SH}$  arasında do rusal bir ili ki kurmu lardır.

Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) bir mineral yüzeyini karakterize etmede etkili bir parametre olarak dikkate alınabilir. Bununla birlikte, flotasyona uygulandı nda, mineral ayrımları için termodinamik flotasyon kriterinin test edilmesine do rudan bir yol sunar (Andrade ve Ark., 1985; Laskowski, 1986; Yarar, 1988).

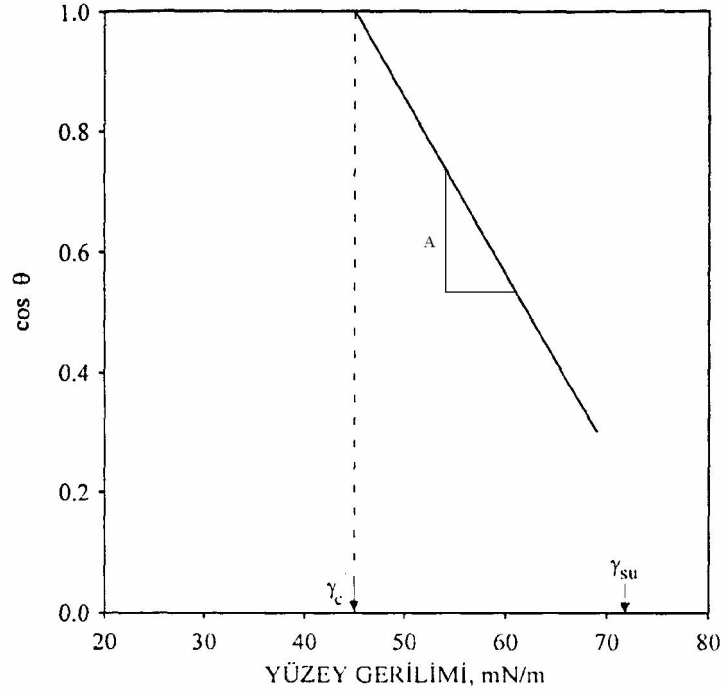
Katıların veya minerallerin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de eri, herhangi bir yüzey gerilimine ( $\gamma_{SH}$ ) sahip sıvı tarafından katıların ıslanma ko ulunu tarif eder.  $\gamma_c < \gamma_{SH}$  oldu unda sıvı katı yüzeyinde bir temas açısı olu tururken ( $\theta > 0$ ),  $\gamma_c \geq \gamma_{SH}$  oldu unda sıvı katı yüzeyine yayılır (Yarar ve Aksu, 1997). Bu da flotasyonun ba arılı olmasını gerektiren ko ullardan birincisidir (Laskowski, 1986).

Zisman temas açısı ölçüm yöntemi ve flotasyon tekni i, minerallerin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de erlerini belirlemek için kullanılan iki önemli yöntemdir (Parekh ve Aplan, 1974; Williams ve Fuerstenau, 1987; Yarar, 1988; Yekeler ve Yarar, 1994b).

#### **2.2.4.1. Zisman temas açısı ölçüm yöntemi**

Saf sıvılar ve bunların çözeltileri kullanılarak parlatılmı veya preslenmi mineral ya da katı yüzeyi üzerinde damla olu turmak suretiyle statik haldeki temas açısı ( $\theta$ ) ölçümüne dayanan ve yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu yöntemde, yüzey gerilimi önceden belirlenen bir seri sıvı veya çözelti kullanılarak katıların temas açısı ölçülür. Elde edilen temas açılarının ( $\theta$ ) kosünüsüne kar ı sıvıların sıvı-hava arayüzey gerilimi ( $\gamma_{SH}$ ) e risi çizilir,  $\cos \theta = 1$  oldu u noktaya

$\gamma_{SH}$  de erinin ekstrapolasyonu, ekil 5'de gösterildi i gibi katının kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de eri bulunur (Shafrin ve Zisman, 1960). Do runun e imi (A) ise, ıslanma diyagramı e imidir.

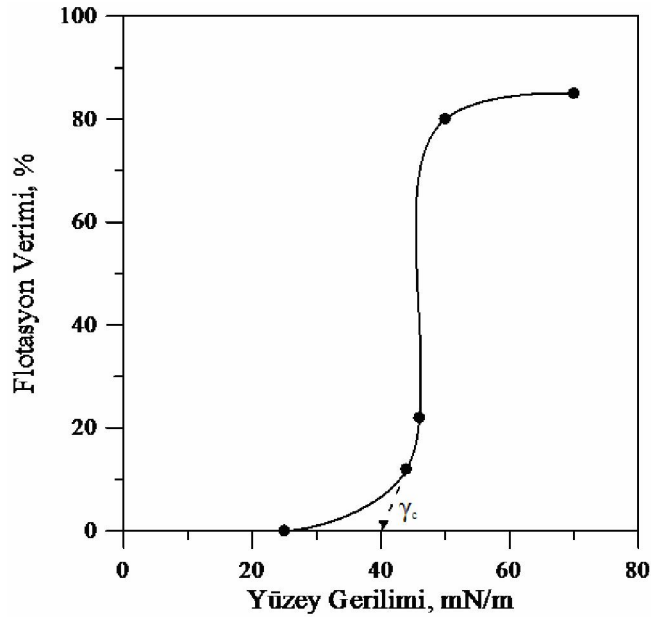


ekil 5. Katının  $\gamma_c$  de erinin temas açısı ölçüm yöntemiyle belirlenmesi (Shafrin ve Zisman, 1960)

Zisman'ın temas açısı yöntemi ile katıların kritik ıslanma yüzey geriliminin belirlenmesi, güvenilir temas açısı verilerinin eldesine dayanır. Ancak, temiz yüzeyler üzerindeki temas açıları, kullanılan ölçüm tekni i ve ilgili de i kenler (yüzey pürüzlülü ü ve heterojenitesi, katı alt maddenin kristal ve kö esel özellikleri, sıcaklık, damlacık boyutu ve kullanılan sıvının tipi) tarafından etkilenirler.

### 2.2.4.2. Flotasyon yöntemi

Flotasyon yönteminde ise yine bir seri sıvı veya çözelti ile flotasyon testleri yapılarak elde edilen verim değerlerinin, sıvının sıvı-hava ara yüzey gerilimi ( $\gamma_{SH}$ ) değerlerine karşı eğrisi çizilir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, %Verim- $\gamma_{SH}$  eğrisinin lineer kısmının ekstrapolasyonu yapılır ve verim%=0'da x-ekseninden okunan  $\gamma_{SH}$  değeri, mineralin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) değeri olarak bulunur (Yarar ve Kaoma, 1984).



Şekil 6. Flotasyon yöntemi ile mineralin kritik ıslanma yüzey gerilim değerinin  $\gamma_c$  belirlenmesi (Yarar ve Kaoma, 1984).



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Tüm deneyler için ithal kömür (Ukrayna Linyit ve G. Afrika Linyit), Zonguldak Ta kömürü, Kükürt ve Grafit (Balıkesir/Demirkapı) numuneleri kullanılmıştır.

#### 3.1. Malzemelerin Kimyasal Analiz Sonuçları

Çalı mada kullanılan grafit, ta kömürü, G.Afrika linyit ve Ukrayna linyitin kimyasal analiz sonuçları, sırasıyla Çizelge 1’de görülmektedir. Söz konusu numunelerde belirli miktarlarda safsızlıklar olduğu açıkça gözükmemektedir.

Çizelge 1. Çalı mada kullanılan Grafit, Ta kömürü, G.Afrika Linyit ve Ukrayna Linyitin Kimyasal Analiz Sonuçları (Kuru baz)

	Kül %	Nem %	Uçucu Madde %	Kükürt %	Isıl De er kcal/kg
Grafit	27,96	2,18	8,94	2,06	5041
Ta kömürü	13,56	0,45	26,75	0,29	6988
G.Afrika Linyit	15,70	3,31	22,36	0,465	6367
Ukrayna Linyit	11,12	1,65	12,78	0,273	7157

### **3.2. Deneý Numunelerinin Hazırlanması**

Temin edilen numuneler laboratuarda çeneli, merdaneli kırıcılarda, çubuklu ve bilyalı de irmenlerde boyult küçültme yapıldıktan sonra; -212+150µm, -150+106µm, -106+75µm, -75µm fraksiyonlarına hazırlanmıştır.

Her bir fraksiyon için numuneler kareleme – dörtleme yöntemi ile temsili bir numune alınarak 100 gr'lık po etlerde saklanmıştır.

#### **3.2.1. Deneýlerin Yapılı**

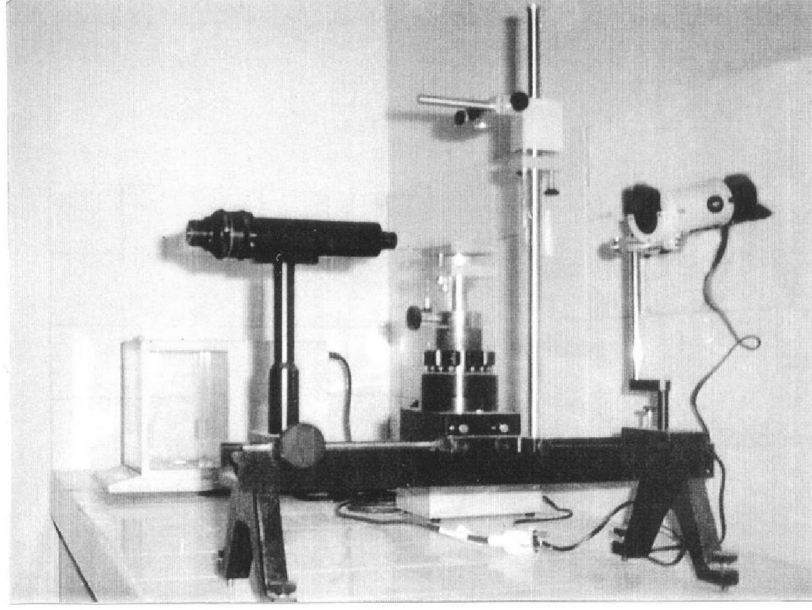
##### **3.2.1.1. Flotasyon Deneýleri**

Flotasyon deneýleri 1,2 L'lik Denver tipi flotasyon hücresinde, 1100 rpm karı ma hızında, % 10 katı oranında 100 gr numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneýlerde bastırıcı olarak Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), toplayıcı olarak gazya ı, köpürtücü olarak çamyayı kullanılmış ve her bir reaktif ilave edildikten sonra her bir numune için ön deneýlerle belirlenen sürelerde (Grafit numesi 1-8 dakika arası, di er numuneler 15-120 sn arası) kondisyonlama yapılmıştır.

Flotasyon deneýlerinde katı oranı, karı tırma hızı, reaktif miktarları sabit kalmak artı ile de i ik sürelerde, boyutlarda ve pH'larda çalı malar yapılmıştır her bir parametre için kazanma verimleri hesaplanmıştır.

##### **3.2.1.2. Temas Açısı Ölçüm Deneýleri**

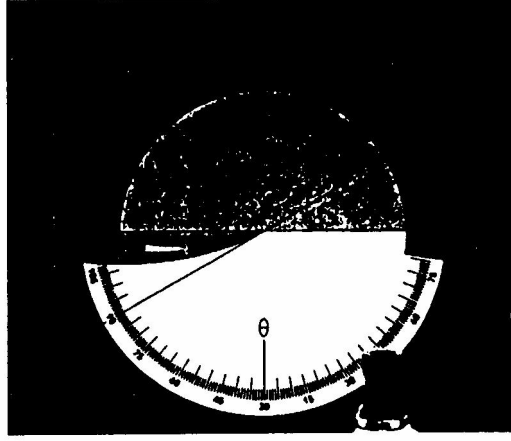
Statik temas açısı ölçümleri Sessile damla yöntemini kullanarak Rome – Hart, Inc'in 100 NRL model Temas Açısı Ölçüm Cihazı ( ekil 7) ile yapılmıştır.



ekil 7. Temas açısı ölçüm deneylerinde kullanılan Goniometre

Her bir numunenin;  $-212+150\mu\text{m}$ ,  $-150+106\mu\text{m}$ ,  $-106+75\mu\text{m}$ ,  $-75\mu\text{m}$  boyutlarında yaklaşık  $0,5 - 1$  gr'lık malzeme (cevherin cinsine bağlı olarak malzemenin miktarı ve sıkı tırma oranı sabit tutulmuştur) presle sıkıştırılarak  $1,25$  cm çapında peletler haline getirilmiştir. Hazırlanan her bir pelet goniometre platformuna yerleştirilip üzerine damlalıkla yüzey gerilimi daha önceden bilinen de i iki derimlerde metanol çözeltilerinden 1 damla ilave edilerek (damla büyüklüğü hep aynı olacak şekilde) damlacık oluşturulmuştur. Damlaların görüntüsü üzerine goniometrenin mikroskobu odaklanarak, pelet yüzeyindeki damlanın her iki kenarından temas açısı okunmuştur.

Okunan ( ekil 8) değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ortalamalar bulunup bu değerlerin kosinüsüne karşı  $\gamma_{SH}$  değerlerinin de i mi çizilere  $\gamma_C$  değeri bulunmuştur ve her numunenin ıslanma parametresi olarak elde edilmiştir.



ekil 8. Goninometre ile ( $\theta$ ) temas açısının okunu u (Rame – hart Inc., Instruction Manual)

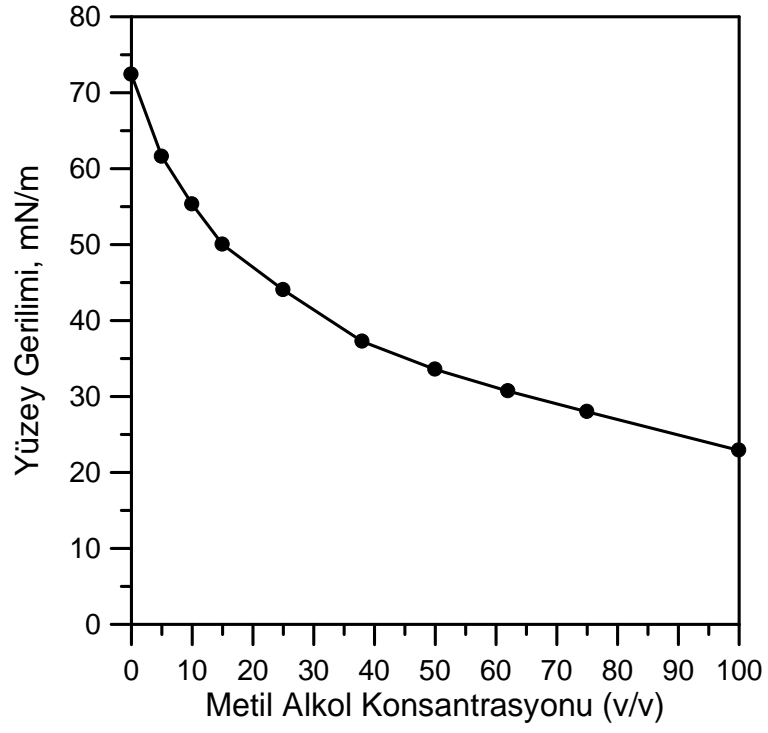
### **3.2.2. Minerallerin Kritik İslanma Yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) De erlerinin Belirlenmesi (İslanabilirlik Testleri)**

De i ik tane boyutlarında (-212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, 106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m) be farklı cevher numunesinin (Grafit, Ta kömürü, G.Afrika Linyit, Ukrayna Linyit ve Kükürt) ıslanma özelliklerini karakterize eden kritik ıslanma yüzey gerilimi  $\gamma_c$  de erleri temas açısı ve flotasyon yöntemi kullanılarak belirlenmi tir.

#### **3.2.2.1. Kullanılan Çözeltiler**

Flotasyon ortamı olarak farklı konsantrasyonlar da (%w/w) metanol çözeltileri kullanılmı tır (Ek 1).

Söz konusu metanol çözeltisinin yüzey gerilimi ile de i imi ekil 9'da görülmektedir. Bu çözelti aynı zamanda damlacıklardan olu turulan ve flotasyon testlerinde kullanılan ortamın  $\sigma_{SH}$  de erlerini temsil etmektedir.



ekil 9. Hazırlanan metil alkol çözeltilerinin yüzey gerilimlerinin konsantrasyon ile değişimi (Ulusoy, 2003).

## **4. BULGULAR**

### **4.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de erlerinin belirlenmesi (Islanabilirlik Testleri)**

De i ik yüzey gerilimindeki ( $\gamma_{SH}$ ) çözeltilerle yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen %Verim, %Alkol ve bu de erlere kar ılık gelen sıvı-hava yüzey gerilimi( $\gamma_{SH}$ ) de erleri Ek-2'de verilmi tir. % verim de erlerine kar ı  $\gamma_{SH}$  de i imi çizilerek çalı malarda kullanılan farklı numunelerin de i ik boyutlardaki  $\gamma_c$  de erleri bulunmu tur. Kükürt mineralinin kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) de erlerini belirlemek için goniometre ile temas açısı tekni i kullanılarak kritik ıslanma yüzey gerilimleri bulunmu tur.

Çalı malarda kullanılan numunelerin farklı tane boyutlarındaki flotasyon ile belirlenen  $\gamma_c$  de erlerinin tamamı topluca Çizelge 2'de gösterilmi tir.

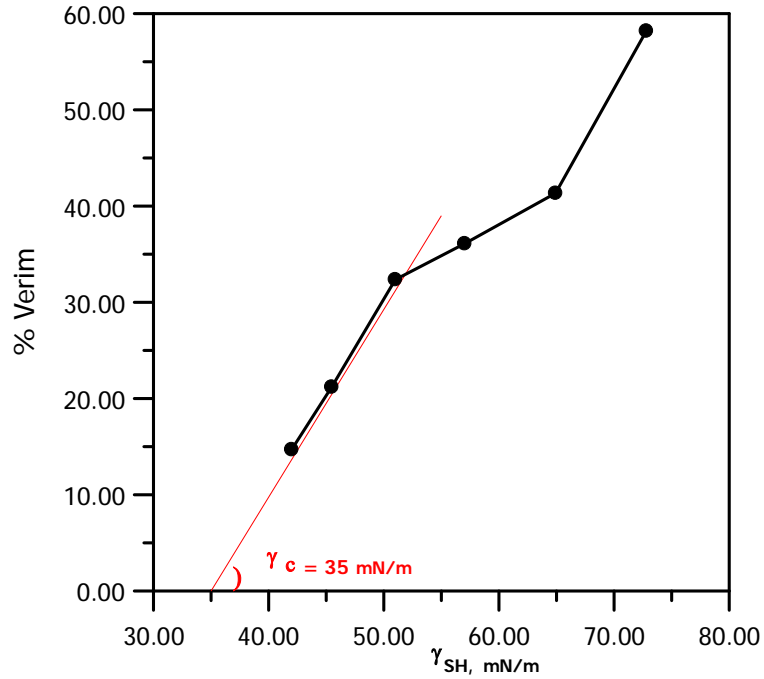
Çizelge 2. Çalı malarda kullanılan minerallerin de i ik tane boyutlarındaki flotasyon testleri ile belirlenen c de erleri

Mineral	Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	c mN/m
Grafit	- 212 + 150	32
	- 150 + 106	40
	- 106 + 75	30
	- 75	35
Ta kömürü	-212 + 150	39
	- 150 + 106	41
	- 106 + 75	42
	- 75	38
G.Afrika Linyit	- 212 + 150	42
	- 150 + 106	40
	- 106 + 75	41
	- 75	38
Ukrayna Linyit	- 212 + 150	40
	- 150 + 106	39
	- 106 + 75	41
	- 75	42
Kükürt	- 212 + 150	41
	- 150 + 106	37
	- 106	39

#### 4.1.1. Flotasyon Yöntemi ile $\gamma_c$ De erlerinin Belirlenmesi

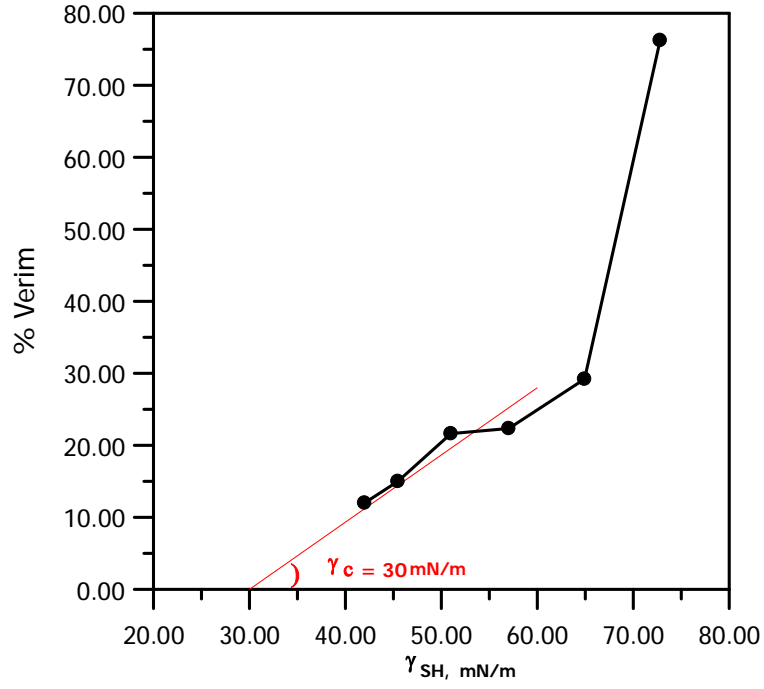
Çalı malarda kullanılan grafit, ta kömürü, G.Afrika linyit ve Ukrayna linyitin -212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, -106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m tane boyutlarında ve % Flotasyon verimlerinin en yüksek oldu u pH'larda flotasyon yöntemi ile  $\gamma_c$ (kritik ıslanma yüzey gerilimi) de erleri Ek-2'de ve ekil 10'dan ekil 25'e kadar gösterilmi tir.

Grafit numunesinin -212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, 106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m tane boyutlarında ve pH 8'de flotasyon yöntemi ile  $\gamma_c$  de erinin belirlenmesi ekil 10, 11, 12 ve 13'de görülmektedir.

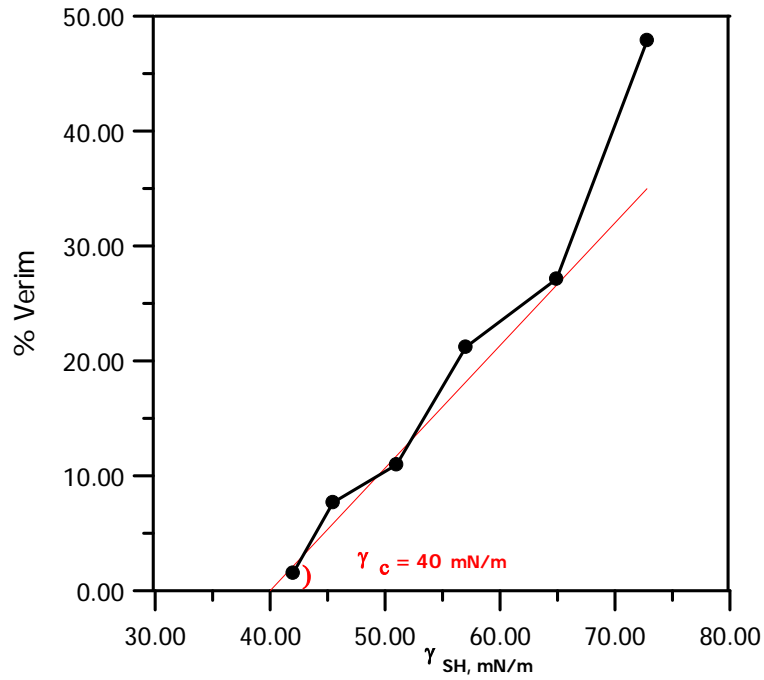


ekil 10. -75 $\mu$ m Tane Boyutundaki Grafit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).

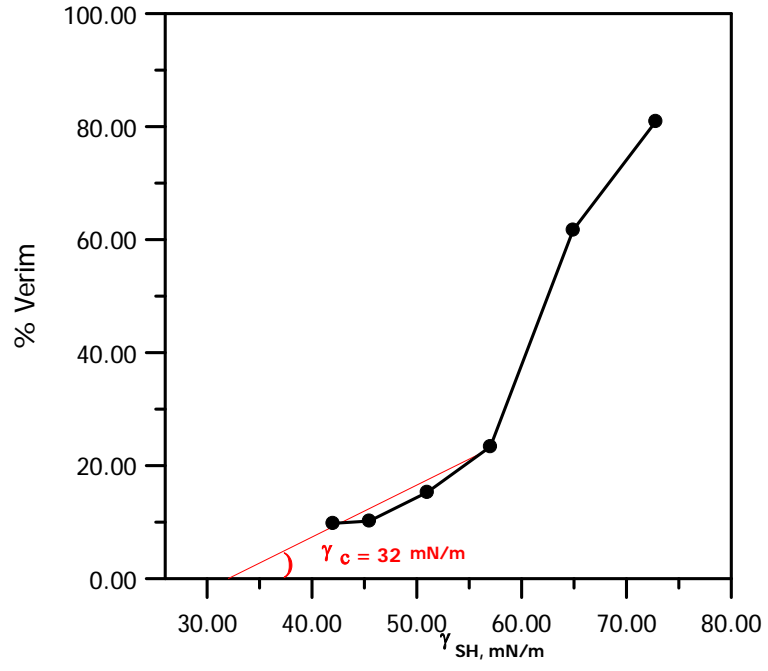




ekil 11. -106+75 $\mu$ m Tane Boyutundaki Grafit Numunesinin De erinin Flotasyon Yöntemi le Belirlenmesi (pH 8).

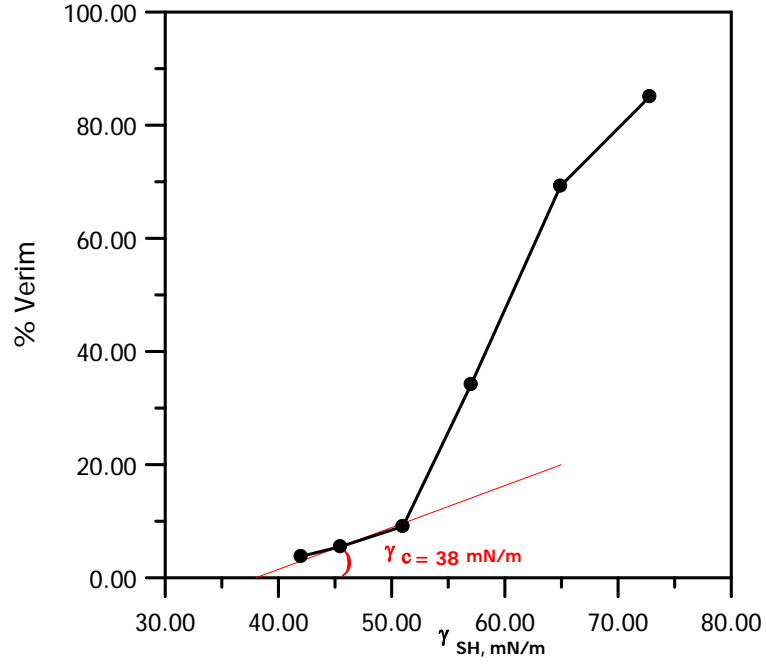


ekil 12. -150+106  $\mu$ m Tane Boyutundaki Grafit Numunesinin De erinin Flotasyon Yöntemi le Belirlenmesi (pH 8).

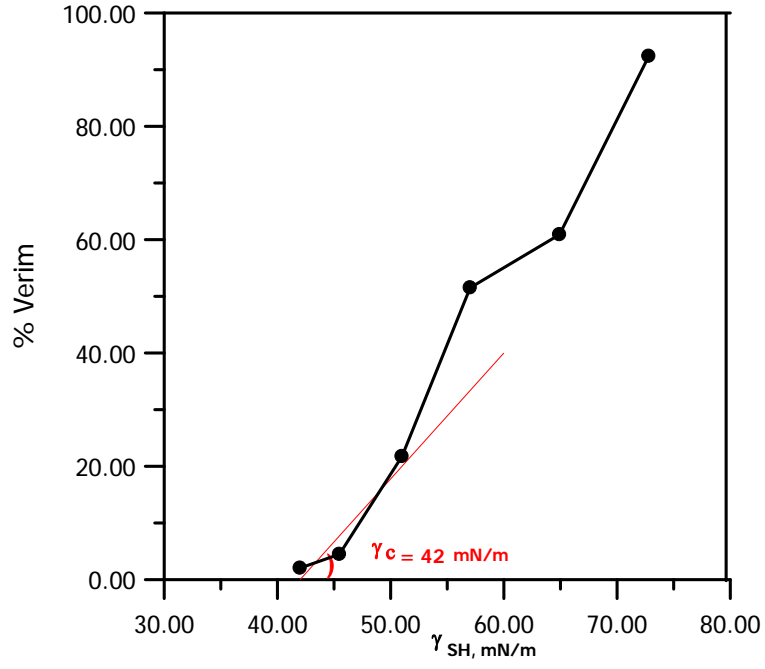


ekil 13. -212+150  $\mu$ m Tane Boyutundaki Grafit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).

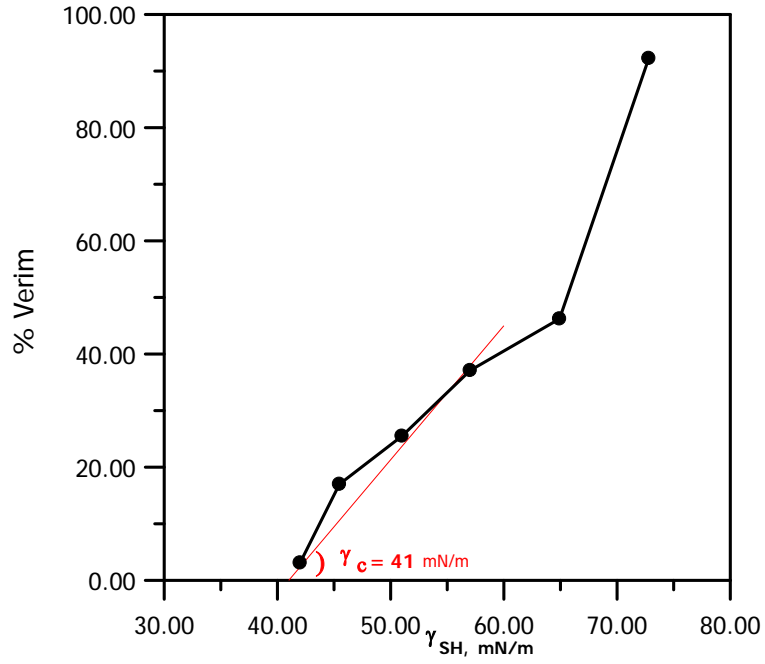
Ta kömürü numunesinin -212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, 106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m tane boyutlarında ve pH 7.35’de flotasyon yöntemi ile  $\gamma_c$  de erinin belirlenmesi ekil 14, 15, 16 ve 17’de görülmektedir.



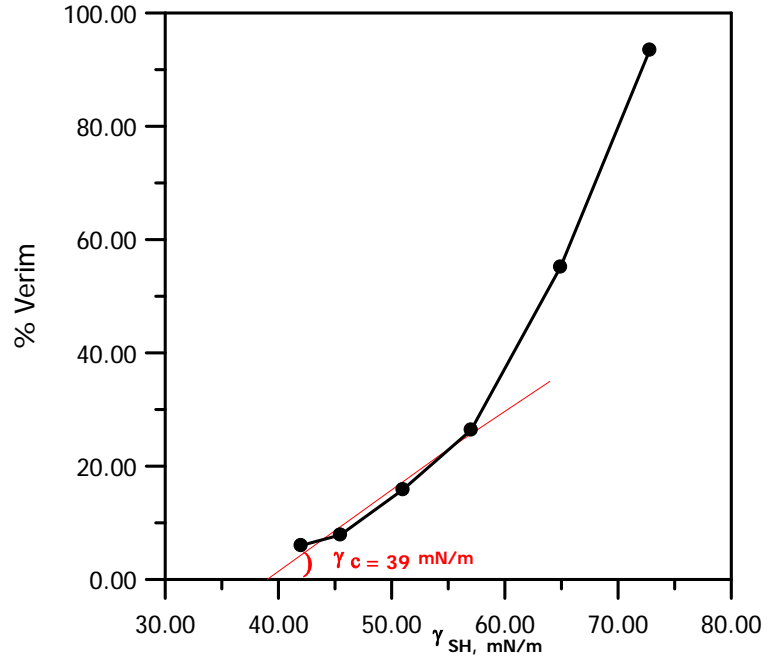
ekil 14. -75 $\mu$ m Tane Boyutundaki Ta kömürü Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi le Belirlenmesi (pH 7.35).



ekil 15. -106+75  $\mu\text{m}$  Tane Boyutundaki Ta kömürü Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi le Belirlenmesi (pH 7.35).

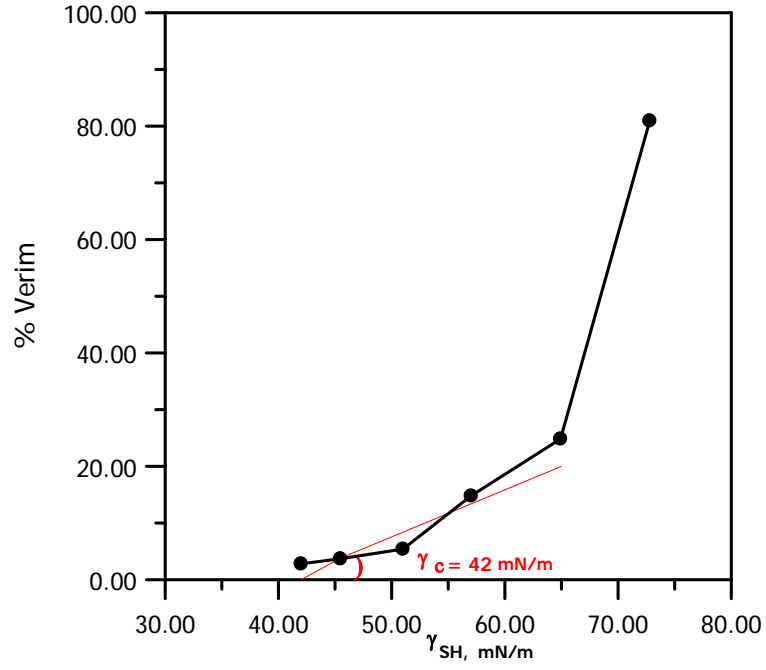


ekil 16. -150+106  $\mu\text{m}$  Tane Boyutundaki Ta kömürü Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi le Belirlenmesi (pH 7.35).

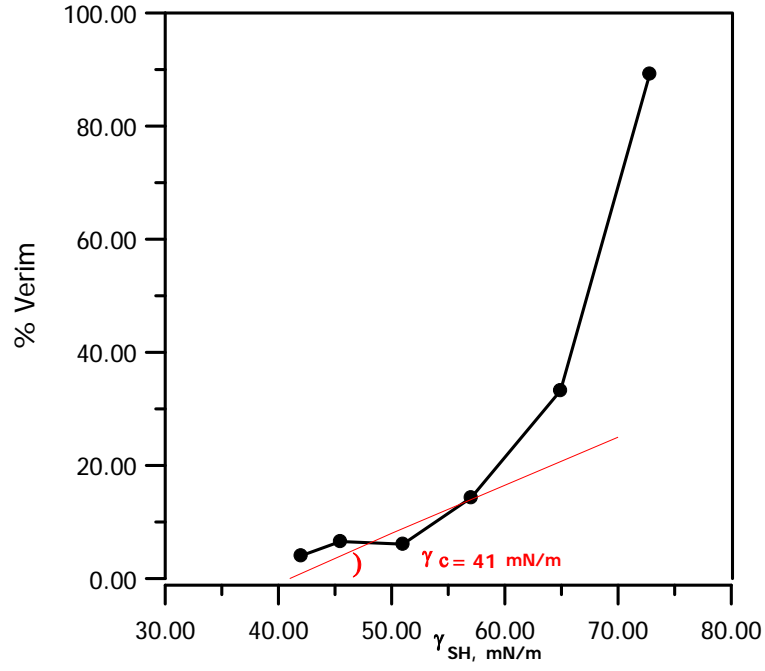


ekil 17. -212+150  $\mu$ m Tane Boyutundaki Ta kömürü Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 7.35).

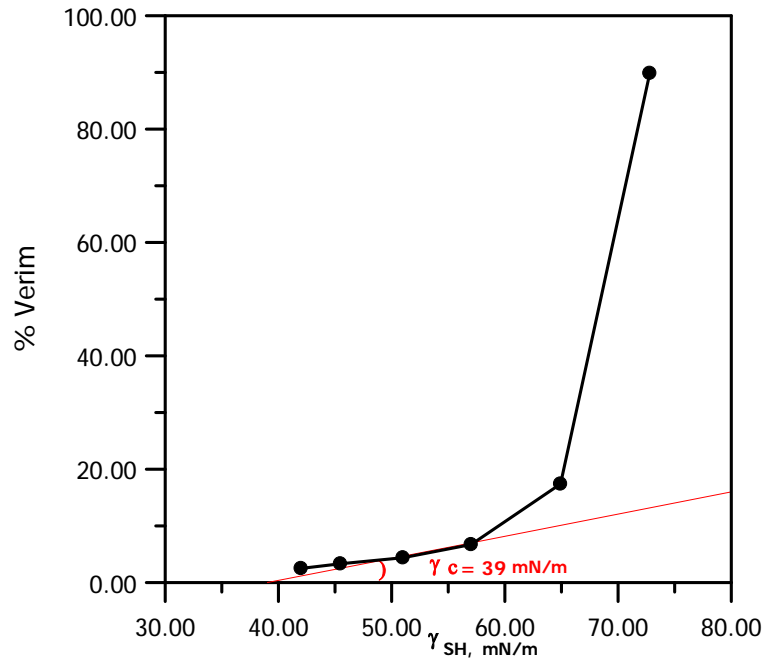
Ukrayna Linyit numunesinin -212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, 106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m tane boyutlarında ve pH 8.10'da flotasyon yöntemi ile  $\gamma_c$  de erinin belirlenmesi ekil 18, 19, 20 ve 21'de görülmektedir.



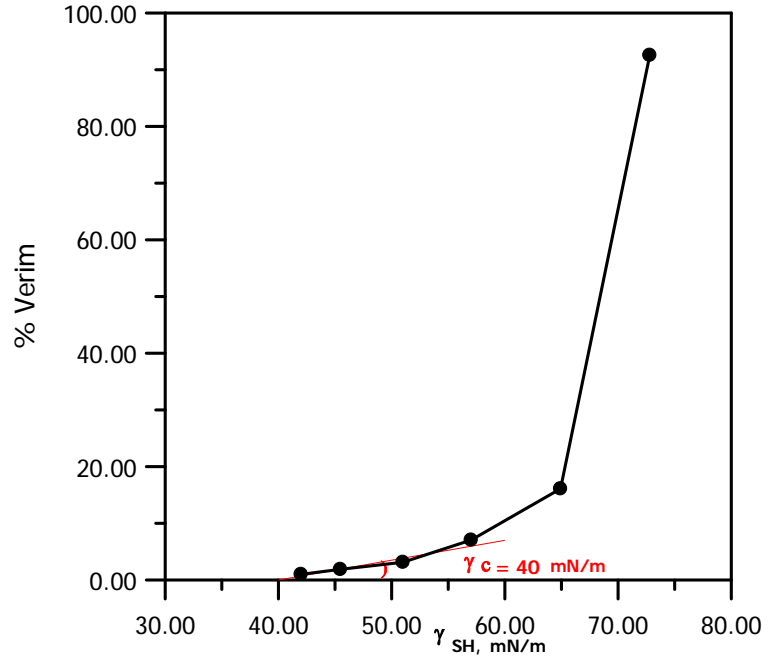
ekil 18. -75 $\mu$ m Tane Boyutundaki Ukrayna Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8.10).



ekil 19. -106+75 $\mu$ m Tane Boyutundaki Ukrayna Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8.1).



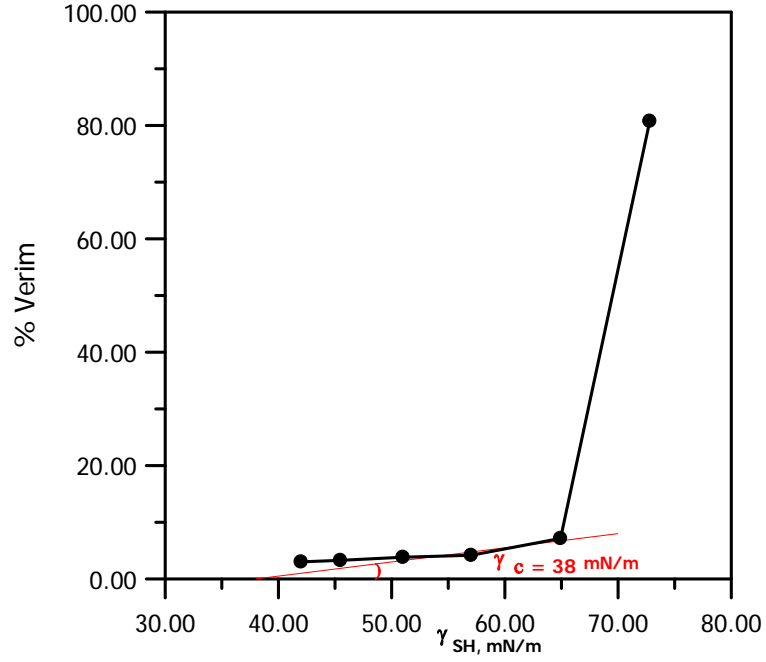
ekil 20. -150+106  $\mu$ m Tane Boyutundaki Ukrayna Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8.1).



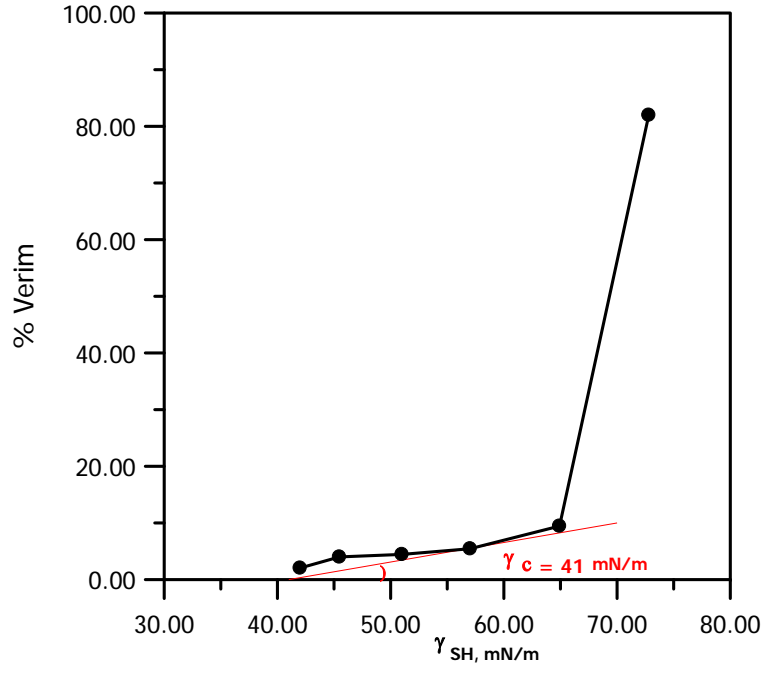
ekil 21. -212+150  $\mu\text{m}$  Tane Boyutundaki Ukrayna Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8.1).



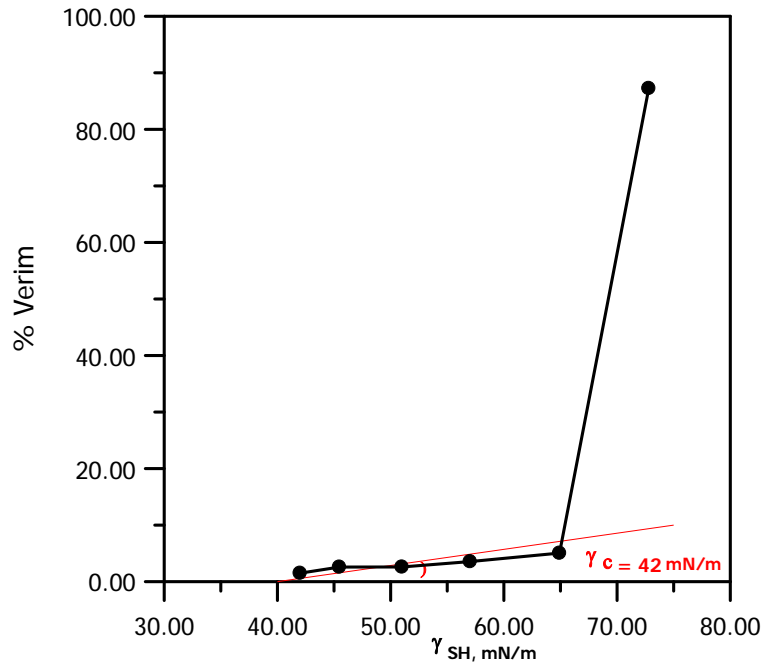
G.Afrika Linyit numunesinin -212+150 $\mu$ m, -150+106 $\mu$ m, 106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m tane boyutlarında ve pH 8'de flotasyon yöntemi ile  $\gamma_c$  de erinin belirlenmesi ekil 22, 23, 24 ve 25'de görülmektedir.



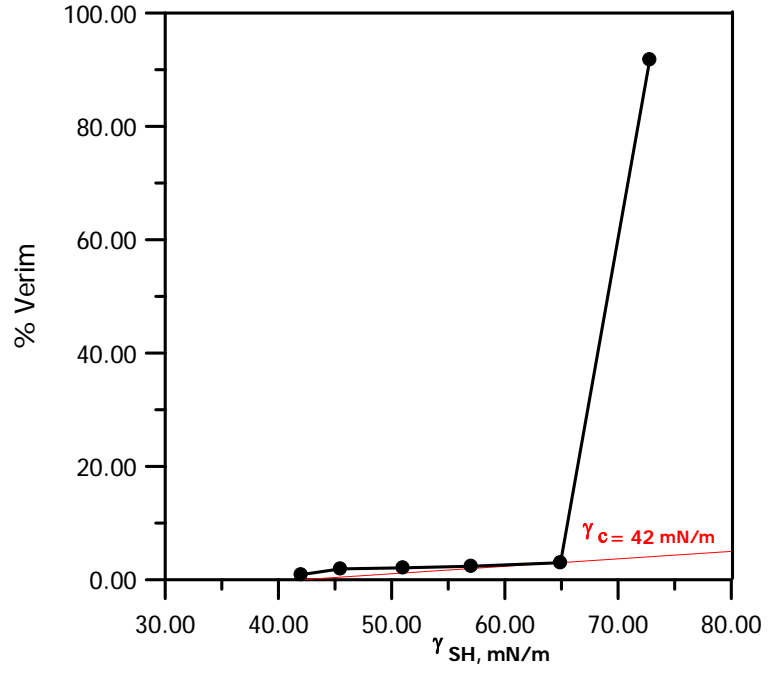
ekil 22. -75 $\mu$ m Tane Boyutundaki G. Afrika Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).



ekil 23. -106+75  $\mu\text{m}$  Tane Boyutundaki G. Afrika Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).



ekil 24. -150+106  $\mu\text{m}$  Tane Boyutundaki G. Afrika Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).



ekil 25. -212+150 $\mu$ m Tane Boyutundaki G. Afrika Linyit Numunesinin  $\gamma_c$  De erinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8).

## 4.2. Numunelerin flotasyon, kinetik ve ıslanma parametrelerinin belirlenmesi

### 4.2.1. Grafit

Grafit numunesi de i ik tane boyutlarında, farklı pH'larda flotasyon hız sabitleri ( $k$ ) Ek-3'de, kritik ıslanma yüzey gerilimleri ( $\sigma_c$ ) Ek-2'de, ıslanma e imi ( $A$ ) Ek-4'de,  $k$ (hız sabitlerinin)  $\sigma_c$  kar ı de i imi ekil 26'da,  $A$ 'nın  $k$ 'ya kar ı de i imi ekil 27'de, farklı tane boyutlarında ve pH'larda zamana kar ı %Flotasyon veriminin de i imi ise ekil 28'den ekil 31'e kadar gösterilmi tir.

Çizelge 3. Grafit numunesinin de i ik pH' larda, farklı tane boyutları için belirlenen  $k$ ,  $\sigma_c$ ,  $A$  ve %  $V$  de erleri

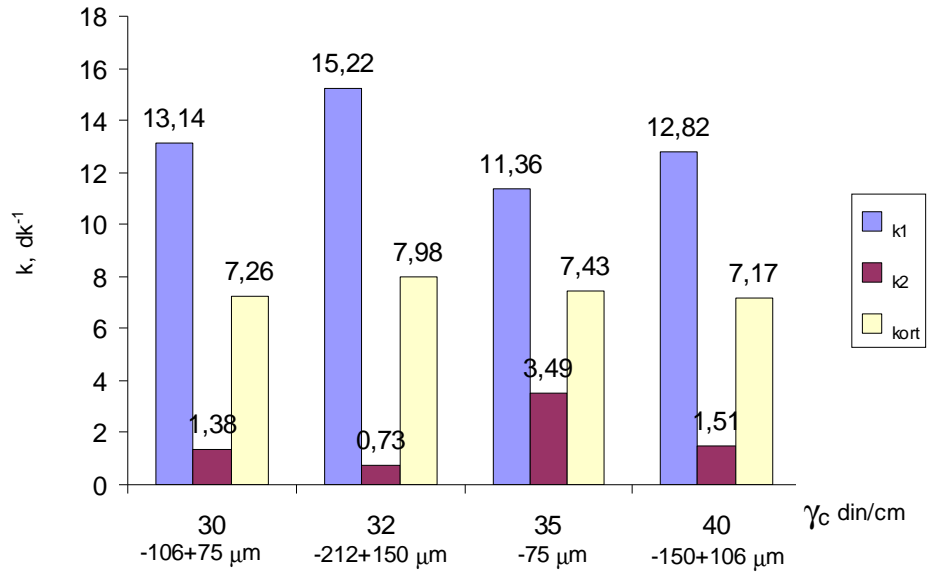
pH	Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	$k_1$	$k_2$	$k_{\text{ort}}$	$\sigma_c$	$A$	Flotasyon Verimi % $V$
3,10	- 212 + 150	3,870	1,23	2,55	-	0,0083	24,51
	- 150 + 106	5,084	0,67	2,87	-	0,0076	23,28
	- 106 + 75	14,82	2,22	8,52	-	0,0082	78,79
	- 75	9,04	0,89	4,97	-	0,0071	39,53
5,00	- 212 + 150	12,01	1,24	6,62	-	0,0083	75,21
	- 150 + 106	18,46	0,28	9,37	-	0,0076	65,40
	- 106 + 75	19,95	1,04	10,50	-	0,0082	70,31
	- 75	17,86	1,53	9,70	-	0,0071	62,94
7,00	- 212 + 150	13,59	1,64	7,61	-	0,0083	75,73
	- 150 + 106	16,29	1,67	8,98	-	0,0076	71,04
	- 106 + 75	19,32	2,23	10,77	-	0,0082	80,01
	- 75	11,40	2,91	7,15	-	0,0071	79,59
8,00	- 212 + 150	15,22	0,73	7,98	32	0,0091	80,93
	- 150 + 106	12,82	1,51	7,17	40	0,0076	47,89
	- 106 + 75	13,14	1,38	7,26	30	0,0082	76,24
	- 75	11,36	3,49	7,43	35	0,0071	58,20

#### 4.2.1.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - $k_1$ , $k_2$ , $k_{ort}$ li kileri

Grafit numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ula ılan pH 8 de erinde ve farklı boyutlarda kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) ile  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ilişki ekil 26' da görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu tanelerin flotasyonda hızlı bir kinetik gösterdi i ekil 26'da görülmektedir. Kullanılan en iri tane boyutunun (-212+150 $\mu$ m) flotasyon ba langıcında flotasyon hızı, çalı malarda kullanılan di er boyutlara oranla daha fazla oldu u görülmektedir.

Flotasyon süresi ilerledikçe (ba langıçtan 3-4 dakika sonra) iri boyutlu tanelerin köpü e yapı ma e ilimleri yava lamakta, di er taraftan ince tanelerin (-75 $\mu$ m) köpü e ula ma hızları ekil 26'da görüldü ü gibi artmaktadır.



ekil 26. Farklı tane boyutlarında Grafit'in  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erlerinin ( $\gamma_c$ ) kritik ıslanma yüzey gerilimleri ile de i imi (pH 8; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

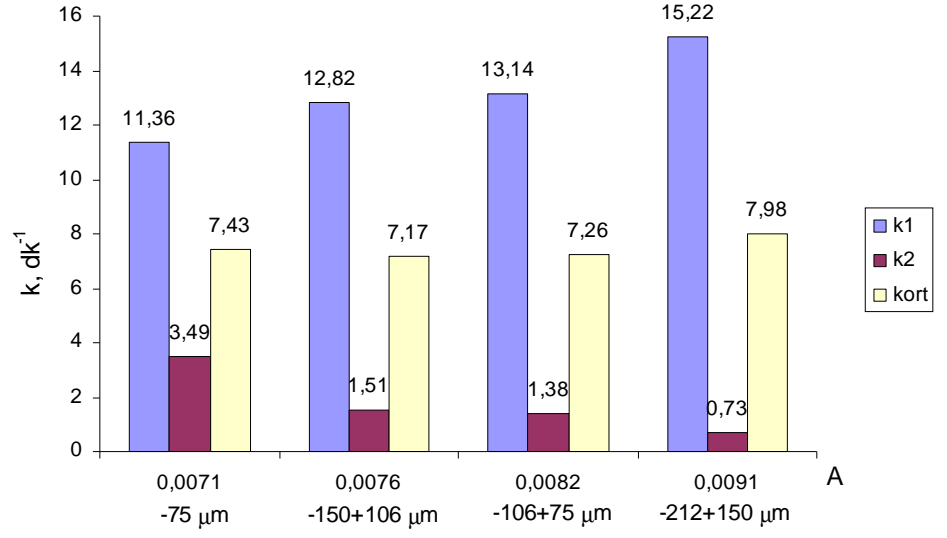
#### **4.2.1.2. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - Islanma e imi (A) ili kileri**

Grafit numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ula ılan pH 8 de erinde ve farklı boyutlarda ıslanma e imlerinin (A)  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ili kileri ekil 27’de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu(-212+150 $\mu$ m) tanelerin ıslanma e imi fazla ve köpü e yapı ma hızlarının da fazla oldu u ekil 27’de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcından sonra geçen 3-4 dakika sonucunda ince boyutlu tanelerin (-75  $\mu$ m) köpü e yapı ma hızlarının arttı ı, iri boyutlu tanelerinde köpü e yapı ma hızlarının azaldı ı ekil 27’de belirgin bir ekilde görülmektedir.

Kort de erlerinin ini li-çıkı lı ili ki gösterdikleri ekil 27’de açıktır. Islanma e imi (A)’nın büyük olması demek daha büyük temas açısı olu turdu u göstermek demek olup daha iyi flotasyon olma e ilimi vurgulanmaktadır.

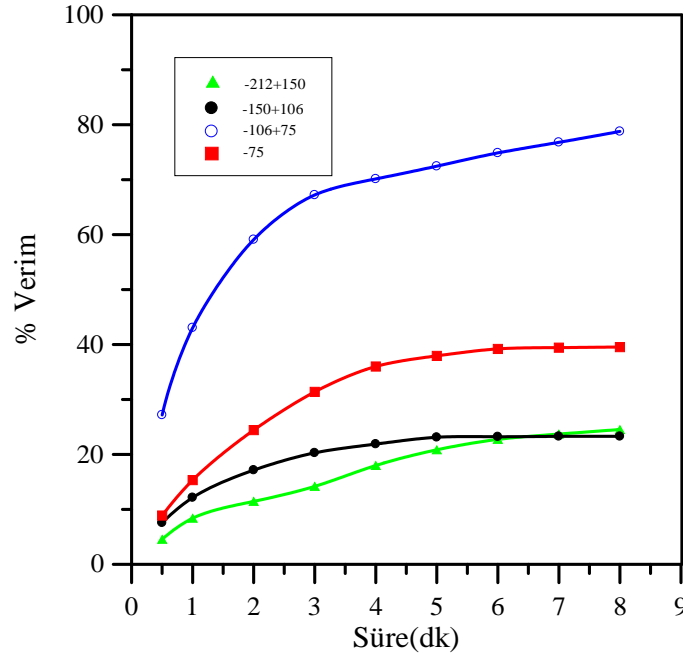


ekil 27. Farklı tane boyutlarında Grafitin ıslanma e iminin (A) -  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri ile de i imi (pH 8; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

### 4.2.1.3. Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi

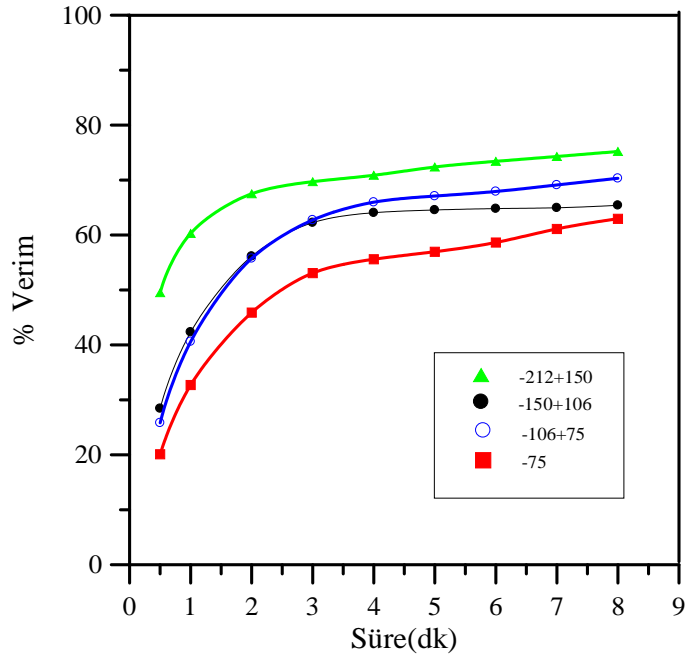
Farklı pH'larda ve farklı boyutlarda yapılan flotasyon deneylerinde grafit numunesinin a ırlıkça veriminin dü ük oldu u gözlenmiştir. Farklı boyutlar için ve pH'ların 3.1-5- 7 ve 8'deki % flotasyon verimleri ekil 28, 29, 30 ve 31'de verilmektedir. Grafit ile yapılan flotasyon deneylerinde hemen hemen tüm fraksiyonlar da flotasyonun yavaş bir başlangıç gösterdiği ve 8 dakika sonunda maksimum değerlere ulaştığı gözlenmiştir. En yüksek % flotasyon veriminin pH 7'de -106+75µm boyut aralığında % 84.01 olduğu ekil 30'da görülmektedir.

Daha yüksek verimlere çıkılamamasının nedeni, çalışılan boyutlarda tane köpük temasının yeterince sağlam olmaması ile açıklanabilir. Düşük pH'larda flotasyon veriminin arttığı gözlenmiştir.

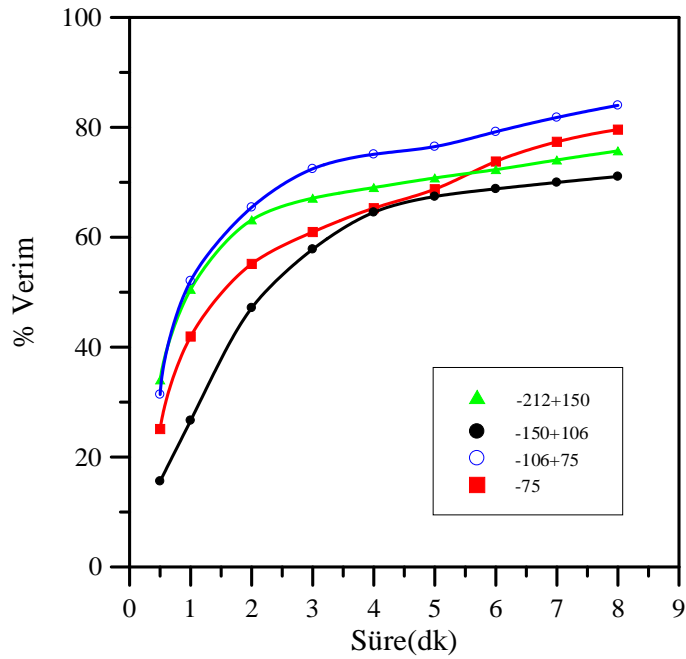


ekil 28. Farklı tane boyutlarında grafit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 3,10; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

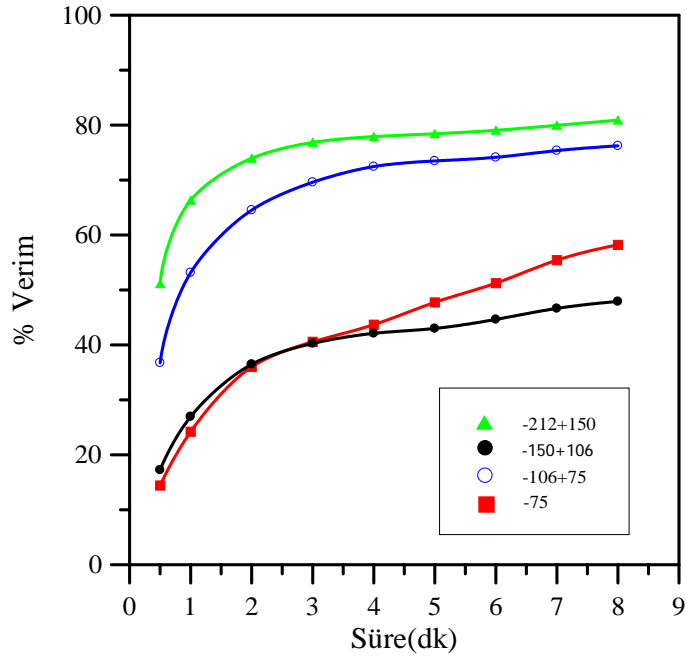




ekil 29. Farklı tane boyutlarında grafit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 5; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 30. Farklı tane boyutlarında grafit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 7; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 31. Farklı tane boyutlarında grafit flotasyon veriminin zamana kar 1  
ili kisi (pH 8; kondisyon süresi: 5 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100  
dev/dak).

#### 4.2.2. Ta kömürü

Ta kömürü numunesi de i ik tane boyutlarında ve farklı pH'larda flotasyon hız sabitleri (k) Ek-3'de, kritik ıslanma yüzey gerilimleri ( $\sigma_c$ ) Ek-2'de, ıslanma e imi (A) EK-4'de, k de erlerinin  $\sigma_c$ ' ye kar ı de i imi ekil 32'de, A' nın k' ya kar ı de i imi ekil 33'de, farklı tane boyutlarında ve pH'larda zamana kar ı % Flotasyon veriminin de i imi ise ekil 34, 35, 36 ve 37'de gösterilmi tir.

Çizelge 4. Ta kömürü numunesinin de i ik pH' larda, farklı tane boyutları için belirlenen k,  $\sigma_c$ , A ve % V de erleri

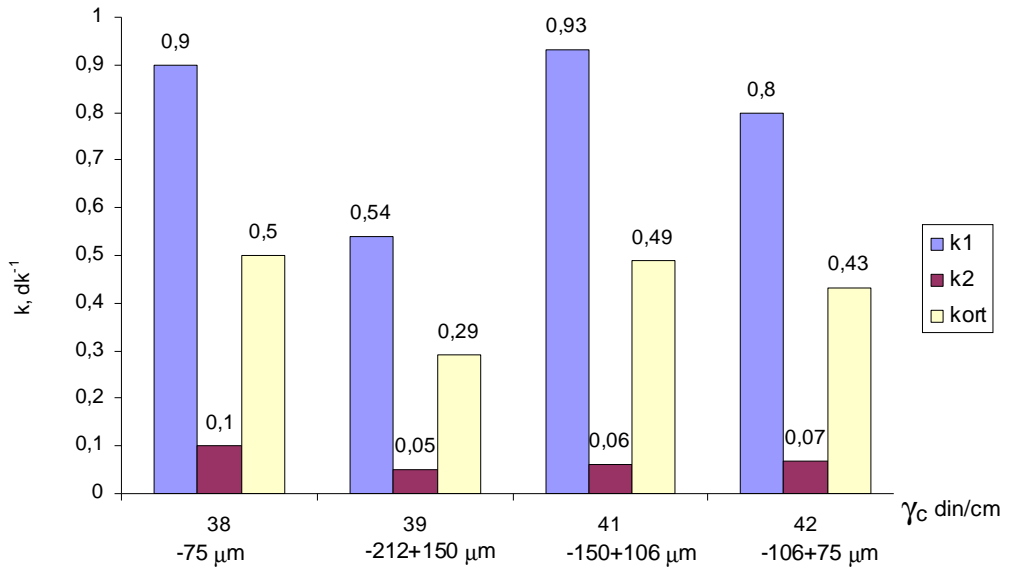
pH	Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	$k_1$	$k_2$	$k_{\text{ort}}$	$\sigma_c$	A	Flotasyon Verimi % V
3,15	- 212 + 150	0,86	0,14	0,50	-	0,027	90,74
	- 150 + 106	0,54	0,08	0,31	-	0,024	85,11
	- 106 + 75	0,50	0,03	0,27	-	0,026	87,07
	- 75	0,50	0,04	0,27	-	0,025	87,89
5,00	-212 + 150	0,82	0,05	0,43	-	0,027	92,63
	- 150 + 106	0,66	0,09	0,37	-	0,024	92,61
	- 106 + 75	0,51	0,04	0,28	-	0,026	92,14
	- 75	0,87	0,05	0,46	-	0,025	91,64
7,35	- 212 + 150	0,54	0,05	0,29	39	0,027	93,68
	- 150 + 106	0,93	0,06	0,49	41	0,024	92,39
	- 106 + 75	0,80	0,07	0,43	42	0,026	92,26
	- 75	0,90	0,10	0,50	38	0,025	85,07
8,00	- 212 + 150	0,66	0,07	0,37	-	0,027	80,84
	- 150 + 106	0,62	0,09	0,36	-	0,024	86,20
	- 106 + 75	0,54	0,05	0,29	-	0,026	87,90
	- 75	0,33	0,06	0,19	-	0,025	85,81

#### 4.2.2.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - $k_1$ , $k_2$ , $k_{ort}$ ili kileri

Ta kömürü numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ulaşılan pH 7.35 de erinde ve farklı boyutlarda kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) ile  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ilişki ekil 32’de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında en iri boyutlu tanelerin yava bir kinetik gösterdiği ekil 32’de görülmektedir. Flotasyon ba langıcında köpü e yapı ma hızı en yüksek -150+106 $\mu$ m fraksiyonda ki tanelerin olduğu görülmektedir.

Flotasyon süresi ilerledikçe (ba langıçtan 3-4 dakika sonra) iri boyutlu tanelerin köpü e yapı ma e ilimleri yava lamakta di er taraftan ince tanelerin (-75  $\mu$ m) köpü e ula ma hızları arttı 1 ekil 32’de görülmektedir.



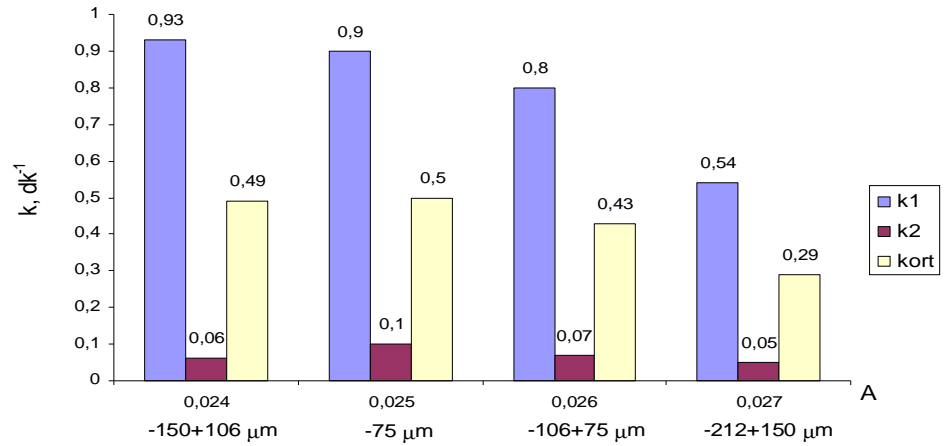
ekil 32. Farklı tane boyutlarında Ta kömürünün  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erlerinin ( $\gamma_c$ ) kritik ıslanma yüzey gerilimleri ile de i imi (pH7.35; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

#### 4.2.2.2. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - ıslanma e imi (A) ili kileri

Ta kömürü numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ula ılan pH 7,35 de erinde ve farklı boyutlarda ıslanma e imlerinin (A)- $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ili kileri ekil 33'de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu(-212+150 $\mu$ m) tanelerin ıslanma e imi fazla ve köpü e yapı ma hızlarının dü ük oldu u, ince boyutlu tanelerin ıslanma e iminin (A)'nın dü ük, köpü e ilk ba langıçtaki yapı ma hızlarının yüksek oldu u ekil 33'de görülmektedir.

Flotasyon sürecinin yava lamaya girmesi ile birlikte aynı flotasyon ba langıç süresinde oldu u gibi iri boyutlu tanelerin ıslanma e imi fazla ve köpü e yapı ma hızlarının dü ük oldu u, ince boyutlu tanelerin ıslanma e iminin (A)'nın dü ük, flotasyonun yava lama süresince köpü e yapı ma hızlarının yüksek oldu u ekil 33'de görülmektedir.

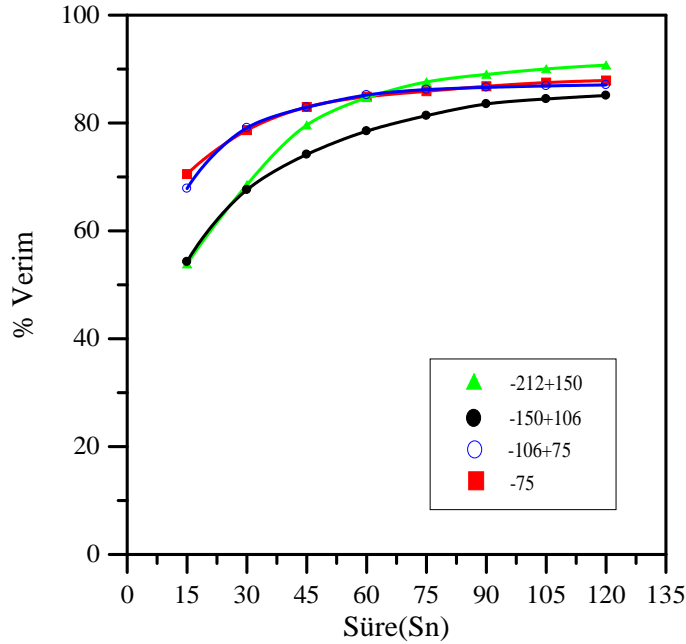


ekil 33. Farklı tane boyutlarında Ta kömürünün ıslanma e iminin (A)-  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri ile de i imi (pH 7.35; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

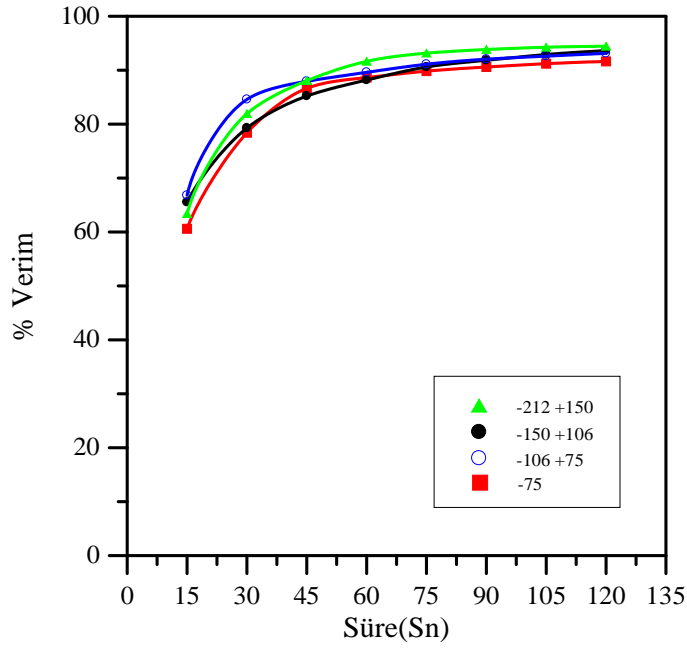
#### 4.2.2.3. Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı değişimi

Ta kömürü ile yapılan deneyler sonucunda farklı pH'larda, değişik boyutlarda ta kömürü numunesinin flotasyonu incelenmiş hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun hızlı bir başlangıç gösterdiği ilk 15 sn'de malzemenin % 35-65' in köpükle birlikte alındığı görülmektedir. Daha sonra flotasyon git gide yavaşlamakta 120 sn sonunda flotasyon verimi % 93-94' leri bulmaktadır. En yüksek flotasyon veriminin pH 7.35'de, -212+150µm boyutunda 120 sn sonunda % 93.68 olduğu gözlemlenmiştir.

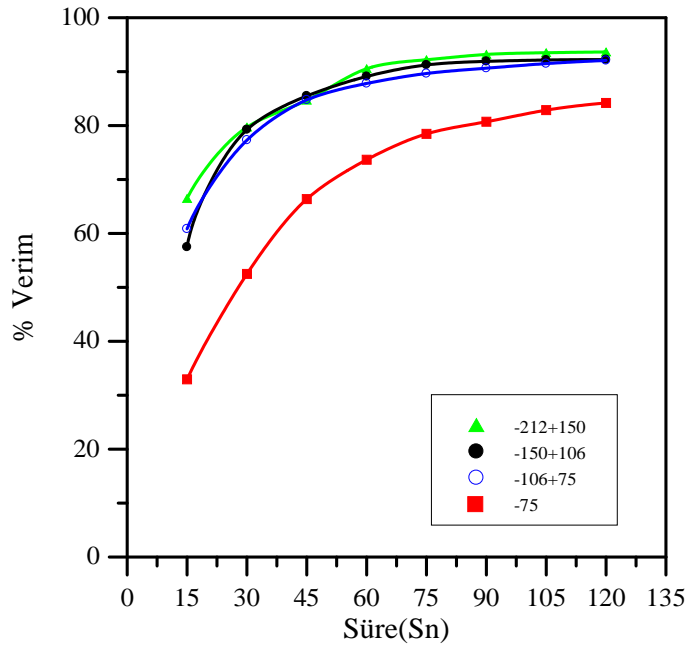
Görüldüğü gibi ta kömürü doğal yüzebilirlik göstermektedir.



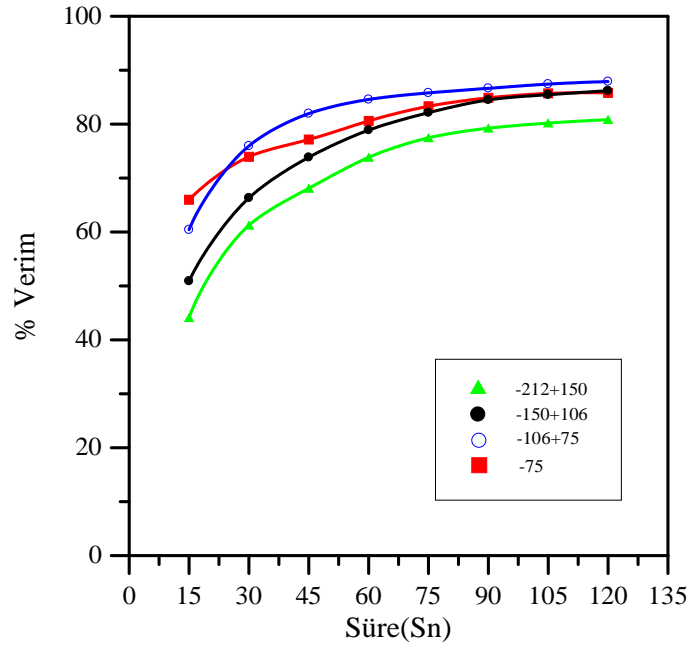
ekil 34. Farklı tane boyutlarında Ta kömürü flotasyon veriminin zamana karşı değişimi (pH 3.15; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karıştırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 35. Farklı tane boyutlarında Ta kömürü flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 5; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 36. Farklı tane boyutlarında Ta kömürü flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 7.35; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 37. Farklı tane boyutlarında Ta kömürü flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



### 4.2.3. t̄hal (G.Afrika Linyit) Numunesi

t̄hal (G.Afrika Linyit) numunesi de i ik tane boyutlarında ve farklı pH'larda flotasyon hız sabitleri (k) Ek-3'de, kritik ıslanma yüzey gerilimleri (  $\sigma_c$  ) Ek-2'de, ıslanma e imi (A) Ek-4'de, k de erlerinin  $\sigma_c$ ' ye kar ı de i imi ekil 38'de, A' nın k' ya kar ı de i imi ekil 39'da, farklı tane boyutlarında ve pH'larda zamana kar ı % Flotasyon veriminin de i imi ise ekil 40, 41, 42 ve 43'de gösterilmi tir.

Çizelge 5. t̄hal ( G.Afrika) Linyit numunesinin de i ik pH' larda farklı tane boyutları için belirlenen k,  $\sigma_c$ , A ve % V de erleri

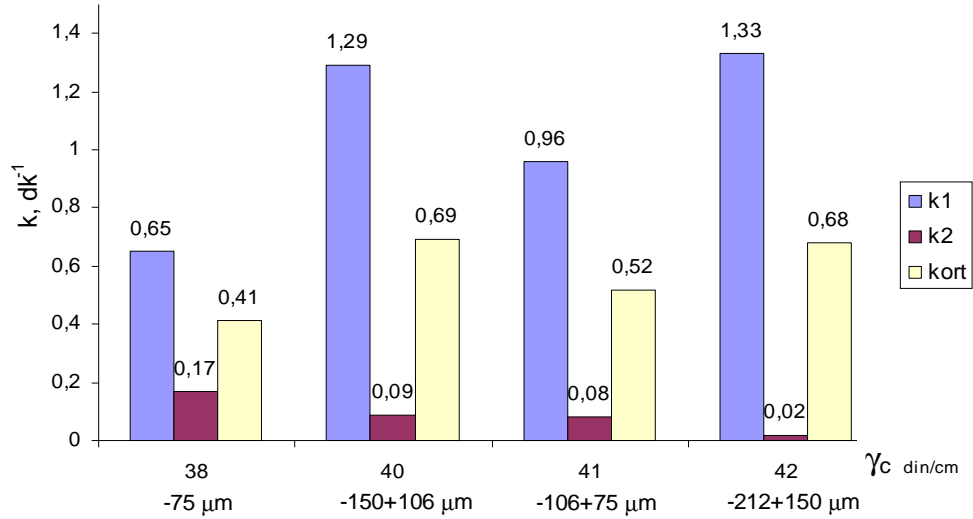
pH	Tane Boyutu (µm)	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>ort</sub>	$\sigma_c$	A	Flotasyon Verimi % V
3,15	- 212 + 150	0,59	0,009	0,30	-	0,025	51,07
	-150 + 106	0,28	0,113	0,20	-	0,019	30,21
	- 106 + 75	0,41	0,146	0,28	-	0,020	58,02
	- 75	0,29	0,180	0,24	-	0,022	54,33
5,00	- 212 + 150	0,28	0,050	0,17	-	0,025	30,00
	- 150 + 106	0,50	0,090	0,29	-	0,019	45,08
	- 106 + 75	0,52	0,030	0,28	-	0,020	43,91
	- 75	0,20	0,090	0,15	-	0,022	27,51
6,78	- 212 + 150	0,60	0,050	0,32	-	0,025	60,60
	- 150 + 106	0,60	0,090	0,35	-	0,019	56,71
	- 106 + 75	0,27	0,150	0,21	-	0,020	36,66
	- 75	1,15	0,150	0,65	-	0,022	30,61
8,00	- 212 + 150	1,33	0,020	0,68	42	0,025	91,78
	- 150 + 106	1,29	0,090	0,69	40	0,019	87,23
	- 106 + 75	0,96	0,080	0,52	41	0,020	81,99
	- 75	0,65	0,170	0,41	38	0,022	80,78

#### 4.2.3.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - $k_1$ , $k_2$ , $k_{ort}$ ili kileri

thal(G.Afrika)Linyit numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ulaılan pH 8 de erinde ve farklı boyutlarda kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ )- $k_1$ , $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ili ki ekil 38'de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu tanelerin hızlı bir kinetik gösterdi i ekil 38'de görülmektedir. Kullanılan en iri tane boyutunun (-212+150 $\mu$ m) flotasyon ba langıcında flotasyon hızı, çalı malarda kullanılan di er boyutlara oranla daha fazla oldu u görülmektedir.

Flotasyon süresi ilerledikçe (ba langıçtan 3-4 dakika sonra) iri boyutlu tanelerin köpü e yapı ma e ilimleri yava lamakta, di er taraftan ince tanelerin(-75 $\mu$ m) köpü e ula ma hızları ekil 38'de görüldü ü gibi artmaktadır.



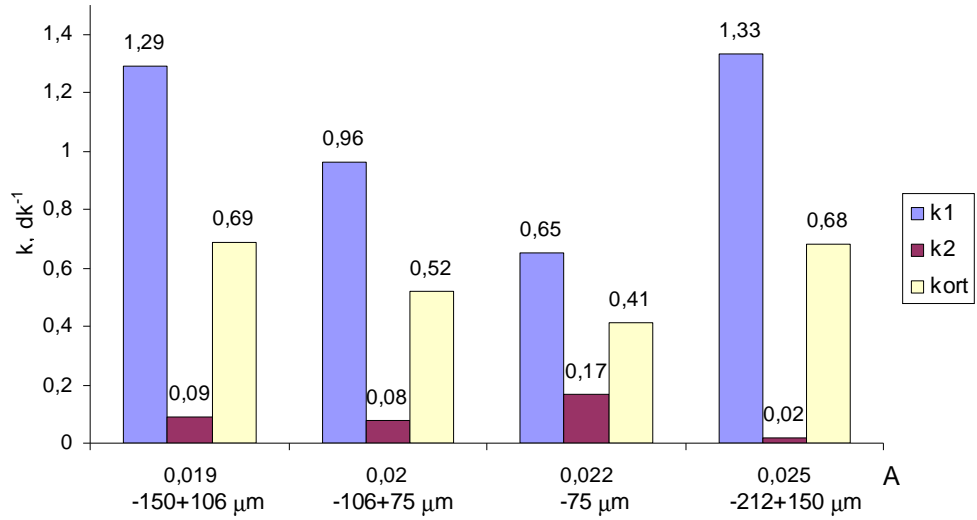
ekil 38. Farklı tane boyutlarında ithal(G.Afrika) Linyitin  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erlerinin ( $\gamma_c$ ) kritik ıslanma yüzey gerilimleri ile de i imi (pH 8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

#### 4.2.3.2. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - Islanma e imi (A) ili kileri

thal (G.Afrika) Linyit numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ula ılan pH 8 de erinde ve farklı boyutlarda ıslanma e imlerinin (A)- $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ili kileri ekil 39'da görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu(-212+150 $\mu$ m) tanelerin ıslanma e imi fazla ve köpü e yapı ma hızlarının da fazla oldu u ekil 39'da görülmektedir.

Flotasyon ba langıcından sonra geçen 3-4 dakika sonucunda ince boyutlu tanelerin (-75 $\mu$ m) köpü e yapı ma hızlarının arttı ı, iri boyutlu tanelerinde köpü e yapı ma hızlarının en ince boyutlu tanelere oranla azaldı ı ekil 39'da görülmektedir.

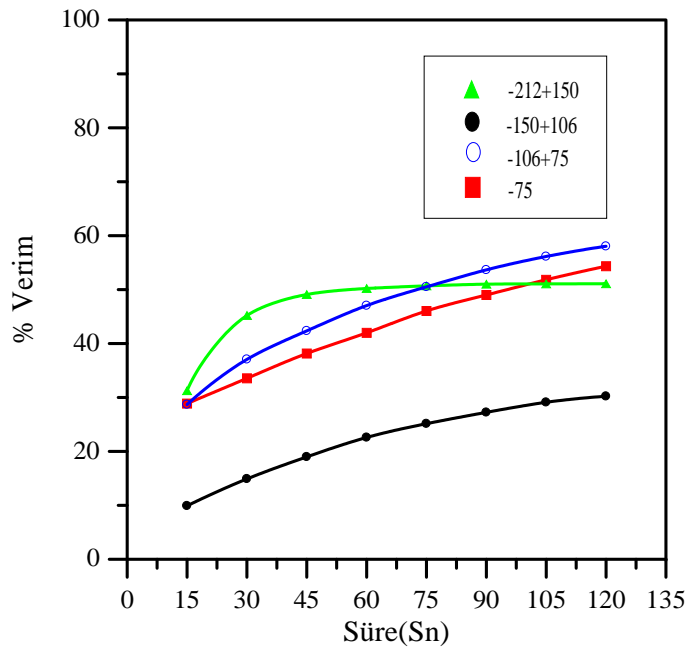


ekil 39. Farklı tane boyutlarında ithal(G.Afrika)Linyitin ıslanma e iminin (A) -  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri ile de i imi (pH 8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

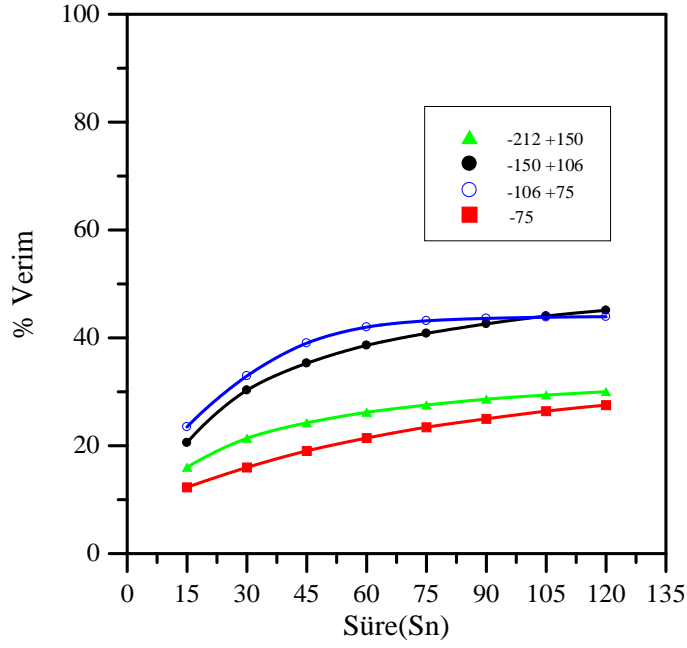
### 4.2.3.3. Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi

thal (G.Afrika) Linyit numunesi ile yapılan deneyler sonucunda farklı pH'larda, de i ik boyutlarda G.Afrika Linyit numunesinin flotasyonu incelenmi hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun yava bir ba langıç gösterdi i, malzemenin ilk 15 sn'de % 5-30'nun köpükle birlikte alındı ı ekil 40, 41, 42 ve 43'de görölmektedir. Sadece pH 8'iken -212+150µm boyutunda flotasyon ba langıcının ilk 15 sn'de % 50'lerde oldu u, di erlerine göre flotasyon ba langıcının burada daha hızlı oldu u görölmektedir.

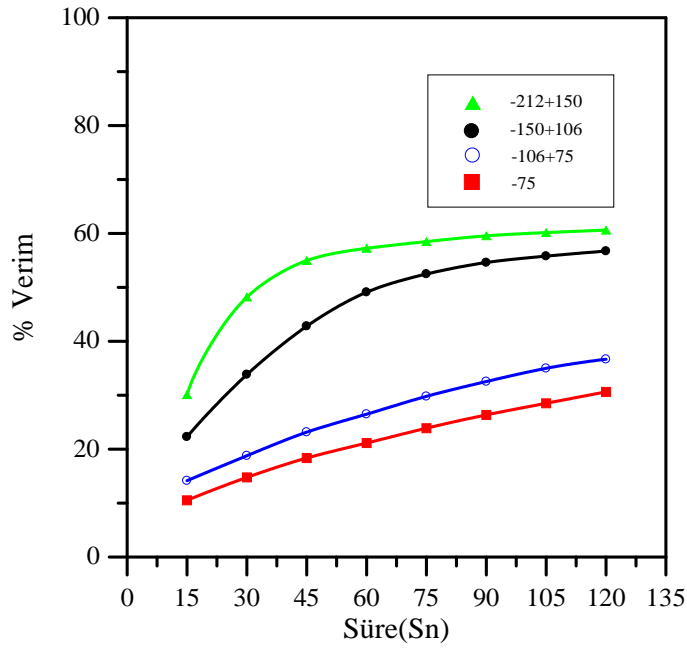
thal (G.Afrika) Linyit numunesi ile yapılan deneylerde pH 8'de -212+150µm boyutunda, 120 sn sonunda flotasyon veriminin % 91.78 oldu u ekil 43'de görölmektedir.



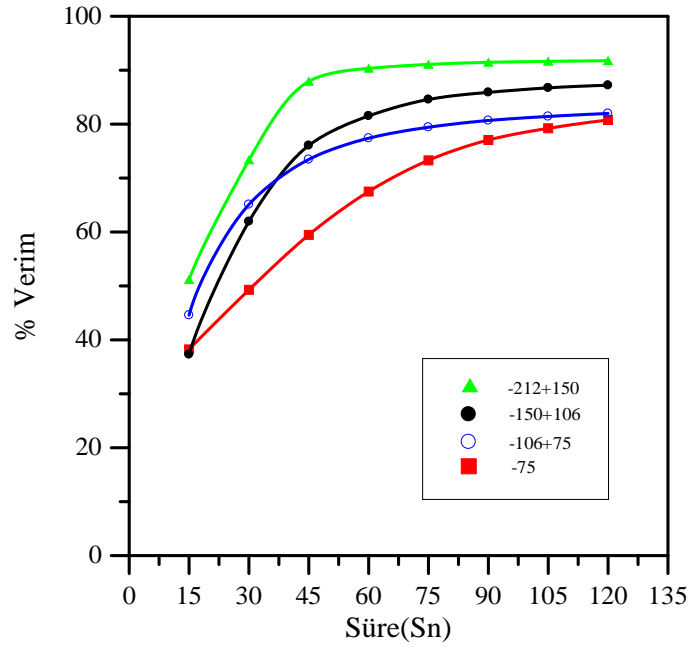
ekil 40. Farklı tane boyutlarında G.Afrika Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 3.15; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 41. Farklı tane boyutlarında G.Afrika Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 5; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 42. Farklı tane boyutlarında G.Afrika Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 6.78; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 43. Farklı tane boyutlarında G.Afrika Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

#### 4.2.4 thal (Ukrayna Linyit)

thal (Ukrayna Linyit) numunesi de i ik tane boyutlarında ve farklı pH'larda flotasyon hız sabitleri (k) Ek-3'de, kritik ıslanma yüzey gerilimleri ( $\sigma_c$ ) Ek-2'de, ıslanma e imi(A) Ek-4'de, k de erlerinin  $\sigma_c$ 'ye kar ı de i imi ekil 44'de, farklı tane boyutlarında ve pH'larda zamana kar ı % Flotasyon veriminin de i imi ekil 45, 46,47 ve 48'de gösterilmi tir.

Çizelge 6. thal (Ukrayna) Linyit numunesinin de i ik pH' larda, farklı tane boyutları için belirlenen  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_{ort}$ ,  $\sigma_c$ , A ve % V de erleri

pH	Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	$k_1$	$k_2$	$k_{ort}$	$\sigma_c$	A	Flotasyon Verimi % V
3,00	- 212 + 150	0,680	0,011	0,344	-	-	93,35
	- 150 + 106	0,640	0,037	0,339	-	-	90,23
	- 106 + 75	0,764	0,058	0,411	-	-	90,74
	- 75	0,600	0,050	0,325	-	0,0125	90,12
5,00	- 212 + 150	0,690	0,012	0,350	-	-	94,28
	- 150 + 106	0,620	0,050	0,333	-	-	93,18
	- 106 + 75	0,490	0,015	0,253	-	-	90,49
	- 75	0,750	0,080	0,420	-	0,0125	87,24
7,00	- 212 + 150	0,820	0,019	0,420	-	-	93,80
	- 150 + 106	0,530	0,079	0,310	-	-	89,50
	- 106 + 75	0,320	0,120	0,220	-	-	87,19
	- 75	0,453	0,079	0,266	-	0,0125	82,44
8,10	- 212 + 150	0,817	0,023	0,420	40	-	94,58
	- 150 + 106	0,561	0,018	0,290	39	-	89,86
	- 106 + 75	0,350	0,095	0,022	41	-	89,22
	- 75	0,483	0,080	0,282	42	0,0125	80,96

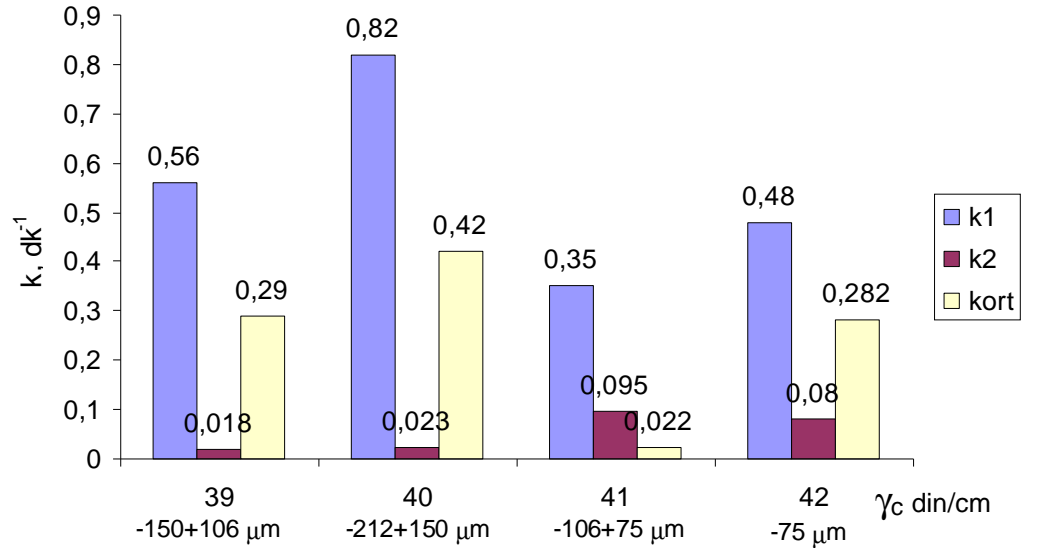
#### 4.2.4.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - $k_1$ , $k_2$ , $k_{ort}$ grafikleri

ithal(Ukrayna)Linyit numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ulaşılan pH 8 de erinde ve farklı boyutlarda kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) -  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ilişki ekil 44’de görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu tanelerin hızlı bir kinetik gösterdi i ekil 44’de görülmektedir. Kullanılan en iri tane boyutunun

(-212+150 $\mu$ m) flotasyon ba langıcında flotasyon hızı, çalı malarda kullanılan di er boyutlara oranla daha fazla oldu u görülmektedir.

Flotasyon süresi ilerledikçe (ba langıktan 3-4 dakika sonra) iri boyutlu tanelerin köpü e yapı ma e ilimleri yava lamakta di er taraftan ince tanelerin (-106+75 $\mu$ m, -75 $\mu$ m) köpü e ula ma hızları ekil 44’de artı ı görülmektedir.



ekil 44. Farklı tane boyutlarında ithal(Ukrayna) Linyitin  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erlerinin ( $\gamma_c$ ) kritik ıslanma yüzey gerilimleri ile de i imi (pH 8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

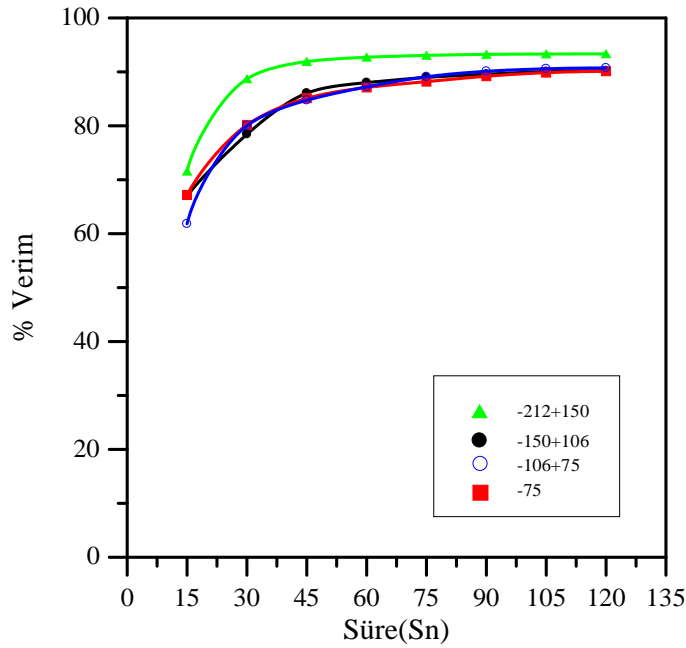


#### 4.2.4.2. Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı değişimleri

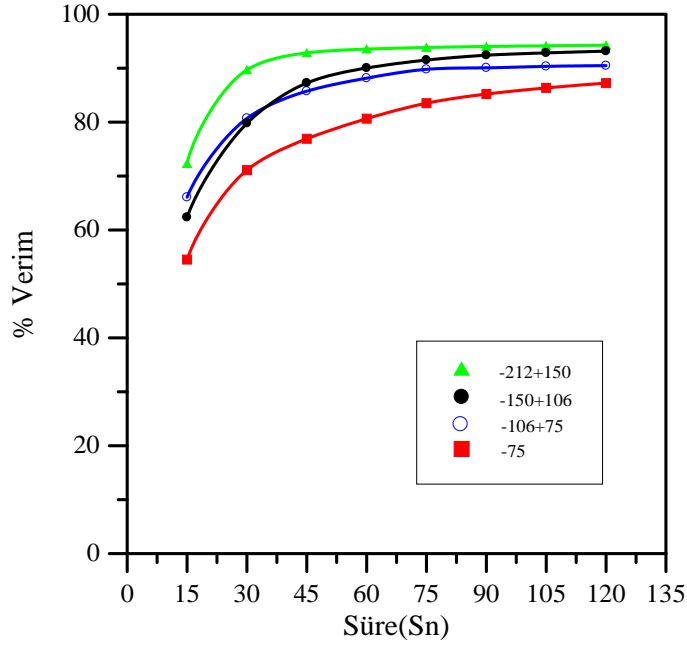
Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı değişimleri ekil 45, 46, 47 ve 48'de görülmektedir.

Yapılan flotasyon deneyleri sonucunda Ukrayna Linyit numunesinin de do al yüzebilirlik gösterdiği görülmektedir. Genelde tane boyutu büyüdükçe % flotasyon verimi artmaktadır. Hemen hemen bütün fraksiyonlarda a ırlıkça flotasyon verimi % 90 civarlarındadır. Tüm fraksiyonlarda flotasyon hızlı bir ba langıç göstermektedir.

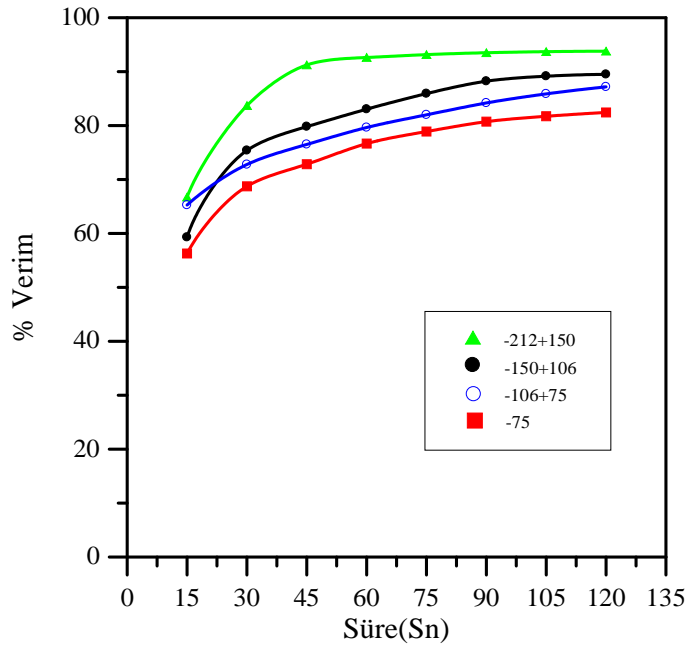
Genellikle iri boyutta flotasyon veriminin artması tane köpük temasının yeterince sa lam olması ile açıklanabilir. Flotasyon ba langıcının ilk 15 sn'de % 55-75 arasında oldu u görülmektedir. pH'sı 8.10'da - 212+150µm tane boyutunda, 120 sn sonunda flotasyon verimi % 94.58 oldu u ekil 48'de görülmektedir.



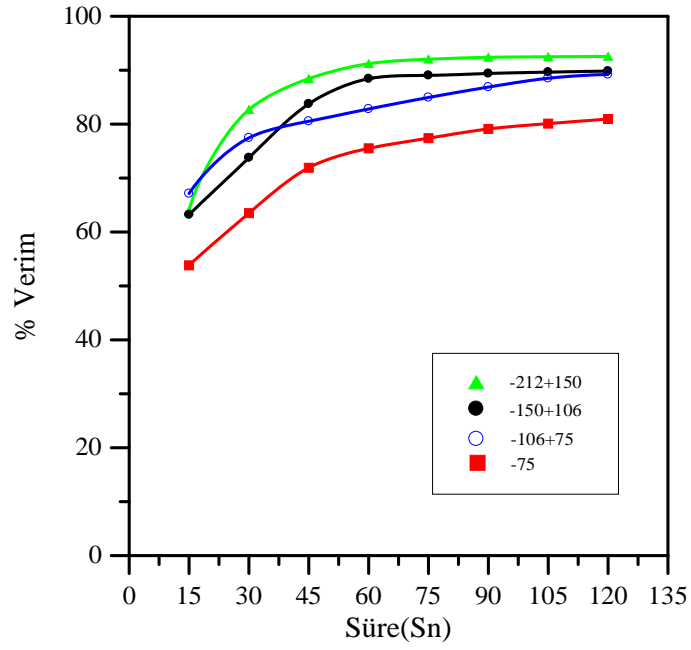
ekil 45. Farklı tane boyutlarında Ukrayna Linyit flotasyon veriminin zamana karşı değişimi (pH 3; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 46. Farklı tane boyutlarında Ukrayna Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 5; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10, Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 47. Farklı tane boyutlarında Ukrayna Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 7; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 48. Farklı tane boyutlarında Ukrayna Linyit flotasyon veriminin zamana karşı ilikisi (pH 8.1; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

#### 4.2.5. Kükürt

Kükürt numunesi de i ik tane boyutlarında (-212+150 $\mu$ m,-150+ 106 $\mu$ m, -106 $\mu$ m ), farklı pH'larda flotasyon hız sabitleri (k) Ek-3'de, kritik ıslanma yüzey gerilimleri (  $\sigma_c$  ) Ek-5 de, ıslanma e imi (A) Ek-4'de, k de erlerinin  $\sigma_c$  kar ı de i imi ekil 49'da, A'nın k'ya kar ı de i imi ekil 50'de, farklı tane boyutlarında ve pH'larda zamana kar ı %Flotasyon veriminin de i imi ise ekil 51, 52, 53 ve 54'de gösterilmi tir.

Kükürt numunesinde bulunan kritik ıslanma yüzey gerilimleri (  $\sigma_c$  ) de erleri Zisman temas açısı ölçüm yöntemi kullanılarak bulunmu tur (Ek-2).

Çizelge 7. Kükürt numunesinin de i ik pH' larda, farklı tane boyutları için belirlenen k,  $\sigma_c$ , A ve % V de erleri

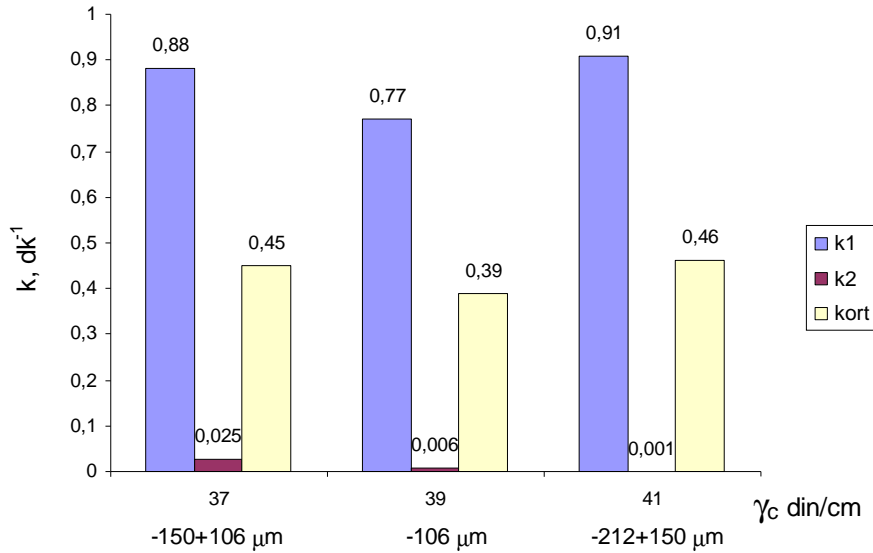
pH	Tane Boyutu ( $\mu$ m)	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>ort</sub>	$\sigma_c$	A	Flotasyon Verimi % V
3,00	-212 + 150	1,80	0,004	0,90	41	0,029	95,42
	- 150 + 106	1,90	0,026	0,56	37	0,025	94,25
	- 106	0,99	0,005	0,50	39	0,022	95,34
5,00	- 150 + 106	0,94	0,029	0,50	37	0,025	94,57
	- 106	0,89	0,006	0,45	39	0,022	95,59
7,00	- 150 + 106	0,91	0,003	0,45	37	0,025	94,51
	- 106	0,79	0,002	0,39	39	0,022	93,28
7,80	- 212 + 150	0,91	0,001	0,46	41	0,029	98,14
	- 150 + 106	0,88	0,025	0,45	37	0,025	97,75
	- 106	0,77	0,006	0,39	39	0,022	97,20

#### 4.2.5.1. Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) - $k_1$ , $k_2$ , $k_{ort}$ grafikleri

Kükürt numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ulaşılan pH: 7.80 de erinde ve farklı boyutlarda kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) ile  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  değerleri arasındaki ilişki ekil 49'da görülmektedir.

Flotasyon ba langıcında iri boyutlu tanelerin hızlı bir kinetik gösterdiği ekil 49'da görülmektedir. Kullanılan en iri tane boyutunun (-212+150 $\mu$ m) flotasyon ba langıcında flotasyon hızı, çalı malarda kullanılan diğer boyutlara oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

Flotasyon süresi ilerledikçe (ba langıçtan 3-4 dakika sonra) en iri boyutlu tanelerin(-212+150 $\mu$ m) köpü e yapı ma e ilimleri yava lamakta kullanılan ince tanelerin, köpü e yapı ma hızları artmaktadır ( ekil 49).

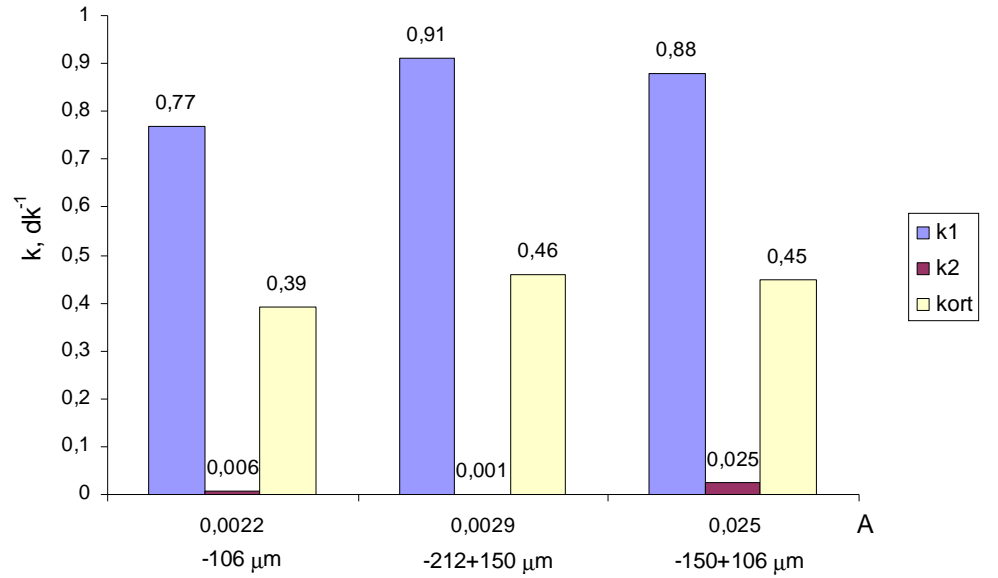


ekil 49. Farklı tane boyutlarında Kükürtün  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  değerlerinin ( $\gamma_c$ ) kritik ıslanma yüzey gerilimleri ile de i imi (pH 7.8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

#### 4.2.5.2. Kritik ıslanma yüzey gerilimi( $\gamma_c$ )-Islanma e imini(A) grafikleri

Kükürt numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek flotasyon verimine ula ılan pH 7.80 de erinde ve farklı boyutlarda Islanma e imlerinin (A) ile  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri arasındaki ili kileri ekil 50'de görülmektedir. Flotasyon ba langıcında iri boyutlu(-212+150 $\mu$ m) tanelerin ıslanma e imi fazla oldu u, ince boyutlu tanelerin ıslanma e iminin (A)' nın dü ük oldu u ekil 50'de görülmektedir.

Flotasyon sürecinin yava lamaya girmesi ile birlikte aynı flotasyon ba langıç süresinde oldu u gibi iri boyutlu tanelerin ıslanma e imi fazla ve köpü e yapı ma hızlarının dü ük oldu u, daha ince boyutlu tanelerin(-150+106 $\mu$ m) ıslanma e iminin (A)' nın dü ük, flotasyonun yava lama süresince köpü e yapı ma hızlarının yüksek oldu u ekil 50'de görülmektedir.

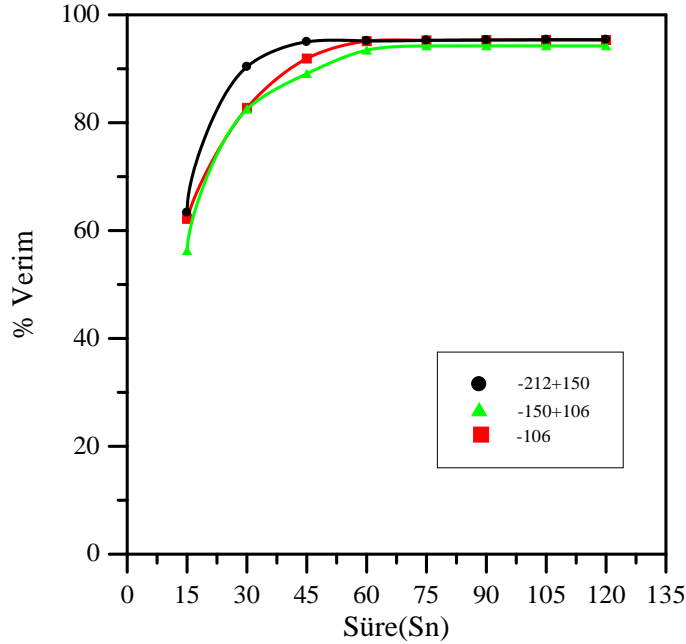


ekil 50. Farklı tane boyutlarında Kükürtün ıslanma e iminin (A)-  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{ort}$  de erleri ile de i imi (pH 7.8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

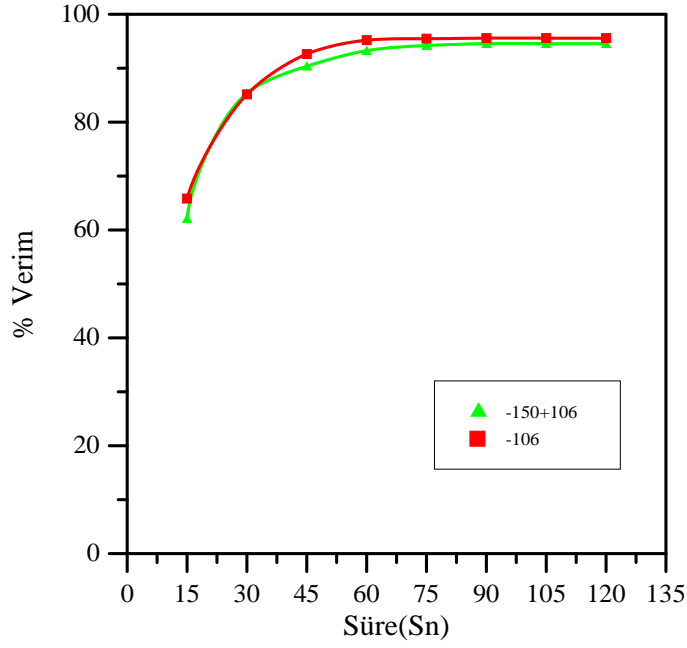
### 4.2.5.3. Farklı tane boyutlarında ve pH'larda flotasyon veriminin zamana karşı değişimi

Kükürt numunesi ile yapılan deneyler sonucunda farklı pH'larda, değişik boyutlarda kükürt numunesinin flotasyonu incelenmiş tüm fraksiyonlarda flotasyonun hızlı bir kinetik gösterdiği, ilk 15 sn' de malzemenin % 50-75'nin köpükle birlikte alındığı görülmektedir. 120 sn sonunda flotasyon verimi % 93-98 arasında olduğu görülmektedir.

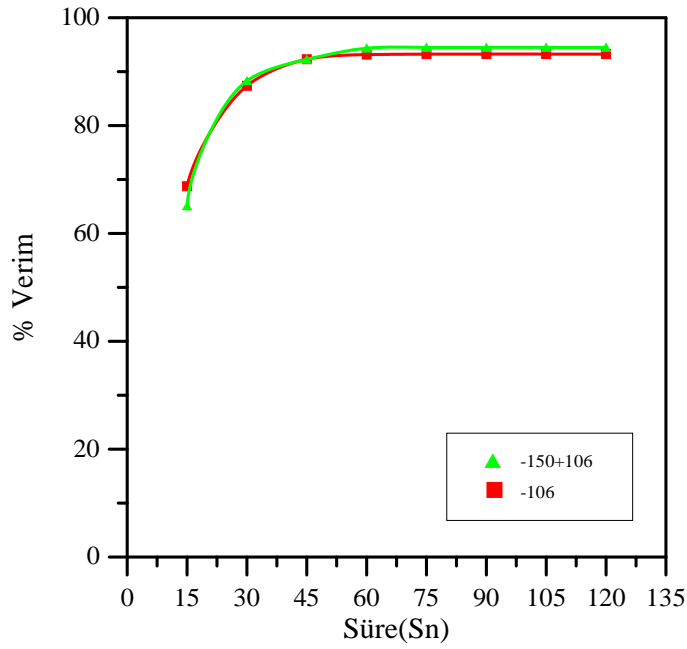
En yüksek flotasyon veriminin pH 7.8'de, 120 sn sonunda verimin % 98.20'ye ulaştığı görülmektedir. Yapılan deneylerde pH'ın artması ile % flotasyon veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu deneyler sonucunda kükürt'ün doğal yüzeylilik gösterdiği görülmektedir.



ekil 51. Farklı tane boyutlarında Kükürt flotasyon veriminin zamana karşı değişimi (pH 3; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

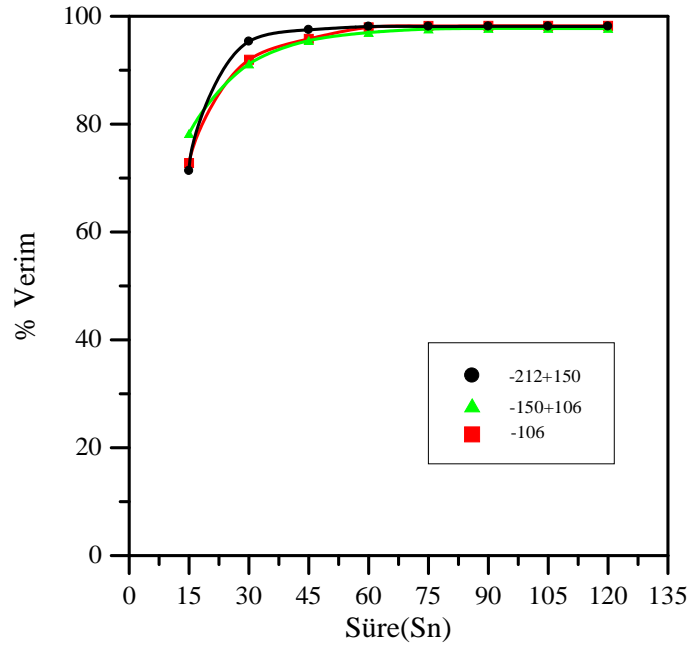


ekil 52. Farklı tane boyutlarında Kükürt flotasyon veriminin zamana kar 1 ili kisi (pH 5; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).



ekil 53. Farklı tane boyutlarında Kükürt flotasyon veriminin zamana kar 1 ili kisi (pH 7; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).





ekil 54. Farklı tane boyutlarında Kükürt flotasyon veriminin zamana kar 1 ili kisi (pH 7.8; kondisyon süresi: 3 dk; Katı/Sıvı oranı: 1/10; Karı tırma hızı: 1100 dev/dak).

## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında bazı minerallerin (Grafit, Ta kömürü, de i ik orjinli Linyitler ve Kükürt) de i en ko ullar altında flotasyon performansına etki eden kinetik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen kinetik hız sabiti (k), flotasyon verimi (% V), ıslanma diyagramının e imini (A) temsil eden hidrofobluk parametreleri ve kritik ıslanma yüzey gerilimleri arasında olabilecek anlamlı ili kiler araştırılmış ve bazı sonuçlar elde edilmiştir.

Grafit ile yapılan deneyler sonucunda grafit numunesinin flotasyonu incelenmiş hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun yavaş bir başlangıç gösterdiği ve 8 dakika sonunda maximum de erlere ula ıldı ı gözlenmiştir. En yüksek flotasyon veriminin pH 8'de, -212+150µm tane boyutunda % 80.93 olduğu görülmektedir.

Ta kömürü flotasyonunda hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun hızlı bir başlangıç gösterdiği ve 120 sn sonunda flotasyon veriminin % 93-94'lere ula ıldı ı görülmektedir. En yüksek flotasyon veriminin pH 7.35'de, -212+150µm tane boyutunda % 93.68 olduğu görülmektedir.

G.Afrika Linyit numunesinde ise hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun yavaş bir başlangıç gösterdiği görülmektedir. En yüksek flotasyon verimi pH 8'de, -212+150µm tane boyutunda, 120 sn sonunda % 91.78 olduğu görülmü tür.

Ukrayna Linyit numunesinde hemen hemen tüm fraksiyonlarda flotasyonun hızlı bir başlangıç gösterdiği görülmektedir. Hemen hemen tüm fraksiyonlarda a ırlıkça flotasyon verimi % 90 civarlarında olduğu u, en yüksek flotasyon verimi pH 8.10'da, -212+150µm tane boyutunda ve 120 sn sonunda %94.58 olduğu u görülmü tür.

Kükürt'de di er numuneler gibi hemen tüm fraksiyonlarda hızlı bir flotasyon kineti i gösterdiği ilk 15 sn'de malzemenin %50-75'nin köpükle birlikte alındı ı görülmektedir. En yüksek flotasyon verimi pH 7.8'de, -212+150µm tane boyutunda, 120 sn sonunda % 98.14 olduğu u görülmektedir.

Çalı mada kullanılan numunelerin genellikle tane boyutunun artması ile % flotasyon veriminin de yükseldi i görülmektedir.

Tüm numunelerin flotasyon verimlerinin pH 8 ve civarında -212+150µm tane boyutunda yüksek oldu u elde edilmi tir.

Ta kömürü ve Kükürt numunesinin do al yüzebilirlik gösterdi i görülmektedir. Kullanılan kimyasallarla da Ukrayna Linyit numunesinin bu numuneler kadar flotasyon veriminin yüksek oldu u görülmektedir.

Genelde flotasyon ba langıcındaki iri boyutlu tanelerin hızlı bir kinetik gösterdikleri, flotasyon süresi ilerledikçe iri tanelerin kineti inin yava ladı ı bunun aksine ince tanelerin kineti inin arttı ı görülmektedir.

Çalı mada kullanılan de i ik orjinli linyitlerin flotasyonu sonucunda, ta kömürü ile ula ılan benzer flotasyon verimine ula ılmı tir.

Numuneler üzerinde yapılan kimyasal analizler sonucunda numulerde belirli miktarlarda safsızlıklar oldu u açıkça görülmektedir.

Çalı mada numunelerden en iyi yüzme e ilimini Kükürt numunesi göstermi tir.

En iyi % flotasyon verimleri kükürt numunesinde % 98.14, Ukrayna Linyit % 94.58, Ta kömürü % 93.68, G.Afrika Linyit % 91.78 ve Grafit numunesi % 80.93 olarak bulunmu tur.

Genelde tüm numunelerin flotasyonun da flotasyon sürecinin ba langıcında iri boyutlu tanelerin yüzdü ü, flotasyon sürecinin sonlarına do ru ince tanelerin daha hızlı bir kinetik gösterdi i görülmektedir.

Islanma e imi (A)'nın büyük olması demek, daha büyük temas açısının olu tu u anlamına gelmektedir. Buda iyi flotasyon olma e ilimini göstermektedir. Ta kömürü, de i ik orjinli linyitlerde ve kükürt de (A) ıslanma e imi de erlerinin grafit numunesindeki de erlere oranla daha büyük oldu u ve bu numulerde flotasyon e iliminin daha fazla oldu u görülmektedir.

## **KAYNAKLAR**

- Adak, S., 1974 “ Flotasyon İnkeleri ve Uygulamaları”, .T.Ü, Türkiye.
- Adamson, A.W., 1990, “Physical Chemistry of Surfaces”, fifth Edition, USA, A Wiley Interscience Publication.
- Andrade, J. D., Smith, L.M., Gregonis, D.E., 1985. “Surface and nterfacial Aspects of Biomedical Polymers”, Vol.1., Surface Chemistry and Physics, Ed.J.D.Andrade, Plenum Pres, pp. 249-292. New York.
- Aplan, F.F., 1980 “Flotation, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 10, 3rd edition, John Wiley Sons, Inc., New York.
- Arbiter, N., 1951. AIME Trans., vol. 190, p. 791.
- Drzymala, J., 1994, “Hydrophobicity and Collectorless Flotation of Inorganic Metarials”, Advances in Colloids and Interface Science, 50, pp. 143-185.
- Fuerstenau, D.W., Diao, J., Williams, MC., 1991, “Characterization of the Wettability of Solid Particles by film flotation 1. Experimentol Investigation”, Colloids and Surfaces, 60, pp. 127-144.
- Fuerstenau, D.W., ve Williams, M.C., 1987, “ A New Method for Characterization of the Surface Energy of Hydrophobic Particles”, part Charact., 4, pp. 7-13.
- Garcia-Zuniga, H., 1935. Bol. Soc. Nac. Min., Santiago, vol.47, p. 83.
- Gaudin, A.M., Miaw, H.L., Spedden, H.R., 1957, “ Native Floatability and Crystal Structure”, Second Int. Congr. Surface Activity. Vol.3, pp. 202-219, London.
- Hogg, R., 1980. Characterization of Mineral Surfaces, In P. Somosundaran(ed.): Fine Particle Processing, vol. I, Society of Mining Engineers of AIME, New York, pp. 492-524.
- Hukki, R.T., 1953. AIME Trans. Vol. 196, p. 1122.
- Imaizumi, R.T.; Inoue, T., 1965. Kinetic Consideration of Froth Flotation: Proc. 6th Int. Min. Process Cong., Cannes, (Edited by A. Roberts), pp. 581-593. Permagon Pres, Oxford.

- Jameson, G.J., Nam, S., Moo Young, M., 1997. "Physical Factors Affecting Recovery Rates in Flotation Mineral Science and Eng., vol. 9, no.3, pp. 103-118.
- Laskowski, J., 1986, "The Relationship Between Floatability and Hydrophobicity", Adv. n Mineral Processing, Ed. P. Somasundaran, SME, Littletons SME, Littleton, pp. 189-208, USA.
- Mori, S., Okomato, H., Hara, T., Aso, K., 1986. "Kinetics Studies of Fluorite Flotation: Proc. 15th Int. Min. Process. Cong., Comes, Vol. 3, pp 155-162.
- Morris, T.M., 1952. AIME Trans., vol. 193. p. 794.
- Olsen, D.A., Osteraas, A.J., 1964. "The Critical Surface Tension of Glass", The Journal of Phy. Chem., vol.68, No.9, pp. 2730-2732.
- Parekh, B.K., Aplan, F.F., 1974, "Wetting Properties of Minerals Coated With Surfactants", Proc. Of Chem. Inst. Canada, floc. And Disp. Symp., pp. 21-35, Toronto.
- Parekh, B.K., Aplan, F.F., 1980, " The Critical Surface Tension of Wetting of Coal", Rec. Dev. in. Sep. Sci., vol.4, Ed.N.N.Li, CRC Pres inc., West Palm Beach, pp. 107-113, Florida, USA.
- Ralston, J., Newcombe, G., 1992, "Static and Dynamic Contact Angles", Colloid Chemistry in Mineral Processing, Chapter 5, Ed.J.S. Laskowski, J.Ralston, Netherlands, Elsevier.
- Scheludko, A ve Schulze, H.J., 1971, "Untersuchungen Zum Elementarakt Deer Flotation", Freiburger forschungshefte A 484, p. 85.
- Shafrin, E.G. ve Zisman, W.A., 1960, "Constitutive Relations in the Wetting of Low Energy Surfaces and the Theory of the Recraction Method of Preporing Monolayers", J. Phy. Chem., 64, pp. 519-524.
- Stechemesser, H. Ve Ahmed, M.M., 2000. "Adhesive Force and Flotation Efficiency: Theory and Experiment", Aufbereitung Technik, 41,6, pp. 251-258.
- Sönmez, I., 1996. "Kolektörsüz Kolon Flotasyonunda Hidrofobik Fraksiyon ve Tane Boyutunun Etkisi", Yüksek lisans Tezi, C.Ü, Sivas.

- Szatkowski, M., Freyberger, W.L., 1985. "Kinetics of Flotation With Fine Bubbles: Trans. Inst. Min Metal.(Section C: Mineral Process. Extr. Metal.), 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. Permogan Pres, Oxford.
- Ulusoy, U., 2003." Farklı Ö ütmeye Metotlarının Kritik Islanma Yüzey Gerilimine Etkisi " Doktora Tezi, C.Ü, Sivas.
- Wapner, P.G. ve Hoffman, W.P.,2002. "Partical Wetting Phenomena on Nonplanar Surfaces and in Shaped Microchannels", Longmuir,18, pp. 1225-1230.
- Wills, B.A., 1985, "Mineral Processing Technology", 3rd. Edition.
- Williams, M.C., Fuerstenau, D.W., 1987," A Simple Flotation Method For Rapidly Assessing the Hydrophobicity of Coal Particles", Int.J. of Min. Proc., 20, pp. 153-157.
- Yarar, B., Aksu, S., 1997, " Quantification of the Roles of Surface Heterogeneity and Roughness in the Establishment of the Critical Surface Tension of Wetting of Hydrophobic Solids", XX nternational Mineral Processing Congres, vol.1, pp. 41-51, Aachen, Germany.
- Yarar, B. Ve Kaoma, J., 1984. "Estimating of the Critical Surface Tension of Wetting of Hydrophobic Solids by Flotation", Colloids and Surfaces, 11, pp. 426-429.
- Yarar, B. 1988," Gamma Flotation: A New Approach to Flotation, Using Liquid-Vaper Surface Tension Control", Developments in Min. Proc., pp. 41-64.
- Yekeler, M. ve Yarar, B., 1994a, "Critical Surface Tension of Wetting of Low Surface Energy Minerals and Therir Separations by Gamma Flotation:

Realgar, Talc, Stibnitc and Sulfur”, SME Annual Meeting, New Mexico, USA, pp. 17-94.

Yekeler, M. ve Yarar, B., 1994b, “Techniques for Assessing the Floability Characteristics of Minerals”, Çukurova Univ. Müh.-Mim. Fak. 15. Yıl Sempozyumu, pp. 473-480.

Young, T., 1805, Phil. Trans. R. Soc., 95, 65, London.

Zisman, W.A., 1964. “Relation of Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitutions in Contact Angle, Wettability and Adhesion”, R.F. Gould,(ed.) Advences in Chemistry Series. No. 43. American Chem.Soc. pp. 1-51.

### EK-1

Temas açısı ve flotasyon testlerinde kullanılan metil alkol çözeltilerinin yüzey gerilim değerlerinin konsantrasyonlarının değişimi (Ulusoy, 2003 ).

Metil Alkol Konsantrasyonu (% w/w)	Metil Alkol Konsantrasyonu (% v/v)	Yüzey Gerilimi $\sigma_H$ , (mN/m)
0	0.00	72.4
5	6.24	61.59
10	12.31	55.30
15	18.23	50.01
25	29.63	44.02
38	43.64	37.23
50	55.81	33.55
62	67.33	30.70
75	79.12	27.98
100.00	100.00	22.90



## EK-2

Farklı Tane Boyutundaki Grafit Numunesinin  $\gamma_{SH}$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8)

% Alkol	$\gamma_{SH}$	% Verim			
		-212+150 $\mu$ m	-150+106 $\mu$ m	-106+75 $\mu$ m	-75 $\mu$ m
0	72,80	80,93	47,89	76,24	58,20
5	64,92	61,70	27,12	64,92	41,34
10	57,03	23,36	21,20	57,03	36,10
15	51,00	15,28	10,96	51,00	32,36
25	45,47	10,20	7,67	14,99	21,20
30	42,00	9,77	1,53	12,00	14,70

Farklı Tane Boyutundaki Ta kömürü Numunesinin  $\gamma_{SH}$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 7,35)

% Alkol	$\gamma_{SH}$	% Verim			
		-212+150 $\mu$ m	-150+106 $\mu$ m	-106+75 $\mu$ m	-75 $\mu$ m
0	72,80	93,48	92,26	92,39	85,07
5	64,92	55,16	46,21	60,89	69,24
10	57,03	26,40	37,09	51,51	34,18
15	51,00	15,86	25,49	21,75	9,07
25	45,47	7,86	17,00	4,47	5,50
30	42,00	6,00	3,09	2,04	3,77

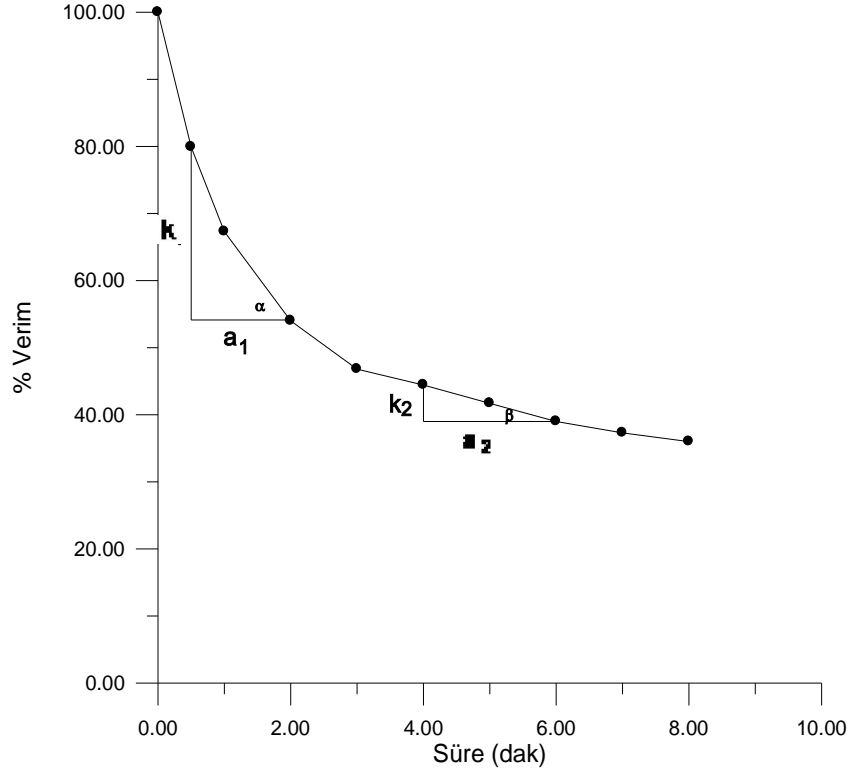
Farklı Tane Boyutundaki Ukrayna Linyit Numunesinin  $\gamma_{SH}$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8.1)

% Alkol	$\gamma_{SH}$	% Verim			
		-212+150 $\mu$ m	-150+106 $\mu$ m	-106+75 $\mu$ m	-75 $\mu$ m
0	72,80	92,58	89,85	89,22	80,96
5	64,92	16,10	17,40	33,22	24,82
10	57,03	7,05	6,71	14,30	14,80
15	51,00	3,12	4,38	6,07	5,39
25	45,47	1,88	3,31	6,54	3,70
30	42,00	1,00	2,50	4,03	2,80

Farklı Tane Boyutundaki G.Afrika Linyit Numunesinin  $\gamma_{SH}$  Değerinin Flotasyon Yöntemi ile Belirlenmesi (pH 8)

% Alkol	$\gamma_{SH}$	% Verim			
		-212+150 $\mu$ m	-150+106 $\mu$ m	-106+75 $\mu$ m	-75 $\mu$ m
0	72,80	91,78	87,25	81,99	80,78
5	64,92	2,99	5,04	9,44	7,15
10	57,03	2,38	3,54	5,45	4,18
15	51,00	2,10	2,59	4,45	3,82
25	45,47	1,91	2,58	4,00	3,27
30	42,00	0,90	1,50	2,05	3,01

### EK-3



**$k_1$  (Hız Sabitinin) bulunması**

$$\tan\alpha = \frac{k_1}{a_1} \quad (k_1 = \text{hız sabiti})$$

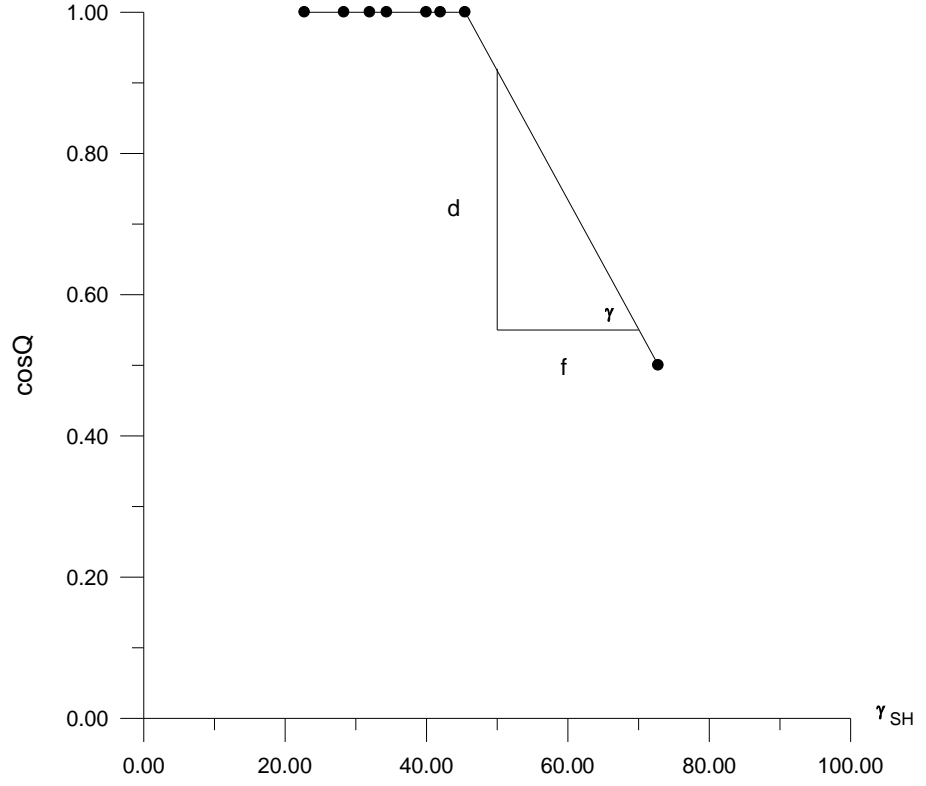
**$k_2$  (Hız Sabitinin) bulunması**

$$\tan\beta = \frac{k_2}{a_2} \quad (k_2 = \text{hız sabiti})$$

**$k_{\text{ort}}$  (Hız Sabitinin) bulunması**

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (k_{\text{ort}} = \text{hız sabiti})$$

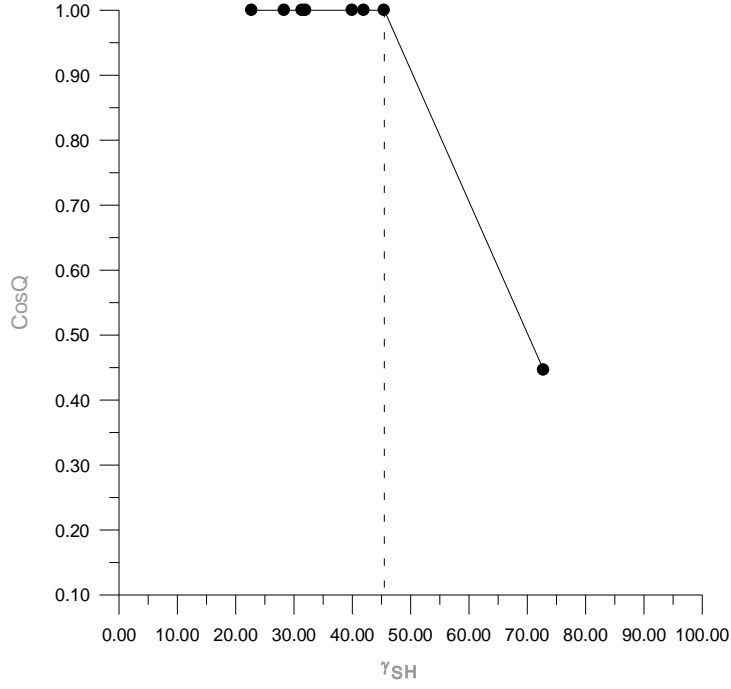
## EK-4



### İslanma E iminin(A) Bulunması

$$\tan \gamma = \frac{d}{f} = A$$

## EK-5



### Kükürt Numunesinin Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

-212+150  $\mu\text{m}$  için

% Alkol	Açı	$\cos\theta$	SH
0	84	0.1045	72.8
25	22	0.9270	45.47
35	7.5	0.9914	42
40	5	0.9962	40
50	3.5	0.9981	34.4
60	0	1	32
75	0	1	28.35
100	0	1	22.76

-150+106  $\mu\text{m}$  için,

% Alkol	Açı	$\cos\theta$	SH
0	83	0.1219	72.8
25	40	0.7660	45.47
35	28	0.8830	42
40	12	0.9780	40
50	7.5	0.9914	34.4
60	0	1	32
75	0	1	28.35
100	0	1	22.76

-106  $\mu\text{m}$  için,

% Alkol	Açı	$\cos\theta$	SH
0	83	0.1219	72.8
25	35	0.8190	45.47
35	26	0.8990	42
40	10	0.9848	40
50	7.5	0.9914	34.4
60	0	1	32
75	0	1	28.35
100	0	1	22.76

## **ÖZGEÇM**

19.05.1981 yılında Kocaeli’de do du. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli’de, lise öğrenimini Sakarya Anadolu Arifiye Ö retmen Lisesinde tamamladı. Yüksek öğrenimine 2001 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde başladı. 2005 yılında buradan mezun oldu. 2005 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına başladı.