



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**İNORGANİK TUZLARIN LİNYİT  
FLOTASYONUNA ETKİSİ**

**İrem ŞALGALI İLİKAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İrem ŞALGALI İLİKAY tarafından hazırlanan “İnorganik Tuzların Linyit Flotasyonuna Etkisi” adlı tez çalışması 28/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

#### Danışman

Prof.Dr. Alper ÖZKAN

#### Üye

Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



İrem ŞALGALI İLİKAY

Tarih:28/06/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## İNORGANİK TUZLARIN LİNYİT FLOTASYONUNA ETKİSİ

İrem ŞALGALI İLİKAY

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Alper ÖZKAN

2019, 44 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Alper ÖZKAN  
Prof.Dr. Salih AYDOĞAN  
Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Bu çalışmada, düşük kaliteli linyit kömürünün flotasyonu NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzları varlığında flotasyon kimyasalları olarak gazyağı ve köpürtücü kullanılarak ve kullanılmadan araştırılmıştır. Ayrıca, zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Linyit örneği geniş bir pH aralığında negatif bir yüzey şarjı sergilemiştir ve isoelektrik noktaya (iep) sahip değildir. Linyitin negatif şarjının büyüklüğünün tuzların 10<sup>-2</sup> M konsantrasyonunun üzerinde önemli ölçüde azaldığı ve flotasyon reaktifleri olmaksızın linyitin flotasyonunun da aynı değerden daha yüksek tuz konsantrasyonlarında zayıf derecede olduğu belirlenmiştir. Linyit yüzeyleri üzerinde ölçülen temas açıları ise artan tuz konsantrasyonu ile artmaktadır. Linyit örneği su sever karaktere sahip olup, bu nedenle yüzdürülmesi çok güçtür. Dolayısıyla, linyitin toplayıcı ve köpürtücü ile flotasyonu yüksek reaktif derişimlerinde bile istenilen ölçüde başarılamamıştır. Flotasyon kimyasalları yokluğunda, yüksek inorganik tuz derişimleri ise düşük flotasyon performansları sağlamıştır. Ancak, linyitin flotasyonu inorganik tuzların varlığında gazyağı ve MIBC ile başarılı olmuştur. % 25.02 kül içeren linyitin flotasyon deneyleri, % 19 kül içerikli bir konsantrenin % 51.2 yanabilir verimle 10<sup>-1</sup> M MgCl<sub>2</sub> ve 8 gr/dm<sup>3</sup> gazyağı konsantrasyonunda elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuzlarının linyit flotasyonunda NaCl tuzundan daha etkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, Flotasyon kimyasalları, İnorganik tuz, Linyit

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **EFFECT OF INORGANIC SALTS ON LIGNITE FLOTATION**

**İrem ŞALGALI İLİKAY**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineering**

**Advisor: Prof.Dr. Alper ÖZKAN**

**2019, 44 Pages**

**Jury  
Prof.Dr. Alper ÖZKAN  
Prof.Dr. Salih AYDOĞAN  
Assoc.Prof.Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

In this study, the flotation of low-quality lignite coal in the presence of NaCl, MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> inorganic salts with/without the use of kerosene and MIBC as flotation chemicals was investigated. In addition, the zeta potential and contact angle measurements were performed. The lignite sample exhibited a negative surface charge over a broad pH range and had no isoelectric point (iep). It was also determined that the magnitude of negative charge of lignite significantly decreased above 10<sup>-2</sup> M concentration of the salts and the flotation of lignite without flotation reagents also weakly took place at salt concentrations higher than the same value. The contact angles measured on the lignite surfaces increased with increasing salt concentration. The lignite sample have a hydrophilic character, and therefore very difficult to float. Consequently, the flotation of lignite with collector and frother was not achieved to the desired extent, even using high reagent concentrations. In the absence of flotation chemicals, high concentrations of these salts also provided low flotation performances. However, the flotation of lignite could be achieved with kerosene and MIBC in the presence of inorganic salts. The flotation experiments of lignite containing ash of 25.02% showed that a concentrate with an ash content of 19% was obtained with a combustible recovery of 51.2% at 10<sup>-1</sup> M MgCl<sub>2</sub> and 8 g/dm<sup>3</sup> kerosene concentrations. In addition, it was determined that MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> salts were more effective on the lignite flotation than NaCl salt.

**Keywords:** Flotation, Flotation chemicals, Inorganic salt, Lignite

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarım da her türlü yardım ve desteğini gördüğüm, büyük sabır göstererek beni ve destekleyen ve yönlendiren, değerli hocam Prof.Dr. Alper ÖZKAN'a,

Tez çalışmam süresince bilgilerini, desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman benden esirgemeyen ve çalışmalarımın her aşamasında tecrübesinden yararlandığım değerli hocam Arş.Gör. Kiraz EŞMELİ'ye,

Bugüne kadar her konuda maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen ve her zaman yanımda olup çalışmalarım boyunca benim için her türlü fedakârlığı yapan kıymetli aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İrem ŞALGALI İLİKAY  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>iviii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Flotasyon.....	3
2.1.1. Flotasyonun gelişimi.....	3
2.1.2. Flotasyona genel bakış.....	3
2.1.3. Flotasyonun temeli.....	4
2.1.3.1. Minerallerin kimyasallar ile muamelesi.....	4
2.1.3.2. Başlıca flotasyon kimyasalları.....	5
2.1.3.3. Köpüğün oluşumu ve dayanıklılığı.....	8
2.1.3.4. Minerallerin hava kabarcığına yapışıp yüzmesi.....	9
2.1.4. Flotasyonda hidrofobik ve hidrofilikliğin önemi.....	10
2.1.5. Flotasyonda yüzey gerilimi ve temas açısı.....	10
2.1.6. Flotasyonun avantajları ve dezavantajları.....	12
2.1.7. Flotasyonun uygulama alanları.....	12
2.2. Kömür .....	13
2.2.1. Kömür oluşumu ve özellikleri .....	13
2.2.2. Kömür içerisindeki mineraller .....	15
2.2.3. Kömürün istenmeyen özellikleri.....	16
2.2.4. Türkiyede kömür rezervi .....	18
2.2.5. Kömürün flotasyonu .....	18
2.2.6. Taş kömürü ve linyitin özellikleri ve flotasyonu .....	21
2.2.7. Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler.....	21
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>40</b>
3.1. Materyal.....	23
3.2. Yöntem.....	24

<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>28</b>
4.1. Gazyağı Konsantrasyonun Linyit Flotasyonuna Etkisi.....	28
4.2. Farklı İnorganik Tuzların Varlığında Linyitin Flotasyonu.....	28
4.3. İnorganik Tuzların Linyitin Zeta Potansiyeline ve Temas Açısına Etkisi.....	29
4.4. Flotasyon Kimyasalları Varlığında Tuzların Linyit Flotasyonuna Etkisi.....	32
4.5. Gazyağı Konsantrasyonun İnorganik Tuzlar Varlığında Linyit Flotasyonuna Etkisi.....	34
4.6. MIBC Derişiminin Linyit Flotasyonuna Etkisi .....	37
4.7. Sodyum Silikat Derişiminin Linyit Flotasyonuna Etkisi.....	38
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>41</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>44</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
cm <sup>3</sup>	: Santimetre küp
dk	: Dakika
dyn/cm	: Kuvvet
g/cm <sup>3</sup>	: Yoğunluk
g	: Gram
L	: Litre
mm	: Milimetre
γ	: Yüzey gerilimi
θ	: Temas açısı
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	: Jips
CaCl <sub>2</sub>	: Kalsiyum klorür
C	: Karbon
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sülfürik asit
H	: Hidrojen
HCl	: Hidroklorik asit
KCl	: Kalsiyum klorür
M	: Molarite
MgCl <sub>2</sub>	: Magnezyum klorür
MIBC	: Metil izobutil karbinol
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	: Sodyum silikat
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri

## 1. GİRİŞ

Flotasyon, hidrofobikliği sağlanan minerallerin seçimli olarak üç fazlı (katı, sıvı ve hava) ortamdan hava kabarcıkları yardımıyla hidrofilik tanelerden ayrılmasını sağlayan, fiziko-kimyasal bir zenginleştirme yöntemidir. Bu işlem genelde diğer zenginleştirme yöntemleriyle ekonomik olarak kazanılamayan ince boyutlu ve düşük tenörlü cevherin zenginleştirilmesinde kullanılmakta olup, çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bugün Dünyada en az 100 farklı minerali içeren cevher (bakır, kurşun, çinko, nikel, gümüş, manganez, krom, kobalt, titanyum, kuvars, feldspat ve kömür vb.) flotasyon yöntemi kullanılarak zenginleştirilmektedir. Flotasyon ile zenginleştirilen bu cevherlerin özelliği şu anda dünyada kullanılan bir çok ürünün gerekli hammaddeleri olmasıdır. Bu gerçek bile flotasyonun dünyada en önemli ayırma yöntemlerinden biri olduğunu göstermektedir (Şahbaz 2006).

Flotasyon yönteminin başarılı olması için hava kabarcıklarının süspansiyon içerisindeki hidrofobik taneleri tutması ve yüzeye taşınması gereklidir. Oysa doğada sadece kömür, talk ve grafit gibi birkaç tane doğal hidrofobik (su sevmeyen) mineral bulunurken, minerallerin çoğu hidrofilik (su seven) özellik taşımaktadır. Bu nedenle süspansiyon içerisinde bu tanelerin hava kabarcığına tutulmasını sağlamak amacıyla toplayıcı (kollektör) denilen reaktiflerin katı yüzeyine adsorplanarak tanelerin hidrofobik davranış göstermesi sağlanır. Flotasyon işleminde kullanılan bir diğer reaktif ise, sistemde gerekli olan kabarcık oluşumunu sağlayan köpürtücülerdir. Köpürtücüler sıvının yüzey gerilimini düşürerek ve tıpkı toplayıcıların katı yüzeyine adsorplandığı gibi hava kabarcık yüzeyine adsorplanıp, daha küçük çapta ve stabil kabarcıklarının oluşumunu sağlarlar (Özdemir ve ark 2013).

Çevre standartları bakımından kömür içindeki kül, kükürt, nem, uçucu madde, fosfor ve alkali gibi safsızlıkların azaltılması giderek daha zorunlu bir hale gelmektedir. İstenilen özelliklerde temiz kömürün elde edilmesi kömür hazırlama/zenginleştirme yöntemleri kullanarak sağlanabilmektedir (Özdemir ve ark 2013). Kömürler genellikle mevcut tane boyutunda zenginleştirilmektedir. İnce boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde ise öne çıkan zenginleştirme yöntemi flotasyondur (Ateşok 1986). Kömür flotasyonu çeşitli fazlar (taneler, yağ damlacıkları ve hava kabarcıkları) içeren kompleks bir işlemdir (Polat ve ark 2003). Kömürler kömürleşme derecesine bağlı olarak hava sever karakter gösterebilmekte ve dolayısıyla kömürlerin flotasyonu önemli ölçüde kömürleşme derecesine bağlı olmaktadır (Laskowski 2001). Düşük ranklı

kömürler (örneğin linyit) daha su sever karakterdedir ve bu nedenle geleneksel yöntemlerle yüksek reaktif derişimlerinde bile yüzdürülmesi zor olabilmektedir. Bu durumda, ters flotasyon tekniği su severliği yüksek nitelikteki linyitler için önerilebilmektedir (Patil ve Laskowski 2008); (Zhang ve Liu 2015) . Diğer taraftan, kömür gibi doğal hava sever katıların yüzebilirliğinin inorganik elektrolitler ile iyileştirilebildiği ifade edilmiştir (Laskowski 1965); (Yoon 1982). Flotasyon işleminde çözünmüş iyonların özellikle yüksek konsantrasyonlarda çözelti ve ara yüzeyleri etkileyerek, hava kabarcıkları ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir (Hancer ve ark 2001); (Ozdemir ve ark 2007).

Bu çalışmada, flotasyon kimyasalları olarak toplayıcı ve köpürtücü madde kullanılarak ve kullanmadan, NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuzları varlığında, düşük yüzdürülebilirliğe sahip linyit kömürünün yüzdürülmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Öte yandan, yüksek ranklı kömürlerin inorganik tuzların varlığında flotasyon davranışı üzerine çok fazla veri bulunmasına rağmen, literatürde tuzlar ile linyitin flotasyon karakteristikleri üzerine sınırlı çalışma yer almaktadır. Bu nedenle, bu çalışma hem de bu özellikleri deneysel olarak belirlemeyi ve sözkonusu alandaki veri eksikliğini azaltmaya katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

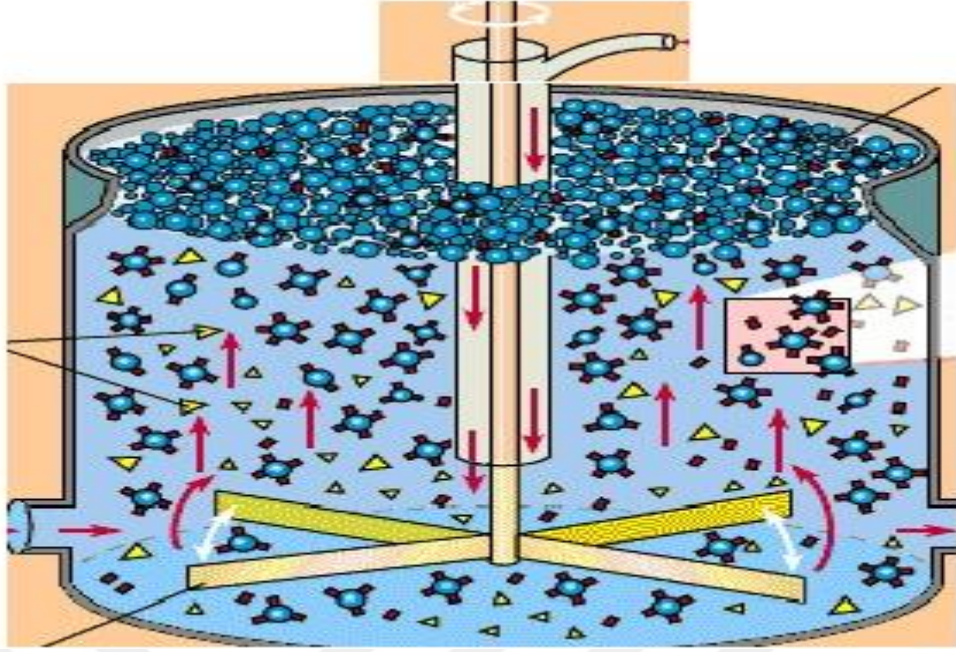
### 2.1. Flotasyon

#### 2.1.1. Flotasyonun gelişimi

Flotasyona ait ilk kayda değer buluş Froment tarafından 1902 yılında yapılmıştır. Bu keşif, su içinde meydana getirilen gaz kabarcıkların yağlanmış sülfür minerali tanelerine yapışıp suyun yüzeyine çıkmasını içermektedir. Aynı konu üzerinde çalışan Delprat ise, İngiltere’de yaptığı çalışma sonucu pülpün içinde bulunan sülfürik asidin kireç taşına etkisiyle oluşan gaz kabarcıklarından faydalanma düşüncesini ortaya atmıştır. 1906’da Elmore aldığı İngiliz patentinde yağlı mineral pülplerinde kısmi vakum meydana getirerek hava kabarcıklarından faydalanılabileceğini öne sürmüştür. Ancak bu buluşlar endüstriyel açıdan herhangi faydalı bir sonuç doğurmamıştır. 1906 yılında Sulman, Picard ve Ballot tarafından yapılan çalışmada hava kabarcıklarının pülpün kuvvetli ajitasyonu ile meydana getirilebileceği ve cevher miktarının % 1’ini geçmeyecek kadar az yağ kullanılarak flotasyon yapılabileceğini söylemişlerdir. Bu prensiplere dayanan ilk flotasyon makinesi 1910 yılında Hoover tarafından yapılmıştır. 1912-1925 yıllarında öncelikle Avustralya sonrasında Amerika’da flotasyon sanayisinde başarıyla uygulanmıştır. 1918 yılında ise Welsh flotasyon pülplerine basınçlı hava vermek düşüncesini öne sürmüştür. Hunt ve Forrester ve ardından Callow basınçlı hava kullanan flotasyon makinelerini icat etmişlerdir (Kaya ve Laplante 1986).

#### 2.1.2. Flotasyona genel bakış

Flotasyon, ekonomik değere sahip mineralleri yüzdürmek suretiyle yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Yani bu zenginleştirme yöntemi, yağ usulle çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemle, cevherlerin zenginleştirilmesi, değerli mineral tanelerini değersiz mineral tanelerinden ayırıp sıvı üzerinde oluşturulan köpükte toplamak, değersiz minerali ise sıvı içerisinde bırakılarak sağlanır. Flotasyon yoluyla zenginleştirmede maksimum 200 mikrometre tane iriliği, değirmenlerde meydana gelen şlam iriliği de minimum sınırı teşkil eder. Genellikle düşük randıman şlam boyutundaki tanelerden kaynaklanmaktadır. Flotasyon, geçmişten günümüze kadar ciddi ilerleme aşamaları geçirmiş ve neticede modern flotasyon işlemi, yani “Köpük Flotasyonu” sistemi bulunmuştur. Köpük flotasyonu dışında, farklı flotasyon metotları uygulama alanı bulmuş olsa da günümüzde flotasyon deyiminden köpük flotasyonu anlaşılmaktadır (Gu ve Wills 1988); (Aytekin ve ark 1988).



Şekil 2.1. Flotasyon oluşumu

### 2.1.3. Flotasyonun temeli

Flotasyonda meydana gelen olaylar kimyasal, fiziksel ve kolloid kimyası kapsamına girer ve bunlar özellikle yüzey olaylarıdır.

Teknik bakımdan flotasyon 3 kısma ayrılır

- Minerallerin kimyasallar ile etkileşimi
- Hava kabarcığı üretimi
- Minerallerin hava kabarcıklarına yapışıp yüzmeleri

#### 2.1.3.1. Minerallerin kimyasallar ile etkileşimi

Kimyasal yöntemin amacı istenilen minerali yüzebilir hale getirmek, istenmeyen minerallerin ise yüzmesini engelleyecek şartları sağlamaktır. Minerallerin yüzebilmesi bu minerallerin yüzeyinin su ile ıslanmaması özelliğine bağlıdır. Bir mineralin ıslanmama özelliği mineralin yüzey moleküllerin özelliklerine göre değişir; yani bu moleküllerin polar olup olmasına bağlıdır. Polar moleküller veya molekül grupları bünye bakımından iyonlardan meydana gelmektedir. Islanan minerallerin yüzeyleri polar yapıya sahiptir ve flotasyona elverişli değildir. Islanmayan minerallerin yüzeyleri ise polar yapıya sahip değildir ve flotasyona daha uygundur.

Polar olmayan mineraller hava kabarcığı tarafından iyice kavranır. Temas açısı bir mineralin flotasyona uygunluğunun ölçüsüdür. Yani temas açısının büyük olması, flotasyonda yüzme olayını kolaylaştırmaktadır. İstenilen mineralin yüzülebilir hale getirmek diğer minerallerin ise yüzmesini engellemek için flotasyondan önce ince taneler kimyasallarla karıştırılır. Sonrasında bu karışım flotasyon hücresine beslenir (Bulut ve Göktepe 2012).

### 2.1.3.2. Önemli flotasyon kimyasalları

- Toplayıcılar
  - Düzenleyiciler
    - pH düzenleyicileri
    - Aktifleştiriciler
    - Pasifleştiriciler
  - Koruyucular
  - Köpürtücüler
- olarak kısımlara ayrılır (Bulut ve Göktepe 2012).

#### **Toplayıcılar (Kollektörler)**

Öncelikle toplayıcıların etkili olabilmesi için suda çözünmeleri gerekir. Toplayıcıların görevi, mineralin yüzeyini değiştirerek hidrofobik hale getirmektir. (Ethem 1961).

Toplayıcılar başlıca iki gruba ayrılır:

- Katyon aktif grubu
- Anyon aktif grubu

Esas olarak katyon aktif grubu oksit flotasyonunda kullanılırken, anyon aktif grubu ise sülfür flotasyonunda kullanılır. Toplayıcıların polar ve apolar kısımları vardır ki, hidrofobiklik oluşumunda etkili olan kısım, apolar yapıdır (Ethem 1961).

Minerallerin toplayıcı tarafından kuşatılması;

- Minerallerin toplayıcıyı adsorbe etmesi,
- Mineral yüzeyini hidrokarbon tabakasıyla kaplaması ve mineralin hava kabarcığına yapışması,

sonucunda meydana gelmektedir. Hava kabarcığı ve mineral yüzünü kaplayan bu hidrokarbon tabakası ile arasında büyük bir adhezyon kuvveti vardır (Ethem 1961) .

### **Düzenleyiciler**

**1) pH düzenleyicileri:** Seçimli flotasyonda cevheri oluşturan mineralleri sırasıyla kazanmak için ortamın pH'ı değiştirilerek sağlanmaktadır. Karışık bir olay gibi görünse de, aslında ortamdaki serbest  $H^+$  iyonu konsantrasyonunun değiştirilmesinden meydana gelir. Yani, ortamın pH'nı asidik veya bazik yapmaktır. Distile suyun, pH değeri 7'dir, yani ortam nötrdür.  $pH < 7$  ise ortam asidik,  $pH > 7$  oluşu ise ortamın bazik olduğunu ifade eder. Flotasyon esnasında pH, devrenin bir noktasında sürekli ölçülür ve kontrol altında tutulur. Minerallerin flotasyon davranışlarına göre asidik ve bazik ortamda çalışmak gerekebilir. Böyle durumlarda ortamın pH'ı artırılır veya azaltılır. pH'ı artırmak için genellikle NaOH azaltmak için ise  $H_2SO_4$  kullanılır. pH etkeni ile flotasyonda kullanılan kollektör arasında yakın bir ilişki vardır. Yani belirli pH kademesinde, belirli bir kollektör konsantrasyonuna gerek duyulur (Bulut ve Göktepe 2012).

**2) Aktifleştiriciler:** Flotasyon işlemlerinin bazılarında kullanılan kolektörler bazı minerallerin yüzeyini değiştiremezler. Dolayısıyla mineral kazanmak isteniyorsa, yardımcı kullanılarak kollektör ile mineralin bir yüzey teşkil etmesi sağlanır. Bu amaç için ise “aktifleştiriciler” kullanılır. Aktifleştirme olayının prensibi, sfaleritin bakır sülfat ile aktifleştirilmesi olayı ile açıklanır. Çoğunlukla sfalerit minerali uzun zincirli organik kollektörler ile yüzdürülse de sfalerit bakır sülfat ile muamele edildikten sonra organik kollektörlerle çok daha kolay yüzdürülmektedir. Bu işlemde bakır sülfatla sfalerit kimyasal bir reaksiyon yapmakta ve sfaleritin yüzünde kovellin mineraline özdeş bir zar oluşmaktadır. Bunun gibi bakır sülfat birçok minerali de aktifleştirmektedir (Ethem 1961).

**3) Bastırıcılar (Pasifleştiriciler):** Flotasyon işleminde değerli mineralleri yüzdürürken değersiz mineralleri bastırmak için kullanılan reaktiflerdir. Bastırma işlemi daimi veya geçici olmak kaydıyla amacına göre değişir. Bunun için ise ayrı reaktifler kullanılır. Mesela daimi çöktüren reaktifler cam suyu, sönmüş kireç, laktik asit vb. dir (Ethem 1961).

**4) Koruyucular:** Bunların amacı flotasyon olayına engel olan maddeleri zararsız hale getirmektir. Flotasyona engel olan unsurlar “flotasyon zehirleri”dir. Bunlar ya cevherle beraber devreye girmekte ya da kullanılan suda doğal olarak bulunmaktadır. Flotasyon sularında genellikle humin asidi bulunur ki bu asit, bitki köklerinin ürettiği bir maddedir ve flotasyon olayına engel olmaktadır. Şlam tanecikleri mineral taneciklerinin yüzünü çepeçevre sardığından dolayı kollektörler görevini yapamamaktadır. Ferrik ve alüminyum tuzları ise flotasyona durdurucu etki gösterirler. Koruyuculardan beklenen, bu durumlara engel olmaktır. Bu sorunlara karşı ise alkaliler kullanılır. Cam suyu hem çamur bastırıcı hem de iyi bir koruyucudur. Çamur bastırmada kullanılan koruyucuların iyonları, çamur zerrelere elektrik yüküyle zıt işaretle olmalarından dolayı, bu reaktifler devreye girince, çamur zerrelere yapışmakta ve ufak yumaklar halinde çökmektedirler. Bu şekilde faydalı mineral tanecikleri de serbest kalır (Ethem 1961).

**5) Köpürtücüler:** Flotasyonda gerekli olan köpük sadece temiz su ile sağlanılamamaktadır. Köpük oluşturmak için belirli miktarda köpürtücü kullanmak gerekir. Köpürtücülerin başlıca görevi flotasyonda kullanılan suyun yüzey gerilimini azaltmaktır. Dolayısıyla, mineral taşıyan hava kabarcığı su yüzeyine çıktıkları zaman dağılmadan bir köpük yığını oluşması söz konusudur. Yüzey gerilimi azalmadığı durumlarda ise yüzeye çıkan bir hava kabarcığı sert bir zemine çarpmış gibi olmakta ve patlayarak taşıdığı minerali bırakmaktadır. Köpürtücüler, kompleks moleküllere sahip organik maddelerdir. Molekül yapıları polar ve apolar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Köpürtücü molekülleri ise heteropolar yapıya sahiptir. Bu kutuplardan birinin havaya diğerinin ise suya karşı ilgisi yüksektir. Bu şekilde ıslanmayan parça en üst tarafında toplanan hidrokarbon grubundan oluşmaktadır. Bu yüzeyin hidrokarbon grubuyla kaplanması, bu kısımda hava kabarcıklarının suyun en üst tabakasından kolaylıkla geçip su-hava ara yüzeyine istenen özellikte varmasına yardım edecek elastikiyeti teminini sağlamaktadır. Eğer köpürtücü suda fazla çözünüyorsa köpüğü zayıf olabilir. Çünkü ıslanmayan hidrokarbon grubu, suyun içinde kalmakta ve bu sebeple su yüzünde toplanmamaktadır. Eğer köpürtücü suda çok az çözünüyorsa, suyun yüzüne toplanacak ve istenilen elastikiyeti verecek yeterli hidrokarbon grubu mevcut olmayacaktır. Köpürme olayında köpürmenin maksimum olduğu bir an vardır ve ortam köpürtücüye doyduğu an köpürme durmaktadır. Ortamdaki yüzey gerilimi ile köpürtücü konsantrasyonu arasındaki bağıntı, konsantrasyon yükseldikçe yüzey gerilimi azalmaktadır.



Yukarıda bahsedildiği gibi, ortam köpürtücüye doydugu an köpürme durmaktadır. Yüzey geriliminin düşük olması istenilen bir durum olmakla birlikte, flotasyona en uygun durum maksimum köpürme anıdır. Bu noktada köpürtücü dozunu sabit tutmak gerekmektedir. Bu zorunluluk ise kullanılan köpürtücü miktarını sınırlandırır. Genel olarak kollektörler ile köpürtücülerin birbirini takiben ayarlı olması istenir. Yani, hangi kollektörde ne miktar ve cinsten köpürtücü kullanılacağına bilinmesi gereklidir (Ethem 1961).

### **2.1.3.3. Köpüğün oluşumu ve dayanıklılığı**

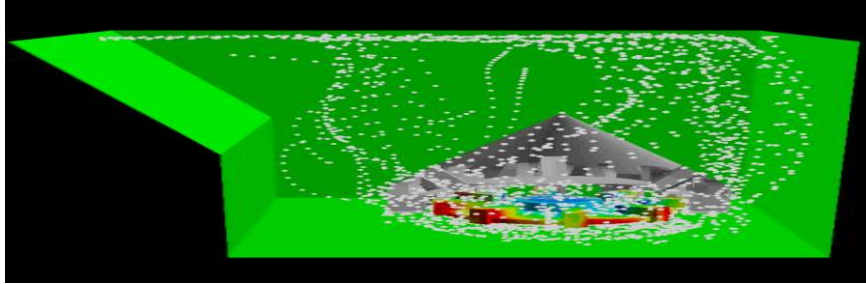
Köpük, havanın su içinde dağılıp oldukça dayanıklı bir durumda kabarcıklar meydana getirilmesidir. Havanın su içinde dağılması basınçlı hava vermekle veya mekanik ajitasyonla sağlanır.

Köpük özellikleri; dayanıklılık, kabarcıkların büyüklüğü, sık veya seyrek oluşu elastikiyet gibi köpüğün özellikleri suda “yüzeğe etki eden” cinsten maddelerin bulunmasıyla alakalıdır. Suyu az miktarda karıştırıldıkları zaman suyun yüzey gerilimini değiştiren maddeler, yüzeğe etki eden maddelerdir. Bu maddeler su yüzeyine adsorbe olurlar ve hava-su ara yüzeyinde bulunmaları köpüğe dayanıklılık ve elastikiyet verir. Flotasyon için aranan köpük özellikleri de bunlardır. Bu maddelere köpürtücü reaktifler denir. Bu maddeler kullanılmadığı zaman hava kabarcıkları su yüzeyine çıktığı anda patlar (Ekmekçi ve Şahin 2006).

Köpüğün flotasyon işlemi için belli bir dayanıklılığının olması gerektiği gibi makineden alındıktan sonra ise patlaması istenmektedir. Uzun süre patlamayan ve dayanan köpük flotasyondan sonraki işlem makinelerinde (filtrelerde ve çöktürme tankı) zorluklar yaratır. Birbirine sık olarak bağlanmış küçük kabarcıklı köpük ile büyük flotasyon verimi elde edilir. Böyle bir köpük yapısı köpüğü saran minerali daha rahat taşınmasını sağlamakla birlikte çökerek pülpe karışmasını önler. Diğer yandan, gevşek yapılı ve büyük kabarcıklı köpük taşınan gang parçalarının kolayca çökmesine sebep olarak saha yüksek tenörlü konsantre eldesine imkan sağlar (Ekmekçi ve Şahin 2006).

Köpüğün dayanıklılığı, hacmi, yapısı, kullanılan toplayıcı, köpürtücü ve kontrol reaktifleri miktarına ve tipine bağlı olarak değişir. Flotasyon cihazının tipi, katıların cinsi ve öğütme derecesi köpük karakterini etkiler. En çok kullanılan köpürtücü reaktifleri; çam yağı, kresilik asit (kömür katranından elde edilir), propilen, vb. dir.

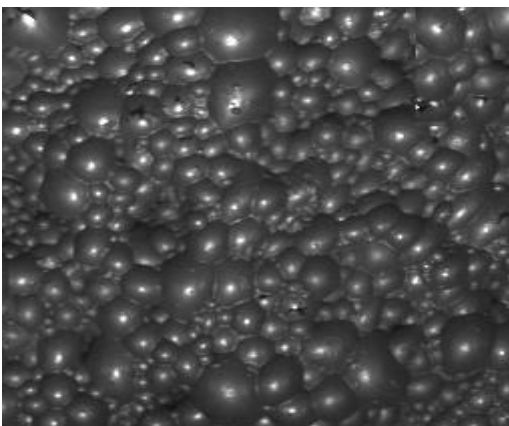
Köpürtücü reaktifı toplayıcı özelliğine sahip olmamalıdır ve ekonomik olarak uygun olmalıdır. Flotasyonda hava kabarcığı üretimi flotasyon makinesinin tipine bağlı olarak çeşitli şekillerde olabilmektedir (Hacıfazlıoğlu 2007).



Şekil 2.2. Mekanik hücrede kabarcık üretimi

#### 2.1.3.4. Minerallerin hava kabarcıklarına yapışıp yüzmesi

Bir flotasyon işleminde mineral taneleri, pülpün içinde dağılmış şekilde olan hava kabarcıkları ile sürekli temas halindedirler. Flotasyona elverişli olan yani ıslanmayan her tane hava kabarcığının yüzeyine yapışma eğilimi göstermektedir. Yapıştığı zaman bir kısmı hava ile geri kalan kısmı da su ile temas halindedir. Böylece hava-su, hava-mineral, su-mineral ara yüzeylerinin birbirini kestiği bir hat meydana gelir. Üç faza sınır olan bu hat üzerinde bu üç ara yüzeyin yüzey gerilimleri hem kendi aralarında hem de suyun basıncı ve yerin çekim kuvveti gibi diğer kuvvetlerle denge halinde olurlar. Yani kısacası su içerisindeki tanecikler kimyasallarla hidrofobik hale getirilir ve ardından kabarcıklar oluştuğundan sonra tanecik-kabarcık çarpışması ile askıda tutulmalıdır (Hacıfazlıoğlu 2007).



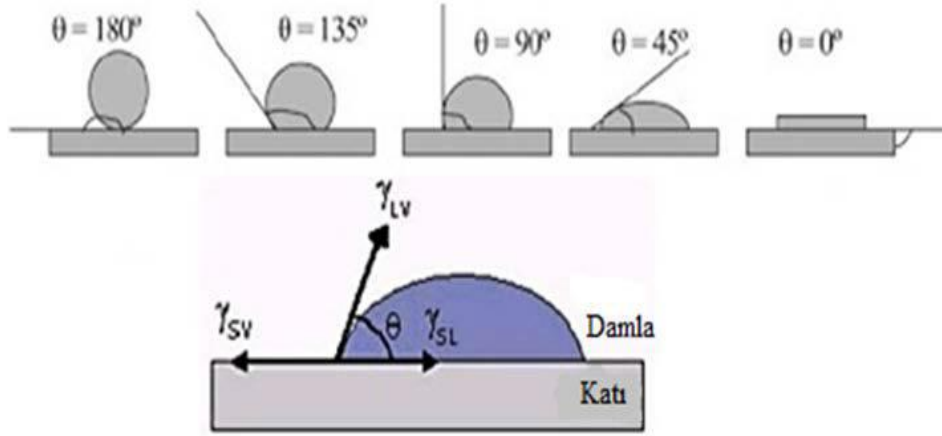
Şekil 2.3. Minerallerin kabarcığa yapışması

#### **2.1.4. Flotasyonda hidrofobik ve hidrofilikliğin önemi**

Flotasyonda kolay yüzebilen tanecikler, hidrofobik özellik gösterenlerdir. Hidrofobik olmayan mineral taneciklerinin yüzdürülebilmesi için mineral taneciklerinin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde ise tanecik çöktürülmek isteniyorsa hidrofilik yapmak gerekir. Hidrofobik tanecikler hava kabarcığı tarafından yakalanırlar. Hava kabarcığı, tane yüzeyinden alınmak istenirse, bir dirençle karşılaşılır ki, bu hidrofobik yüzey ile hava arasındaki adhezyon kuvvetinin varlığını gösterir. Yani, flotasyon işleminde mineral taneciği adhezyon kuvveti sayesinde sıvı yüzeyine taşınmaktadır. Hidrofilik özelliğe sahip minerallerde ise, hava ile tanecik arasında adhezyon kuvveti olmadığından, mineral kabarcık tarafından kavranamamakta ve dibe çökerek yüzme olayına katılamamaktadır. Temas açısının küçük veya büyük olması, mineral taneciğinin kavranmasını etkilediğinden, yüzdürme işleminde tanenin iyi kavranması gereklidir. Temas açısının büyük olması yüzme olayını kolaylaştırmaktadır. Flotasyon olayının devamlı ve düzgün olması için, ortama köpürtücü ilave edilir ve mekanik yolla karıştırmak şartıyla köpük oluşumu sağlanır. Ortama flotasyon reaktifleri ilave edilmesiyle hava kabarcıkları tarafından mineral tanecikleri yakalanarak yüzeye taşınması sağlanır. Flotasyon reaktifleri, besleyiciler vasıtasıyla ortam şartlarını istenilen şekilde ayarlamak ve aynı şekilde tutmak amacıyla devreye muntazam olarak verilir. Bu şartlar sayesinde flotasyon olayının, düzenli bir şekilde devamı sağlanır (Gülsoy 1999).

#### **2.1.5. Flotasyonda yüzey gerilimi ve temas açısı**

Flotasyon yönteminde, minerallerin fizikokimyasal yüzey özellik farklılıklarından yararlanılmakla birlikte tane hidrofobisitesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Hidrofobisite, bir mineralin hava-severliğinin ölçüsü olup, çoğunlukla temas açısı ( $\theta$ ) ile değerlendirilir. Üçlü faz sisteminde (Katı, sıvı ve hava) sıvının parlatılmış veya preslenmiş katı yüzeyinde oluşturduğu statik haldeki açı, temas açısı olarak ifade edilir. Temas açısının artması durumunda katı yüzeyi, sıvı tarafından ıslatılmamakta dolayısıyla katı yüzeyi hidrofobik olarak ifade edilmektedir. Temas açısının yüksek olması, katının daha hidrofobik olduğunu gösterir (Düzyol 2016).



Şekil 2.4. Flotasyonda temas açısı

Yüzey gerilimi ( $\gamma$ ), iki faz arasındaki ara yüzeyin birim miktarda artışı ile yapılan tersinir iş şeklinde tanımlanmaktadır.

Bir sıvının molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti, moleküllerin her yöne doğru çekilmesini sağlar. Ancak sıvı yüzeyinde (hava ile temas eden yüzeylerinde), karşı kuvvetler olmadığından, moleküller sıvının içine doğru çekilmeye çalışılır (adhezyon kuvveti). Bu durum, hava ile temas eden yüzeyin mümkün olduğunca küçülmesine ve küre şeklini almasına dolayısıyla yüzey alanının minimum duruma gelmesine neden olur. Sıvının yüzey alanını küçültme gayretine, yüzey gerilimi denir (Birdi 2009).

Bir sıvının yüzeyinin genişletilmesi amacıyla, molekülleri yeni yüzeye itmek için bir iş yapılmış olur. Bunun için de bir enerji harcamak gerekir. Bu da dyn/cm veya mN/m olarak ifade edilir (Birdi 2009).

Statik haldeki katı yüzeyinde bulunan sıvı damlacığının oluşturduğu temas açısı, ilk olarak Thomas Young (1805) tarafından ara yüzey gerilimleri ile ifade edilmiştir. Üç fazın (katı, sıvı ve hava) dengede olduğu durumda ara yüzey gerilimleri toplamı sıfıra eşit olmakta ve temas açısı aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$\cos \theta = (\gamma_{KH} - \gamma_{KS}) / \gamma_{HS} \quad (2.1)$$

Burada;  $\gamma_{KH}$ ,  $\gamma_{KS}$  ve  $\gamma_{HS}$  sırasıyla katı-hava, katı-sıvı ve sıvı-hava ara yüzey gerilimlerini ifade etmekte olup, eşitlik “Young Eşitliği” olarak bilinmektedir (Young 1805).

Ölçülebilir bir büyüklük olan yüzey gerilimi, kullanılan kimyasal reaktifler varlığında kolayca değişebildiğinden cevher zenginleştirme işlemlerinde temas açısı kadar önemlidir (Düzyol 2016).

### 2.1.6. Flotasyonun avantajları ve dezavantajları

#### Flotasyonun avantajları şunlardır;

- Çok ince taneli cevherlerin zenginleştirilebilmesi
- Flotasyon ile zenginleştirmede minerallerin yoğunluk farkının önemli olmaması.
- Sonuç ürün tenörünün istenildiği gibi kontrol edilmesi
- Kompleks cevherlerin zenginleştirilmesi

#### Flotasyonun dezavantajları şunlardır;

- Manyetik ve gravite ayırma yöntemlerine göre pahalı olması
- Çevre kirliliğine neden olması
- Bazen cevheri aşırı öğütmek gerektiği için şlamda metal kaybının fazla olması ve öğütme giderlerinin artması

### 2.1.7. Flotasyonun uygulama alanları

Günümüzde her yıl milyarlarca ton ince boyutlu malzemenin flotasyon işlemine tabi tutulduğu tahmin edilmektedir (Yalnızca kömürde 142 milyon ton). Endüstride kullanılan hammaddelerin tane boyutunun incilmesiyle flotasyonun önemi de gün geçtikçe artmaktadır (Atak 1990). Flotasyon yönteminin uygulama alanlarından bazıları örnek olarak aşağıda verilmiştir.

- **Kömür zenginleştirme** ; Taşkömürü, linyit; kül ve kükürt giderme
- **Cevher zenginleştirme** ; Bakır, kurşun, çinko, gümüş, platin, altın, demir, krom, vb.
- **Endüstriyel hammadde zenginleştirme** ; Talk, kükürt, bor, feldspat vb.
- **Proses sularının arıtılması** ; Endüstriyel çamurlardan ağır metallerin nikel ve çinko gibi zehirli iyonların giderilmesi
- **Artık suların ve evsel lağımın arıtılması** (DAF yöntemiyle)

- **Organiklerin sudan uzaklaştırılmasında;** Algler ve askıda katılar.
- **Naylon malzemedeki plastiklerin kazanılması.**
- **Geri dönüşümlü kağıtlardan mürekkeplerin uzaklaştırılmasında**
- **Fotoğrafçılık sektöründe.**
- **Besin teknolojisinde;** süttten yağın uzaklaştırılması, etten proteinlerin toplanması gibi.
- **Artık pil teknolojisinde;** (ağır metallerin toplanması)
- **Toprakların yıkanması :** zehirli ve hidrofobik kirleticilerin uzaklaştırılmasında (Atak 1990)



Şekil 2.5. Endüstriyel ölçekte bazı uygulama görüntüleri

## 2.2. Kömür

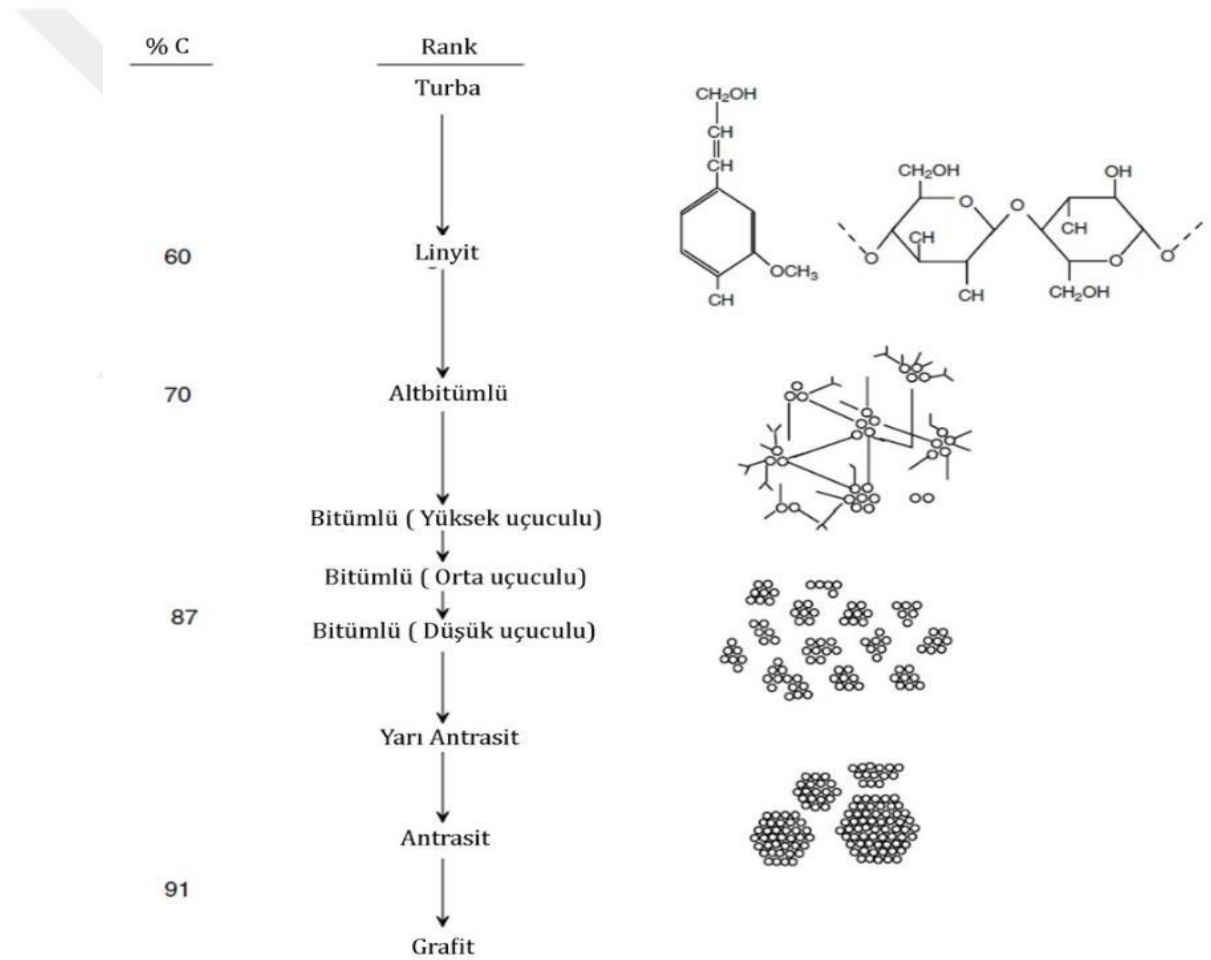
### 2.2.1. Kömür oluşumu ve özellikleri

Kömür başlıca hidrojen, oksijen ve karbon, gibi elementlerin bileşiminden oluşup, yanabilen sedimanter bir kayadır. Damar halinde diğer kaya tabakalarının arasında milyonlarca yıl basınç, ısı ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda oluşur. Bitkilerin kömüre dönüşümü sırasında meydana gelen olayları 2 grupta incelemek mümkündür (Ateşok 2009).

1. Turbaların oluşumu
2. Turbaların kömüre dönüşümü

Bitkisel artıkların kömüre dönüşümüne, kimyasal açıdan bakıldığında, organik bağlara sahip karbon atomlarının ana kütle içerisindeki oranının artması olarak ifade edilmektedir (Wills ve Napier-Munn 1997).

Bataklık bölgelerde bozunmuş bitkilerden oluşan gevşek yapıların birikmesiyle ve devamında üzeri taşınma yoluyla çamur, kumtaşı ve şist gibi malzemelerle kaplanarak, sıcaklık ve basıncın artmasıyla beraber kömür oluşumunun erken evrelerinden olan turba oluşur. Belirli bir süreç sonunda turbalar değişim geçirerek kömür haline dönüşür. Bu dönüşümün derecesi kömür rankı olarak ifade edilir. Yani, kömür rankı genellikle kömürü oluşturan organik yapının kimyasal ve yapısal bozunma derecesini açıklamaktadır. Kömürdeki kimyasal ve yapısal değişimlerin hesaba katılmasıyla, bütün kömürler, elementer karbon içeriğine göre sıralanmaktadır ve en yüksek rank (antrasit) neredeyse tamamen karbon içerirken düşük rank (linyit), metamorfizmanın zayıf olduğunu göstermektedir (Wills ve Napier-Munn 1997).



Şekil 2.6. Kömürleşme süreci (Barnes 1984).

### 2.2.2. Kömür içerisindeki mineraller

Kömürlerin içerisinde yaklaşık 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemlileri; karbonatlar, killeri ve demir mineralleridir. Diğerlerinin büyük çoğunluğu ise % 1'in altındadır (Özdoğan ve Ünver 1998).

#### Kil mineralleri

Kil mineralleri kömürlerde ara katmanlarda bulunur. Bu katmanların kalınlığı 1-2 mm'den 10 cm'ye kadar varabilir. Genel olarak minerallerin % 60-80'ini oluşturmasından dolayı en çok gözlenen mineral grubudur. Kömürler, hacimsel kil, kömür oranlarına göre sınıflandırılır. % 20'ye kadar kil içeren mikrolitotiplere killi kömürler, % 20-60 oranında kil içerenlere karbarjilit denir. Birincilerin yoğunluğu 1.5 gr/cm<sup>3</sup>'ten ikincilerin 2 gr/cm<sup>3</sup>'ten küçüktür. Yoğunluğu 2 gr/cm<sup>3</sup>'ten büyük olanlara, kömürlü kil denir. Killeri, karbarjilitler ve kömürlü killeri suyun etkisiyle şişebilirler (Özdoğan ve Ünver 1998).

Kömürle karışık şekilde bulunan killeri üç türe ayrılır:

- a) Kaolen kömürlü kil taşı
- b) Karmaşık yaygılı kömürlü kil taşı
- c) İllit kömürlü kil taşı

#### Karbonatlar

Kömürün içeriğinde bulunan siderit, kalsit, dolomitin yanı sıra magnezyum kalsiyum ve manganın çeşitli karmaşık karbonatları da kömürün içerdiği önemli bileşenlerdendir. Karbonatlar birincil veya ikincil kökenli olabilirler. Birincil kökenli olanlardan en çok görüleni siderittir. Siderit ısınsal veya yuvar yapısındadır. Dolomit genellikle deniz ilerleme süreçlerinde oluşur. Kömür topları veya biçimli kristaller şeklindedir. Kalsit ise daha çok ikincil kömürleşme evresinde kırık ve çatlaklarda oluşur (Özdoğan ve Ünver 1998).

#### Silikatlar ve diğer mineraller

Silikatlar çoğunlukla kuvars şeklinde bulunmaktadır. Diğer silikat ve mineraller az oranlarda izlenmekle beraber kuvarslar mineral maddelerinin yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Silikatlar içinde killerden sonra en önemlisi kuvarstır. Kuvars genelde eğer taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller şeklinde bulunur, bataklık suyunda



çözünmüş silisin uygun şartlarda çökelişi ile oluşmuş ise mini kristalli veya kalsedon biçiminde gözlenir (Özdoğan ve Ünver 1998).

### **Tuzlar**

Genellikle kömürde sülfat, klorür, ve nitrat tuzlarıyla karşılaşılır; bunlardan en sık gözlenen jipstir. Çatlak ve kırık dolgusu görünümünde olmakla beraber ikincil kökenlidirler (Özdoğan ve Ünver 1998).

### **2.2.3. Kömürün istenmeyen özellikleri**

#### **Kömür nemi**

Kömürler ocak çıkışında kömürleşme derecelerine göre belirli oranlarda nem içerirler. Taş kömürü ve antrasitlerin % 1-2 civarında, sert linyitler de % 10-35 arasında, yumuşak linyitler % 35-75, turbalar ise % 75'in üzerinde nem içerirler (Kural 1998).

Kömür nemi, suyun kömür bünyesinde bulunuş şekline göre, iç nem ve yüzey nemi olmak üzere, 2 gruba ayrılır.

#### **İç nem:**

- Kılcal kapiler nem
- Kaba kapiler nem

#### **Yüzey nemi:**

- Taneler arası nem
- Adhezyon nemi
- Adsorbsiyon nemi

#### **Kömür külü**

Kömür içerisinde bulunan inorganik maddeler, yanma sırasında, kalsinasyon, oksitlenme ve kavrulma reaksiyonlarına uğrayarak, geride oksitlerden oluşan bir artık kalmaktadır. Bu artığa kömürün külü denilmektedir (Kural 1998).

Kül, kimyasal bileşim olarak alüminyum, silisyum ve demir oksitlerden oluşur. Kömürlerde harici kül (üretim külü) ve bünye külü olmak üzere iki tür kül bulunur. Harici kül, kömürü oluşturan bitkilerden başka kömüre karışan yabancı unsurlardır. Bu unsurlar, kömüre, kömürleşme sırasında karışabileceği gibi kömürleşmeden sonra da kömür damarları içinde bulunan çatlak ve kırıklara yerleşebilir. Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürlerdeki toplam külün % 2-3'lük kısmını oluştururlar (Kural 1998).

Kömürün içerisinde yabancı maddeler ise kil, kireçtaşı, şist, kumtaşı, vb. olabilir. Bunlar, damarlar ve tabakalar halinde bulunabileceği gibi, kömür içinde mikroskobik parçalar halinde de bulunur. Yabancı maddeler, kömüre, üretim sırasında ve taban, tavan ve yan taşlarından da karışabilir. Bunların hepsi harici külü oluştururlar. Harici kül kömür yıkama yöntemleriyle belirli oranda azaltılabilirken, bünye külü, kömürlerden yıkama yöntemiyle uzaklaştırılmaz (Kural 1998).

Kömür külü aşağıda verilen olumsuzluklara neden olmaktadır:

- Kül oranı arttıkça, kömür yanıcı madde oranı azalmakta ve buna bağlı olarak, kömürün ısı değeri düşmektedir.
- Kömür uzun mesafelere taşındığından dolayı, kül de beraber taşınacağından nakliye masrafı da artmaktadır
- Yüksek kül, kömür veya kok kullanan reaktörlerin kapasitelerinin düşmesine neden olmaktadır.
- Yüksek kül, yüksek fırında spesifik kok tüketimini artırmaktadır.
- Kül oranı arttıkça kömürün yanması güçleşmekte ve belirli bir kül oranından sonra tamamen durmaktadır. Çok küllü kömür, termik santrallerde stabil olarak yakılamamakta ve çok küllü iri kömür parçaları yakıldığında ise, ortada yanmamış kısımlar kalmaktadır

### **Kükürt**

Bütün kömürler, çok az miktarlarda da olsa kükürt içerirler. Kömürlerde bulunan kükürt üç şekilde olabilir. Bunlar: İnorganik, organik ve sülfat kükürdü şeklindedir. Bazı kömürlerde ise elementer kükürtle karşılaşmıştır. Organik kükürdü fiziksel yöntemlerle uzaklaştırmak mümkün değildir. Çünkü kömürün, organik materyalinin bir parçasıdır. Sülfat kükürdü ise kömürde çok az bulunur. Piritik kükürt ise pirit ve

markasit minerallerine bağlı olarak bulunmakla birlikte ve kömürden serbestleştiği takdirde flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden temizlenebilir (Kural 1998).

#### **2.2.4. Türkiye’de kömür rezervi**

Ülkemizin kömür rezervlerinin büyük bir çoğunluğunu linyitler oluşturmaktadır. Yüksek ranklı kömürlerimizin görünür rezerv toplamı 1.3 milyar ton iken linyitler için bu değer 13.8 milyar ton civarındadır (TKİ, 2014).

Ülkemizdeki yüksek kaliteli kömür (taş kömürü) rezervlerimizin önemli bir kısmı, Zonguldak havzasında bulunmaktadır ve bu havzadaki rezervin tamamı Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) tarafından işletilmektedir (TTK, 2015).

Linyit rezervlerimizin ise, önemli bir kısmı Afşin-Elbistan bölgesinde bulunurken, geriye kalan rezervler Ege ve İç Anadolu bölgeleri ağırlıklı olmak üzere bütün bölgelere dağılmış halde bulunmaktadır. Genel olarak Türkiye’deki linyit kömürü yatakları, Alp Orojenezi’nin etkisiyle oluşmuş dağ silsilelerinin arasında sıkışan çöküntü havzalarında, farklı çökelim yaşlarına sahip olarak gelişmişlerdir (Ersin 2006).

Ülkemizde, enerjide dışa bağlılığın giderek artması yanında enerjinin pahalı oluşu yerli kaynaklara daha fazla yönlenmesini gerektirmektedir. Buna bağlı olarak da linyitlerimizin; yerli bir kaynak olması ve hemen her bölgede bulunması nedeniyle enerji tüketiminde daha fazla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu anlayışla 2005 yılında ‘‘Linyit Rezervlerimizin Geliştirilmesi ve Yeni Sahalarda Linyit Aranması’’ projesi ile Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) koordinatörlüğünde arama çalışmalar hız kazanmıştır. Bu alışmalar neticesinde; Afşin-Elbistan havzasında 1.9 milyar ton, Konya-Karapınar havzasında 1.28 milyar ton, Eskişehir-Alpu’da 275 milyon ton, Trakya havzasında 598 milyon ton ve Soma-Eynez havzasında 170 milyon ton olmak üzere toplam 4 milyar tonun üzerinde rezerv artışı sağlanmıştır (TKİ, 2009).

#### **2.2.5. Kömürün flotasyonu**

Hidrofilik mineral tanecikleri kırıldığında oluşan yeni yüzeylerin ıslanmaları kolay olur. Hidrofobiklerin ise su ile etkileşimi zayıftır, zayıf kimyasal bağlara sahip mineral taneciğinde oluşan yeni yüzeylerin su ile etkileşimi de zayıf kalmaktadır. Doğal hidrofobik olarak bilinen bazı mineraller doğrudan flotasyona uygunken, hidrofiliklerin ise yüzdürülebilmesi için yardımcı reaktiflere gerek duyulur (Pawlik ve Laskowski 2003).

Kömürün organik kısmı çoğunlukla hidrofobik özellik gösterir. Kömürün bu organik kısmı temiz kömür olarak kazanılmaya çalışılır. Kömürün inorganik kısmı ise hidrofilik özellik göstermekle beraber flotasyonda artık olarak tanımlanmaktadır. Kömür flotasyonunun temeli, kömürdeki organik yapının seçimli olarak hava kabarcıklarına yapışmasına dayanmaktadır. Seçimlilik, taneciklerin hava kabarcığına yapışma özelliğine ve tanecik-su etkileşiminin gücüne bağlıdır (Pawlik ve Laskowski 2003).

Kömür çoğunlukla gevrektiler ve bu özelliğinden dolayı işlenmesi sırasında yüksek miktarda ince tanecik oluşmasına sebep olur. Kömür hazırlamada işlemlerinde kömürün ince boyutlara kadar öğütülmesinden mümkün olduğu kadar kaçınılmaktadır. Tanecik boyutu 0.5 mm'den küçük olan ince kömürlerin ağır ortam ile zenginleştirilmesi oldukça verimsizdir (Laskowski 2001).

Yapılan tahmini hesaplamalara göre; üretilen kömürün % 20-40'ı jig veya ağır ortam gibi fiziksel zenginleştirme süreçlerinden geçerken, ince kömürler ise flotasyon yöntemi kullanılarak zenginleştirilmektedir (Pawlik ve Laskowski 2003); (Jia ve ark 2000).

İnce boyutlu kömür kazanımı; başta Çin olmak üzere, Hindistan Avustralya, Rusya, ABD, Kanada'da genellikle flotasyon yöntemi kullanılarak kömür kazanımı gerçekleştirilirken, ülkemizde artık olarak depolanmaktadır (Kelebek ve ark 2008) Kömür flotasyonunun uygulanmasında birçok zorlukla karşılaşılır öncelikle yatırım ve reaktif masraflarının yüksek olması, flotasyonun ekonomik açıdan uygulanabilir olmasını zorlaştırmaktadır. Kömür flotasyonu uygulamasında karşılaşılan diğer bazı zorluklar şu şekilde sıralanabilir (Ramachandra 2004).

- Oksitlenmiş kömürlerin flotasyon ile kazanımında verim oldukça düşük kalacağı için, daha etkili ve yüksek maliyetli toplayıcıların kullanılması mecburidir.
- Flotasyon ile elde edilen konsantrenin kullanılabilir olması için, bu konsantrenin üçte birinin, içerisinde bulundurduğu nemi uzaklaştırmak için harcanması gerekir. Bundan dolayı flotasyon bazı durumlarda ekonomik olmayabilir.

Kömür flotasyonunda yüzebilirlik çok önemli bir unsurdur. Kömürlerin yüzebilirlik özelliği; oksidasyon derecesine, rankına ve içerdiği safsızlıkların miktarına ve türüne göre büyük oranda farklılık göstermektedir. Çoğunlukla düşük ranklı olan

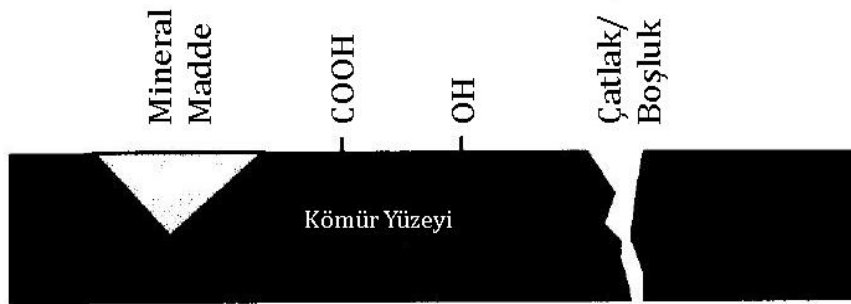
linyit, flotasyon ile temizlenmesi oldukça güç olan kömür çeşididir. Linyit kömürlerinin zayıf yüzebilirliğinin sebebi yüzeyinde yüksek miktarda oksijen ve bol miktarda hidrofilik fonksiyonel gruplarının bulunması ile açıklanmaktadır (Vamvuka ve Agridiotis 2001).

Kömüre ait olan flotasyon özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Oksijen içeren fonksiyonel grupların çeşidi ve sayısı
- Hidrokarbon yapısı
- İnorganik bileşen içeriği

Maseraller kömürün organik kısmını oluştururlar ve farklı ıslanma özelliklerine sahiptirler. Temas açısı ölçümünden faydalanarak farklı Amerikan kömürleri üzerinde yapılan araştırmada, maserallerin hidrofobisitesi büyükten küçüğe doğru; lityit, vitrinit ve inertinit olarak bulunmuştur. Ayrıca mekanik ve kolon flotasyonu ile yapılan başka bir çalışmada da maserallerin hidrofobisitesinin aynı büyüklük sıralamasında olduğu görülmüştür (Polat ve ark 2003).

Kömür yüzeyinin genellikle hidrofobik olduğu kabul edilir. Ancak kömürün bu özelliği yüzeydeki hidrofilik fonksiyonel gruplar ve inorganik maddeler sebebiyle değişime yatkınlık gösterir. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, kömür yüzeyi aynı zamanda poroz yapıda olduğundan, yüzeydeki porların su ile dolması, kömürün daha hidrofilik; hava ile dolması ise daha hidrofobik özellik kazanmasına yol açar (Laskowski 2001).



Şekil 2.7. Kömür yüzeyi

Karbon oranı düşük olan kömürlerin temas açısı da düşüktür. Fakat bitümlü kömürlerin hidrofobik özelliklerinden dolayı temas açısı yüksektir; ancak karbon oranı % 80’in üzerine çıktığında kömürün hidrofobisitesi de düşmektedir (Laskowski 2001).

### 2.2.6. Taş kömürü ve linyitin özellikleri ve flotasyonu

Taş kömürlerinin karbon oranları yüksekken orijinal nem oranları (% 1-2) oldukça düşüktür. Taşkömürleri nem oranlarının az olması ve daha sağlam yapıya sahip oldukları için taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini korurlar. Diğer kömür türlerine göre taşkömürleri daha çok kullanım alanına sahiptir ve ısı değeri daha yüksektir. Taşkömürü hidrofobiktir ve dolayısıyla yüzdürülmesi daha kolaydır ve flotasyona daha elverişlidir (Kemal 1991).

Linyitin oluşması bataklıklardaki bitki kalıntılarının bozuşması, sonra da yavaş yavaş alüvyon çökeltileriyle örtülmesiyle meydana gelir. Linyitin oluşum süreci de taşkömürünününe benzer. Linyitlerin bileşiminde % 60 ile % 73 oranında karbon bulunur (DPT, 2001).

Linyitlerin ısı değerleri, kilogram başına 5000 kilokaloriyi pek geçmez, çoğunlukla bir ton linyitin 0.3 ton taşkömürüyle eşdeğer olduğu kabul edilir. Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, sert ve yumuşak linyitler olarak ikiye ayrılır. Sert linyitler geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Bu kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptirler. Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolanma esnasında fazla tozlanmaz. Yumuşak linyitler ise % 35–75 arasında orijinal neme sahiptirler. Yumuşak linyitlerin parça sağlamlığına neredeyse yok denilecek kadar azdır. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları takdirde, zamanla tamamen toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve parçalanırlar. (Kemal ve Arslan 1999).

Linyit gibi düşük kalori değerlerine sahip olan kömürler hidroksil ve karboksil gibi oksijen gruplarını bünyesinde bulundurması nedeniyle yüzdürülebilmesi güçtür. Böyle durumlarda linyitin flotasyonunda sadece çok miktarda kollektöre değil aynı zaman çok miktarda reaktiflere de ihtiyaç duyulmaktadır (Laskowski 1994).

### 2.2.7. Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler

Flotasyonda mineral taneciklerinin pülp içerisinde köpük fazına taşınmasında birçok mekanizma etkindir. Bunlar, taneciklerin hava kabarcığına seçimli olarak yapışmasını ve bazı taneciklerin de seçimsizlik gözetmeksizin köpük fazına sürüklenmesini kapsar. Bunların yanı sıra, şlam olarak adlandırılan çok ince taneciklerin hidrolik sürüklenmesi, elde edilen konsantrenin kalitesini oldukça etkilemektedir (Laskowski 2001).

Flotasyonda etkin olan bu mekanizmalar doğrultusunda, yapılacak işlemin amacına yönelik farklı reaktiflere gereksinim duyulmuştur. Doğal hidrofobik mineraller sınıfında yer alan kömür, molibden, grafit, talk, kükürt gibi bunlar benzer reaktiflere ihtiyaç duyarlar. Toplayıcı olarak, petrol türevi yağların kullanımı bu gruptaki minerallerin flotasyonu için karakteristik özelliştir. Petrol türevi toplayıcıların diğer toplayıcılardan ayıran en önemli fark su içerisinde çözünmemesidir. Suda çözünen toplayıcılar ise tanecik yüzeyine fiziksel veya kimyasal yollarla adsorplanarak taneciğin hidrofobitesini arttırmış olur. Fakat kömür flotasyonunda kullanılan petrol türevi toplayıcılarda bu mekanizma gözlenmez. Pülp içerisinde mineral-su ara yüzeyindeki yağ damlacıkları tanecik üzerinde yayılarak ince bir film tabakası oluşturur. Toplayıcının kömür taneciği üzerinde yayılması ise genellikle, taneciğin porozitesine ve yüzeyin heterojenliğine bağlıdır (Laskowski 2001).

Kömür flotasyonunda geçmişte kullanılan köpürtücüler çoğunlukla kresol ve çam yağı iken günümüzde bunların yerini MIBC gibi alifatik alkoller ve Dowfroth, Aerofroth gibi ticari kimyasallar genellikle almıştır (Wills ve Napier-Munn 1997).

Ayrıca, köpüğe sürüklenerek gelen inorganik bileşenleri bastırmak için suda iyonlaşabilen  $Na_2SiO_3$  kullanılmaktadır (Naik ve Reddy 2006).

Bunların dışında; kömürdeki kül içeriğinin karbon içeriğine göre nispeten daha az olduğu veya kömürün oksidasyonundan dolayı hidrofobik özelliğini kaybettiği durumlarda ise, kömür ters flotasyon ile de zenginleştirilebilmektedir. Ters flotasyonun endüstriyel ölçekli bir uygulamasında, pirit yüzdürmek için ksantat, kömürü bastırmak için ise ticari bir organik reaktif olan Cyanamid 633 kullanıldığı literatürde belirtilmiştir. Ancak reaktif kullanımının düz flotasyona göre çok yüksek olması sebebiyle genellikle tercih edilmemektedir (Aplan 1977).

Ayrıca, araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalar, kömürün organik kısmını bastırmak için nişasta ve dekstrin gibi kolloidal organik maddelerin etkin olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Laskowski 2001); (Melo ve Laskowski 2006).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

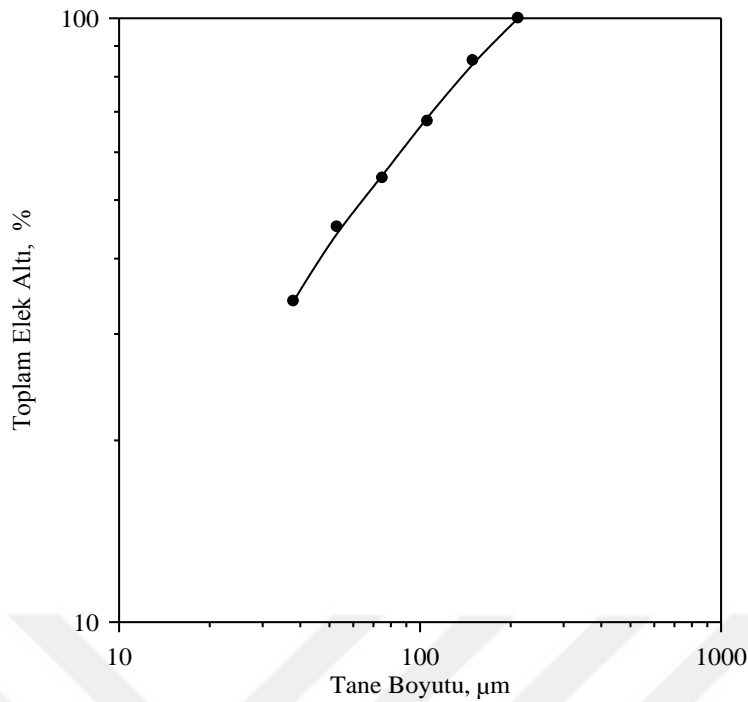
#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada, Konya-Ilgın yöresine ait linyit kömürü numunesi kullanılmıştır. Numunenin analizi sonucunda havada kuru kömür bazında % 25.02 kül ve % 24.5 nem içerdiği, üst ısıl değerinin ise 3368 kcal/kg olduğu belirlenmiştir. Temin edilen linyit numunesi laboratuvar tipi çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, laboratuvar tipi çubuklu değirmen kullanılarak -212 µm tane boyutuna öğütülmüştür. Boyut küçültme işleminden sonra, tane boyut dağılımını belirlemek amacıyla yaş elek analizi yapılmıştır. Şekil 3.1’de ise yapılan elek analizi sonuçlarına dayanılarak elde edilen tane boyut dağılım eğrisi verilmiştir. Flotasyon deneylerine hazırlanan öğütülmüş numunenin % 80’inin ~140 µm tane boyutunun altında olduğu tespit edilmiştir.

Linyit numunelerinin flotasyonunda, inorganik tuz olarak NaCl (Merck), MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (Merck) ve CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (Merck) tercih edilmiştir. Flotasyon deneylerinde toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak ise MIBC (metil izobutil karbinol) kullanılmıştır. Dağıtıcı/bastırıcı olarak sodyum silikat (Merck) tercih edilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümlerinde pH kontrolü % 1’lik hidroklorik asit (HCl) ve % 1’lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile yapılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda distile su kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda, flotasyon testleri Denver marka flotasyon makinesi ile yapılmıştır. Zeta potansiyel ölçümleri ise Brookhaven ZetaPlus cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümlerinde ise KSV CAM 101 model temas açısı ölçüm cihazı kullanılmıştır.





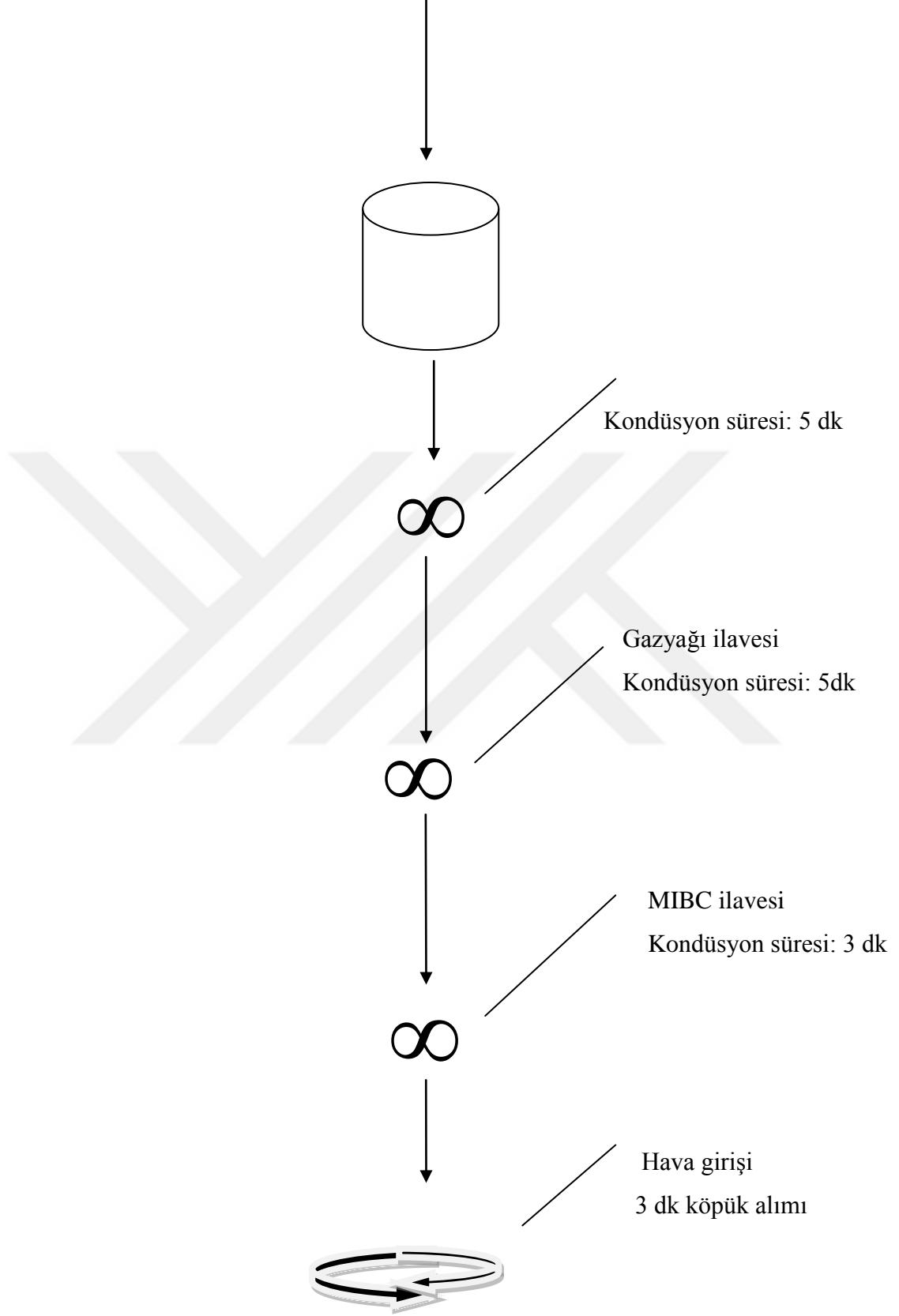
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan linyitin tane boyut dağılımı.

### 3.2. Yöntem

Deneysel çalışmada, linyit numunesinin toplayıcı ve köpürtücü ile flotasyon davranışı öncelikle araştırılmış, sonrasında flotasyon kimyasalları kullanılmadan NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuzlarının linyitin yüzebilirliğine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Nihayetinde, toplayıcı ve köpürtücü varlığında linyitin flotasyonu üzerine inorganik tuzların etkisinin ortaya konulması için deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Flotasyon deneyleri Denver tipi flotasyon hücresinde (1 L) ve süspansiyonun doğal pH'ında (pH 7.3) gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yürütülmesinde Şekil 3.2'de verilen akım şeması izlenmiştir. Deneylerde 50 g katı kullanılarak istenilen inorganik tuz çözeltisi ile süspansiyon hazırlanmış ve 1350 dev/dk'lık karıştırma hızında 5 dakikalık kondüsyon süresi verilmiştir. Bu süre sonunda, toplayıcı ilavesi yapılmış ve 5 dakikalık bir kondüsyon süresinden sonra köpürtücü süspansiyona eklenerek 3 dakikalık bir kondüsyon süresi daha verilmiştir. Devamında, flotasyon hücresine 3.5 dm<sup>3</sup>/dk akış hızında hava girişi sağlanarak 3 dakikalık bir köpük alma işlemi uygulanmıştır. Flotasyon deneylerinin performansının tespitinde, yüzen ürün flotasyon hücresinden alındıktan sonra filtre ve kurutma işlemlerini takiben ağırlığı belirlenmiş ve sonrasında kül analizleri yapılarak yanabilir verim değerleri Eşitlik (3.1) ile tespit edilmiştir.

Numune (50 g linyit) + istenilen inorganik tuz çözeltisi



Şekil 3.2. Flotasyon deneylerinde izlenen akım şeması.

$$\text{Yanabilir verim (\%)} = [K \times (100 - k) / B \times (100 - b)] \times 100 \quad (3.1)$$

K: Yüzen ürünün ağırlığı,

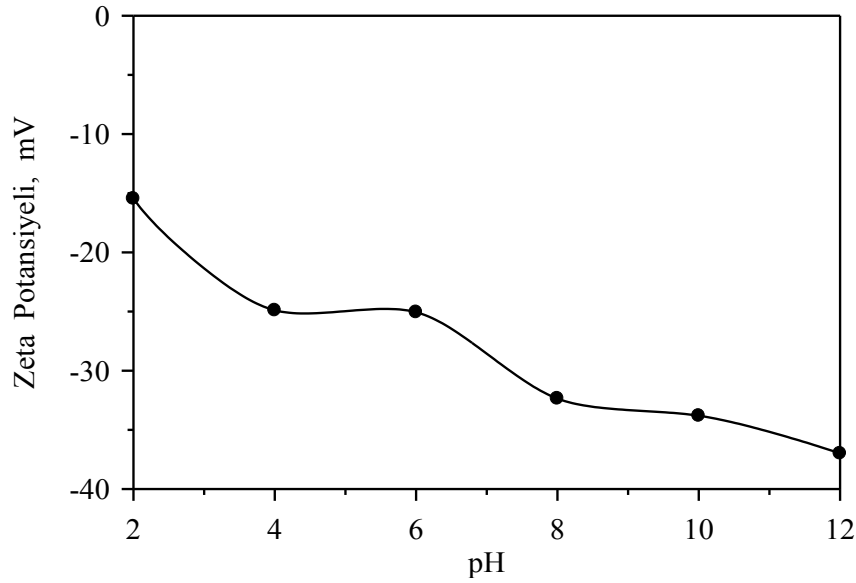
B: Beslemenin ağırlığı,

k: Yüzen ürünün kül içeriği

b: Beslemenin kül içeriğidir.

Zeta potansiyeli ölçümlerinde, -38  $\mu\text{m}$  tane boyutuna hazırlanan linyit numunesinden 10 g kullanılarak 1 lt distile su (veya istenilen inorganik tuz çözeltisi) ile süspansiyon hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonun gerektiğinde pH'ı ölçüm yapılmak istenen değere ayarlanmış ve 30 dakika 500 devir/dk karıştırma hızında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır ve takibinde iri tanelerin çökmesi için 20 dakikalık bir çökme süresi verilmiştir. Sonrasında, süspansiyonun üst kısmına yakın bir seviyeden yaklaşık 20  $\text{cm}^3$  numune süspansiyon alınarak, plastikten imal edilmiş hücrelere konularak ortalama 10 okuma yapılmış ve cihaz tarafından belirlenen ortalama değer ile standart sapma değeri kaydedilmiştir. Standart sapmanın % 2'nin üzerinde olması durumunda ölçümler tekrarlanmıştır.

Linyit numunesinin herhangi bir reaktif kullanılmadan pH'a bağlı olarak zeta potansiyelinin değişimi Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi, linyit numunesi pH 2-12 aralığında negatif yüzey şarjına sahip olup, pH arttıkça negatif değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Ayrıca, çalışılan pH aralığında linyit numunesinin i.e.p. değeri tespit edilememiş olup, elde edilen zeta potansiyeli bulgularının Özdemir ve Ark. (2013)'nin sonuçları ile uyumlu olduğu ifade edilebilir.



Şekil 3.3. Linyitin zeta potansiyelinin pH ile değişimi.

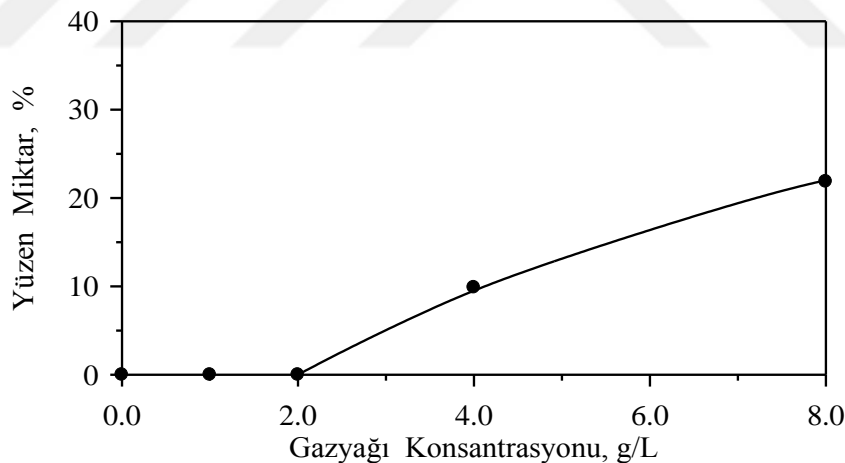
Temas açısı ölçümlerinde ise linyit numunesinden, özel bir düzenek ve hidrolik pres yardımıyla her biri yaklaşık 1 cm çapında ve yaklaşık 2 mm kalınlığında olan silindirik peletler hazırlanarak kullanılmıştır. Pelet yapımında kullanılan malzeme miktarı ve prese uygulanan basınç sabit tutulmuştur. Temas açısı ölçümleri CAM 101 model temas açısı ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Temas açısı ölçümünde, hazırlanan pelet cihazın örnek sehpası üzerine konulmuştur. Yüzeyin düzgün olması için örnek sehpası ayarlandıktan sonra, hassas şırıngadan daha önce hazırlanan  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  ve 1 M NaCl,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  tuzu içeren çözeltiler pelet yüzey üzerine damla olarak bırakılmış ve oluşan temas açılarının ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümleri en az dört pelet yüzeyi üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen açıların ortalama değerleri kullanılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Gazyağı Konsantrasyonunun Linyit Flotasyonuna Etkisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan düşük kaliteli linyit kömürü su sever karaktere sahiptir. Dolayısıyla, farklı derişimlerde toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak MIBC (50 g/ton kömür) ile linyitin flotasyonu inorganik tuzlar olmadan öncelikle araştırılmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, çalışılan linyit kömürünün yüzebilirliğinin oldukça zayıf olduğu ifade edilebilir. Yüksek miktarda gazyağı (> 4 g/L) kullanılması durumunda linyitin yüzebilirliğinin kısmen sağlandığı, 8 g/L gazyağı konsantrasyonunda ise yüzen miktarın ağırlıkça % 24'lere kadar ulaştığı, ancak yine de istenilen ölçüde olmadığı belirlenmiştir. Linyitin hidrofilik karakteri ve buna bağlı olarak düşük yüzebilirliği, hidrofobik kömür türlerine göre hidroksil, karbonil ve karboksil gibi oksijen içeren fonksiyonel grupları daha fazla içermesindedir. (Ateşok ve Celik 2000); (Jia ve ark 2000).

Diğer taraftan, Erol ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada ise gazyağı miktarının değiştirilmesi ile çalışılan linyit numunesinin flotasyon performansının önemli ölçüde değiştiği ifade edilmiştir.



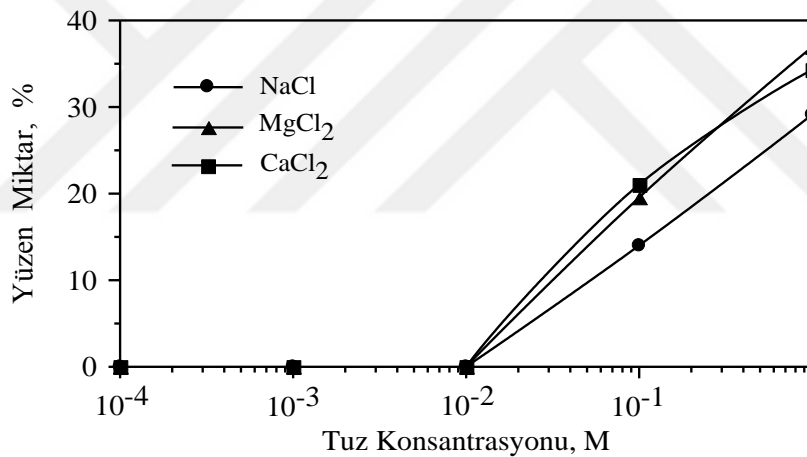
Şekil 4.1. Gazyağı konsantrasyonuna bağlı olarak linyitin flotasyonu.

### 4.2. Farklı İnorganik Tuzların Varlığında Linyitin Flotasyonu

Flotasyon kimyasalları kullanılmadan, NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzlarının konsantrasyonuna bağlı olarak linyitin flotasyon davranışı Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, 10<sup>-2</sup> M’den daha yüksek tuz derişimlerinde linyitin flotasyonu oluşmaya başlamıştır.

Ayrıca,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  inorganik tuzları ile  $NaCl$  tuzuna göre elde edilen yüzen malzeme ağırlığının daha fazla olduğu görülmektedir.

Li ve ark. (1992) bitümlü kömürün flotasyon kimyasalları kullanılmadan düşük  $NaCl$  tuzu konsantrasyonlarında ( $< 0.1$  M) tuz derişimindeki artış ile yüzebilirliğin azaldığını, yüksek tuz derişimlerinde ( $> 0.1$  M) ise tuz derişimindeki artış ile yüzebilirliğin arttığını ifade etmişlerdir. Özdemir ve ark. (2013) tarafından ise  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $CaCl_2$  ve  $MgCl_2$  tuzları içerisinde linyit ve taşkömürünün herhangi flotasyon kimyasalı (toplayıcı ve köpürtücü) kullanılmadan yüzebilirliği araştırılmıştır. Sonuçlar, taşkömürünün hiçbir kimyasal kullanılmadan sadece tuzlu su ortamında yüzmesinin mümkün olduğunu ve artan tuz konsantrasyonu ile yanabilir verim değerlerinin arttığını gösterirken, linyit kömürünün istenilen ölçüde yüzmesinin pek mümkün olmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, tuz tipinin de kömür flotasyonunda önemli olduğu ve her iki kömür türü içinde  $MgCl_2$  tuzunun daha etkin olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı inorganik tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak linyitin flotasyonu.

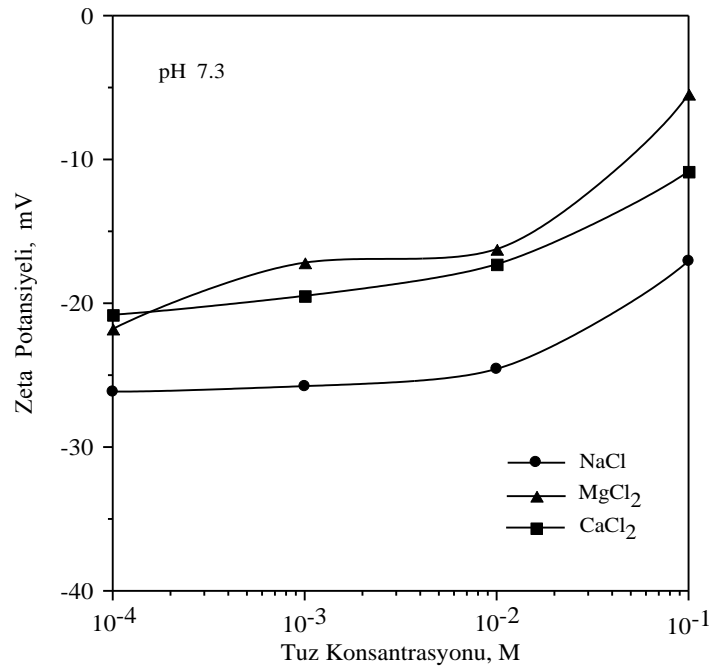
### 4.3. İnorganik Tuzların Linyitin Zeta Potansiyeli ve Temas Açısına Etkisi

$NaCl$ ,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  inorganik tuzlarının  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  ve  $10^{-1}$  M konsantrasyonlarında ölçülen linyitin zeta potansiyeli değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi,  $NaCl$  inorganik tuzu varlığında  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  M konsantrasyon aralığında zeta potansiyel değerinde çok fazla bir değişme görülmezken,  $10^{-2}$  M  $NaCl$  konsantrasyonundan sonra negatif şarj büyüklüğünde azalma görülmektedir. Ayrıca,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  inorganik tuzları ile elde edilen zeta potansiyeli değerleri birbirine yakındır.  $NaCl$  tuzuna benzer şekilde,  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  M konsantrasyon aralığında linyitin

negatif şarj büyüklüğünde az bir azalma görülürken,  $10^{-2}$  M konsantrasyondan sonra  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  inorganik tuz varlığında linyitin negatif şarjlarında daha kayda değer azalmalar gerçekleşmektedir. Artan tuz konsantrasyonu ile beraber linyitin negatif şarj büyüklüğünde en çok düşüş  $MgCl_2$  tuzu ile olmaktadır. Elde edilen zeta potansiyeli bulguları değerlendirildiğinde, linyitin zeta potansiyelindeki azalmaların tüm tuzlar için  $10^{-2}$  M derişimden daha yüksek tuz derişimlerinde olduğu ve linyitin inorganik tuzlar ile flotasyonunun da (Şekil 4.2)  $10^{-2}$  M tuz konsantrasyonundan sonra oluşmaya başladığı, dikkat çekmektedir.

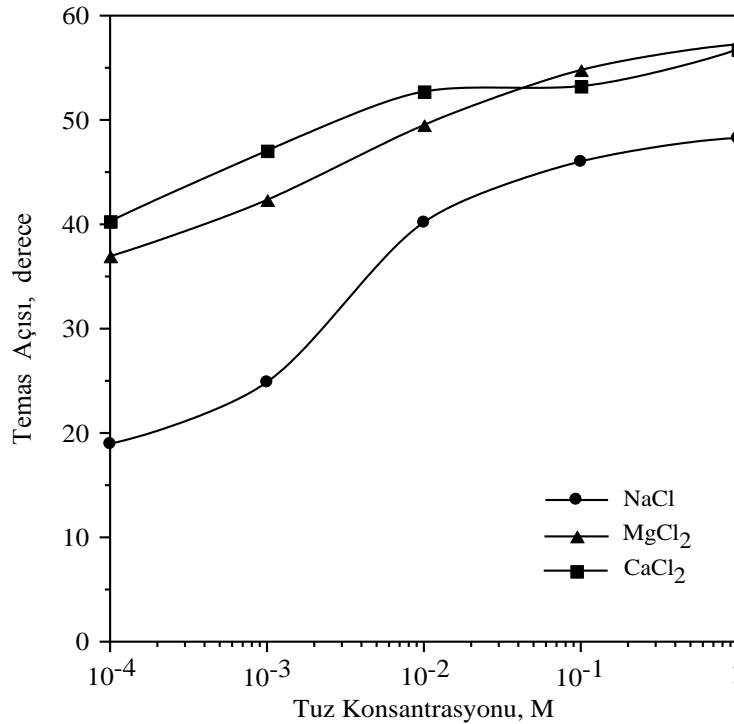
Yüksek tuz konsantrasyonlarında çözülmüş iyonların kabarcıkların ve tanelerin elektrokinetik davranışlarını etkiledikleri ve böylelikle hem tanenin hem de kabarcığın zeta potansiyel değerlerini düşürdükleri belirtilmektedir (Li ve Somasundaran 1991); (Paulson ve Pugh 1996).

Her ne kadar bazı çalışmalarda en yüksek flotasyon veriminin en düşük zeta potansiyeli değerlerinde elde edildiği gösterilse de (Fuerstenau ve ark 1983); (Yoon ve Sabey 1989), diğer bazı araştırmalarda i.e.p. değerinin aşağı ve yukarısındaki pH değerlerinde flotasyonun maksimuma ulaştığı da ifade edilmektedir (Celik ve Somasundaran 1980); (Li ve ark 1992); (Ozdemir ve ark 2009).



Şekil 4.3. Farklı inorganik tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak linyitin zeta potansiyeli.

Su ile linyit için elde edilen temas açısı değeri 0 derecedir. Yani, linyit numunesi hidrofilik karakterde olup, su tamamıyla linyit yüzeylerini ıslatmaktadır.  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  ve 1 M'lık NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuz çözeltileri ile linyit yüzeyleri üzerinde ölçülen temas açısı değerleri ise Şekil 4.4'de verilmiştir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, NaCl inorganik tuzu varlığında artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısında da artma görülmektedir. Ayrıca, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzları ile ölçülen temas açılarının birbirine yakın olduğu ve artan tuz konsantrasyonuyla beraber elde edilen temas açılarının da yine arttığı görülmektedir. Çoğu inorganik tuzun suya ilavesiyle çözeltinin yüzey geriliminin arttığı iyi bilinir (Weissenborn ve Pugh 1996). Artan yüzey geriliminin ise linyit yüzeyleri üzerinde ölçülen temas açısı değerlerinde bir artışa yol açtığı, literatürde belirtilen tuz etkilerine ilaveten, ifade edilebilir. Başka bir linyit kömürü içinde benzer bir sonuç daha önce de elde edilmiştir (Yekeler ve Ozkan 2002). Bununla birlikte, Laskowski ve Iskra (1970) tarafından tuz konsantrasyonunun artmasıyla temas açısının değişmediğini ifade edilmiştir. Benzer bir sonuç, Ozdemir ve ark. (2009) tarafından hidrofobik bir kömür için belirtilmiştir. Ancak, literatürde farklı mineraller ve katılar için artan tuz derişimi ile temas açılarının da arttığı yönünde bulgular da bulunmaktadır (Sghaier ve ark 2006); (Aslan ve ark 2016) .



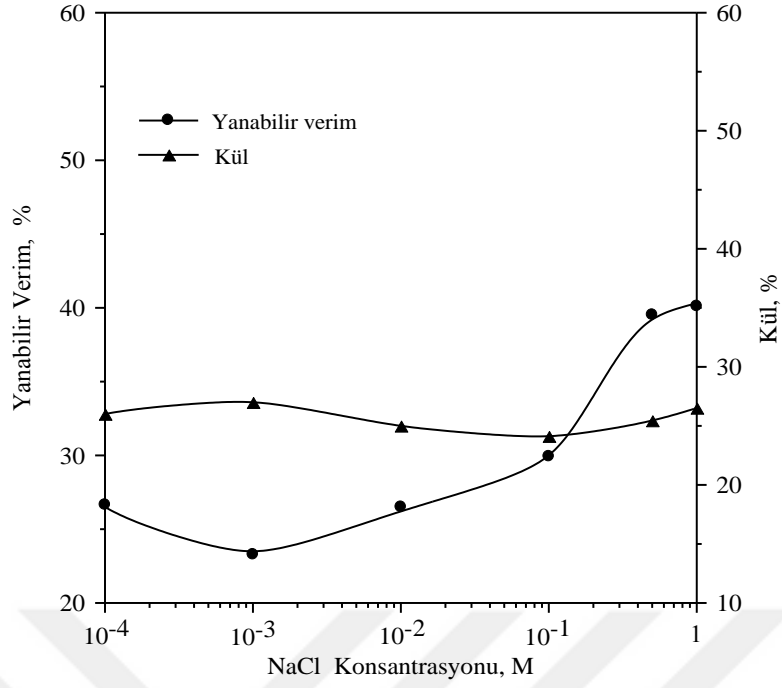
Şekil 4.4. Farklı inorganik tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak linyitin temas açısı.



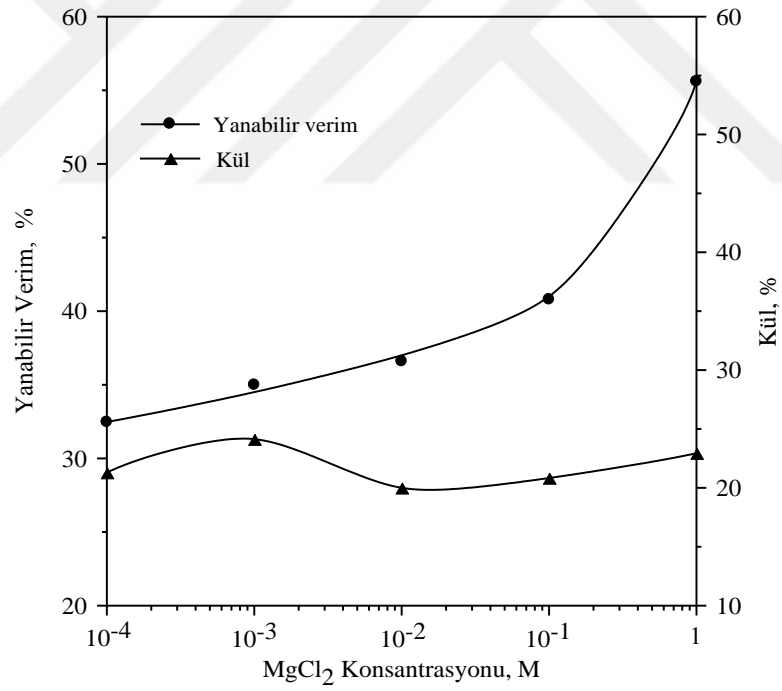
#### 4.4. Flotasyon Kimyasalları Varlığında İnorganik Tuzların Linyit Flotasyonuna Etkisi

Flotasyon kimyasalları kullanılarak (gazyağı 2 g/L ve MIBC 50 g/ton-kömür) NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzlarının konsantrasyonunun linyit flotasyonuna etkileri sırasıyla Şekil 4.5-4.7’de verilmiştir. Söz konusu şekillerde, 2 g/L gazyağı konsantrasyonunda flotasyonu mümkün olmayan linyit kömürünün inorganik tuzların desteğinde bu derişimde yüzdürülebildiği görülmektedir. Diğer taraftan, artan NaCl derişimi ile linyitin yanabilir veriminde artış sağlanırken kül değerlerinde bir azalmanın kaydedilemediği (Şekil 4.5) anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, kömür ile birlikte kül oluşturucu minerallerinde kısmen yüzdüğü ifade edilebilir. Şekil 4.6 ve 4.7’de görüldüğü gibi, artan MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuz konsantrasyonu ile linyitin yanabilir verimi NaCl tuzuna göre daha belirgin bir şekilde artış göstermiştir. 1 M’lık yüksek bir MgCl<sub>2</sub> tuzu konsantrasyonunda % 22.9 kül içerikli bir konsantrenin % 55.6’lık bir yanabilir verim değeri ile üretilebildiği belirlenmiştir. Yüzen ürünlerin kül değerlerinde ise bir düşüş özellikle 10<sup>-2</sup>-10<sup>-1</sup> M MgCl<sub>2</sub> tuz derişimlerinde sağlanabilmiş olup, bu tuz derişimlerinde yüzen ürünlerin kül içeriğinde yaklaşık % 5 kadar bir azalma kaydedilmiştir.

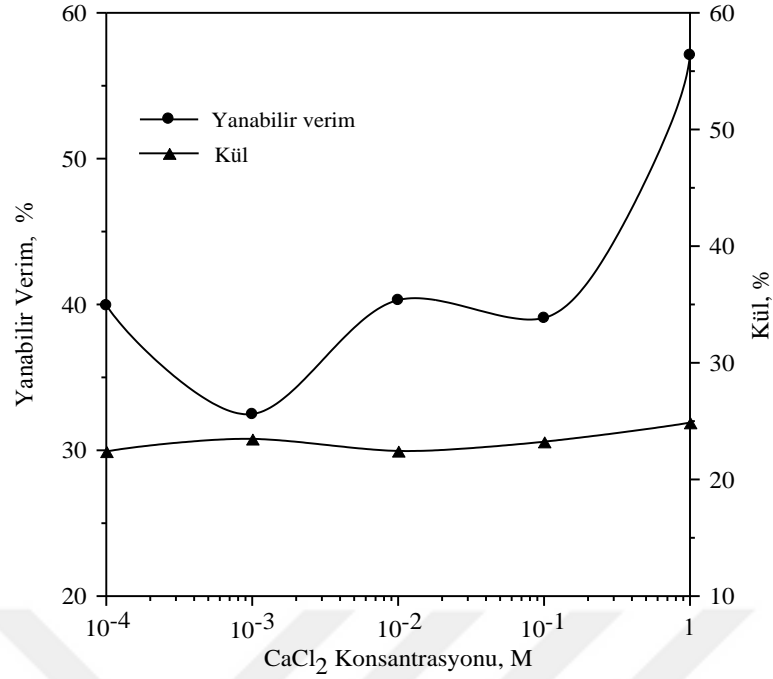
Flotasyon işleminde inorganik tuz ilavesiyle artan yüzebilirliğin, taneleri çevreleyen hidrate olmuş tabakaların kararsızlaştırılmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Li ve ark 1992). İnorganik iyonların taneler ve hava kabarcıklarının elektrokinetik davranışlarını etkiledikleri, böylelikle onların zeta potansiyeli değerlerini düşürdükleri bilinmektedir. Elektrolit kullanılarak elektriksel çift tabakanın sıkıştırılması ile taneler ve hava kabarcıkları arasındaki sıvı filminin incilmesi ve kopmasının kolaylaştırılması, flotasyonun iyileştirilmesinde bir başka neden olarak öne sürülmektedir (Li ve ark 1992). Buna ilaveten, tuz konsantrasyonuna bağlı olarak köpükteki kabarcık boyutunun değiştiği de ifade edilmektedir (Özdemir ve ark 2013). Tuz ilavesiyle hava kabarcığı boyutunun küçülmesi durumunda flotasyonunun iyileştirilmesi öngörülmektedir. Bununla birlikte, Li ve Somasundaran (1991) düşük tuz derişimlerinde (< 0.1 M) kabarcık boyutunda önemli bir değişim olmadığını ifade etmişlerdir. Craig ve ark. (1993) ise tuzlu su çözeltileri içerisinde hava kabarcığı birleşimlerinin engellendiği ve böylelikle ince boyutlu kabarcıkların üretilmesinin mümkün olabildiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.5. NaCl konsantrasyonunun linyit flotasyonuna etkisi.



Şekil 4.6. MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonunun linyit flotasyonuna etkisi.

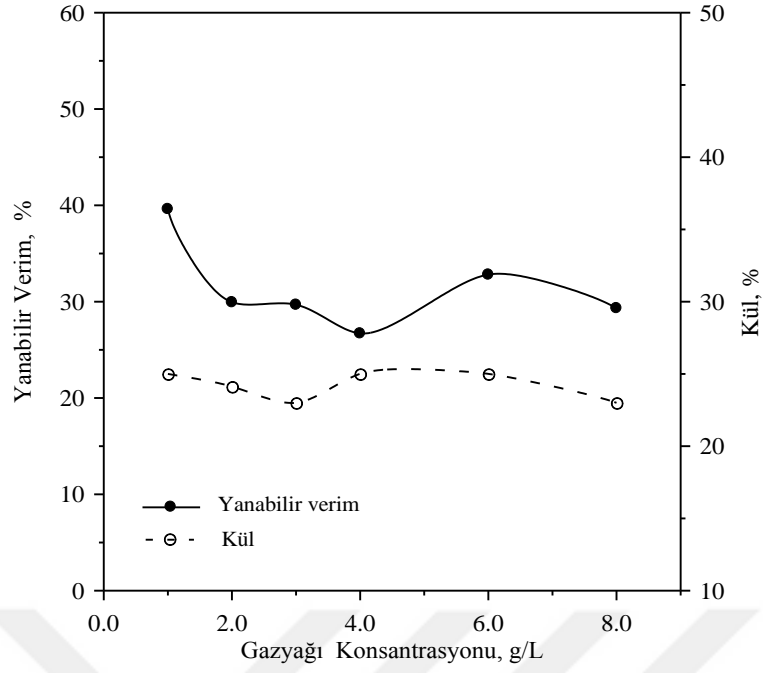


Şekil 4.7. CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonunun linyit flotasyonuna etkisi.

#### 4.5. Gazyağı Konsantrasyonunun İnorganik Tuzlar Varlığında Linyit Flotasyonuna Etkisi

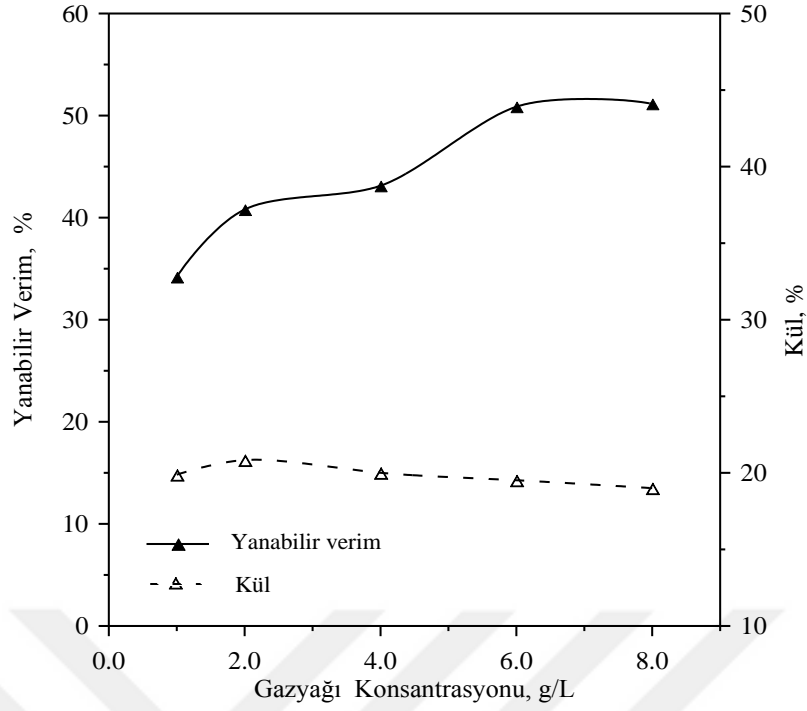
10<sup>-1</sup> M NaCl inorganik tuz çözeltisinde 1-8 g/L gazyağı derişimlerinde köpürtücü olarak ise MIBC (50 g/ton) kullanılarak linyit numunesinin flotasyonu üzerine gazyağı konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır ve deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.8'de verilmiştir. Gazyağı derişiminin 1-4 g/L aralığında yanabilir verim üzerinde olumlu bir etkisi olmamıştır. Hatta yanabilir verimde azalan bir eğilim görülmüştür. Ancak, 4-6 g/L gazyağı konsantrasyonu aralığında yanabilir verim artmaya başlamıştır. Yüzen ürünün kül değerleri ise gazyağı miktarının değişiminden fazla etkilenmemektedir.

Naik ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, kömür flotasyonunda toplayıcı ve köpürtücü miktarındaki artışın konsantre külünde artışa sebep olduğu ifade edilmiştir.



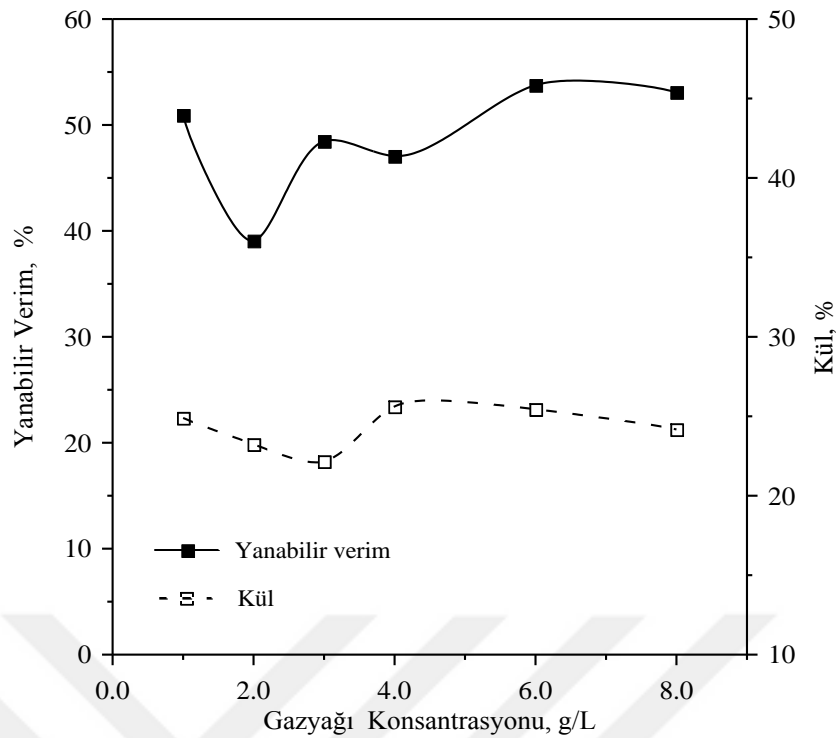
Şekil 4.8.  $10^{-1}$  M NaCl tuzu varlığında gazyağı derişiminin linyit flotasyonuna etkisi.

$10^{-1}$  M  $MgCl_2$  tuz konsantrasyonunda gazyağı miktarının linyit flotasyonu üzerine etkisi Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, artan gazyağı konsantrasyonu ile yanabilir verim değerleri artan bir eğilim göstermiştir. Yüzen malzemenin kül içeriği ise gazyağı miktarı değişiminden fazla etkilenmemektedir.  $MgCl_2$  tuzu ile yürütülen flotasyon deneyi sonuçları, % 19 kül içerikli bir konsantrenin % 51.2 yanabilir verimle  $10^{-1}$  M  $MgCl_2$  ve  $8 \text{ g/dm}^3$  gazyağı konsantrasyonunda elde edilebildiğini göstermiştir.



Şekil 4.9.  $10^{-1}$  M  $MgCl_2$  tuzu varlığında gazyağı derişiminin linyit flotasyonuna etkisi.

Gazyağı miktarının  $10^{-1}$  M  $CaCl_2$  tuz konsantrasyonunda linyit flotasyonu üzerine etkisi ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, gazyağı konsantrasyonu 1-2 g/L aralığında yanabilir verimde % 11'lik bir azalma olmuştur. Bununla birlikte, bu değerin üzerinde artan gazyağı konsantrasyonu ile yanabilir verim değerleri artan bir eğilim göstermiştir. Diğer taraftan, yüzen malzemenin kül içeriğinin ise gazyağı miktarı değişiminden fazla etkilenmediği tespit edilmiştir.

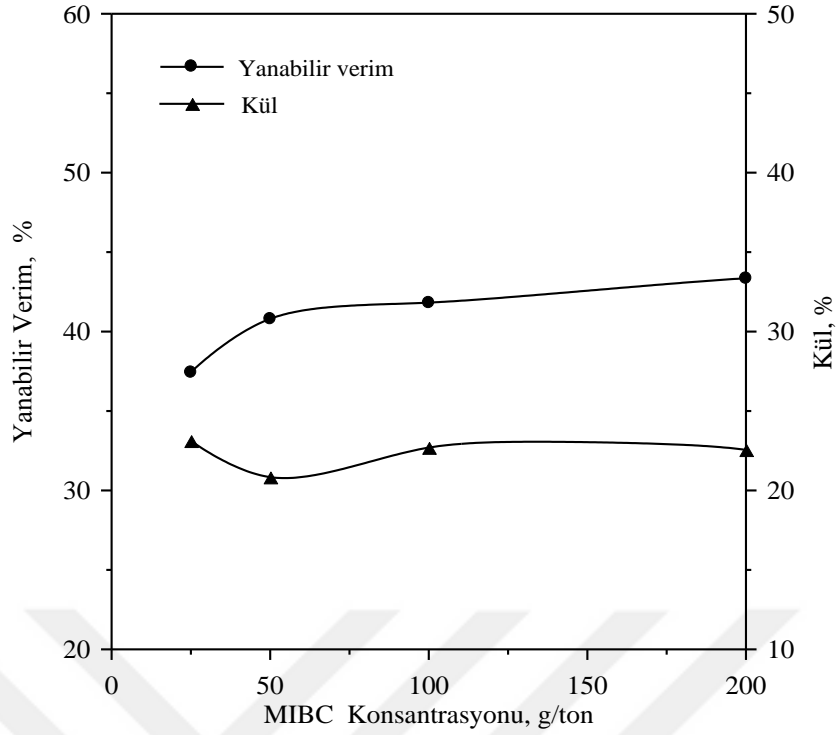


Şekil 4.10.  $10^{-1}$  M  $\text{CaCl}_2$  tuzu varlığında gazyağı derişiminin linyit flotasyonuna etkisi.

#### 4.6. MIBC Derişiminin Linyit Flotasyonuna Etkisi

$10^{-1}$  M  $\text{MgCl}_2$  tuzu konsantrasyonunda ve gazyağı 2 g/L derişiminde, 25-200 gr/ton aralığında MIBC kullanılarak linyit flotasyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, artan MIBC konsantrasyonu ile beraber yanabilir verim değerleri nispeten artan bir eğilim sergilemektedir. Bununla birlikte, konsantre kül içerikleri köpürtücü konsantrasyonun derişiminden fazla etkilenmemektedir.

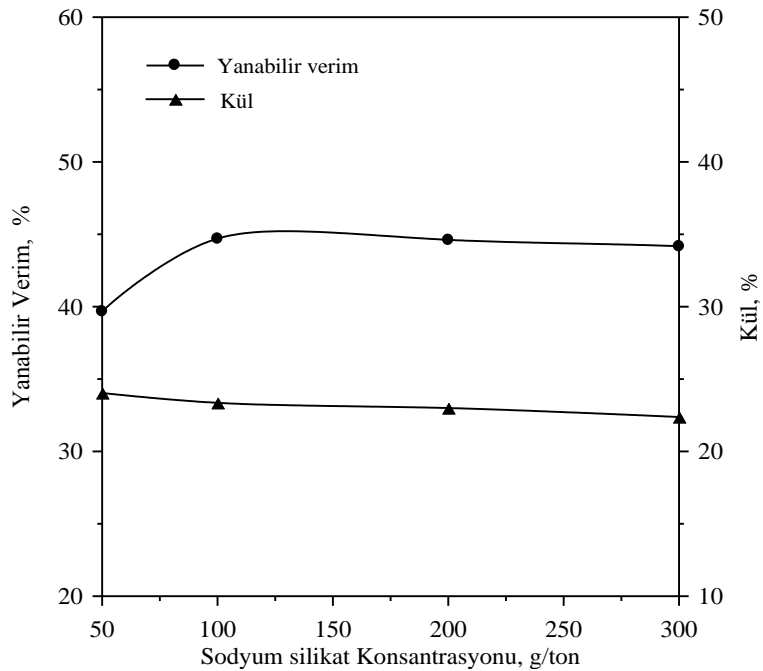
Hacifazlıoğlu (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, köpürtücü miktarı artırıldıkça daha hareketli ve akışkan bir köpük tabakasının elde edildiği ve bunun sonucunda verim yükselirken elde edilen temiz kömürün kalitesinin düştüğü, başka bir deyişle, köpürtücü miktarı arttıkça kül giderme başarısının azaldığı ifade edilmiştir.



Şekil 4.11.  $10^{-1}$  M  $MgCl_2$  konsantrasyonunda MIBC derişiminin linyit flotasyonuna etkisi.

#### 4.7. Sodyum Silikat Derişiminin Linyit Flotasyonuna Etkisi

$10^{-1}$  M  $MgCl_2$  tuzu konsantrasyonu varlığında, gazyağı 2 g/L ve MIBC ise 50 g/ton kullanılarak sodyum silikat derişiminin linyit flotasyonu üzerine elde edilen etkisi Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, artan sodyum silikat konsantrasyonu ile yüzen ürünün kül değerlerinde çok kısmi bir azalma görülmektedir.



Şekil 4.12.  $10^{-1}$  M  $MgCl_2$  konsantrasyonunda sodyum silikat derişiminin linyit flotasyonuna etkisi.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, düşük ranklı bir kömür olan Konya-Ilgın yöresi linyitinin NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzları ile flotasyon kimyasalları (toplayıcı ve köpürtücü) kullanılarak ve kullanılmadan flotasyonunun sağlanmasına ve araştırılmasına çalışılmıştır.

Çalışılan linyit kömürünün güçlü su sever karakteri nedeniyle yüzebilirliğinin oldukça zayıf olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, sadece toplayıcı ve köpürtücü kullanılarak linyitin flotasyonu yüksek reaktif konsantrasyonların da bile istenilen ölçüde sağlanamamıştır.

Zeta potansiyeli ölçümlerinden linyit kömürünün pH 2-12 aralığında negatif yüzey şarjına sahip olduğu ve artan pH ile daha negatif bir şarj kazandığı belirlenmiş olup, i.e.p. değeri ise bu pH aralığında tespit edilememiştir. Ayrıca, linyitin negatif şarjının büyüklüğünün NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> inorganik tuzlarının 10<sup>-2</sup> M konsantrasyonunun üzerindeki derişimlerde önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Flotasyon reaktifleri kullanılmadan linyitin flotasyonunun da bu tuz konsantrasyonu değerinin üzerindeki derişimlerde oluşmaya başladığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, artan inorganik tuz konsantrasyonu ile linyit yüzeyleri üzerinde ölçülen temas açılarında da artış gerçekleşmektedir. Literatürde inorganik tuzlar için öne sürülen flotasyon etkilerine ilave olarak çözelti yüzey gerilimindeki artış da, 10<sup>-2</sup> M'dan daha yüksek tuz derişimlerinde linyit flotasyonunun sağlanmasında mümkün bir neden olabilir.

İnorganik tuzların yüksek konsantrasyonları, flotasyon kimyasalları kullanılmadığında düşük flotasyon performansları sağlamıştır. Bununla birlikte, linyitin flotasyonu toplayıcı ve köpürtücü kullanımı ile inorganik tuzlar varlığında nispeten iyileştirilebilmiştir. Hatta, yalnızca flotasyon reaktifleri kullanılarak flotasyonun mümkün olmadığı gazyağı derişiminde, inorganik tuzların desteği ile aynı toplayıcı konsantrasyonunda linyitin flotasyonu sağlanabilmiştir. Diğer taraftan, 10<sup>-1</sup> M MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuz derişimlerinde, yanabilir verim değerleri artan toplayıcı konsantrasyonu ile artarken, konsantre kül değerlerinin bu konsantrasyon değişikliklerinden çok fazla etkilenmediği belirlenmiştir. Aynı MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda, artan MIBC derişimi ile de yanabilir verim değerleri nispeten artarken, yine konsantre kül içeriklerinin bu derişimden fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Sodyum silikatın ise linyit flotasyonunda seçimliliğin sağlanmasında kayda değer bir etkisinin olmadığı ifade edilebilir.



Linyit kömürü ile yürütülen flotasyon deneyi sonuçları, % 19 kül içerikli bir konsantrenin % 51.2 yanabilir verimle  $10^{-1}$  M  $MgCl_2$  ve 8 g/dm<sup>3</sup> gazyağı konsantrasyonunda elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, 1 M'lık daha yüksek bir  $MgCl_2$  tuzu konsantrasyonunda ise % 22.9 kül içerikli bir konsantrenin % 55.6'lık bir yanabilir verim değeri ile daha düşük bir gazyağı derişiminde (2 g/dm<sup>3</sup>) üretilebildiği belirlenmiştir. Bunlara ilaveten,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  tuzlarının linyit flotasyonunda NaCl tuzundan daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışılan koşullar altında linyit flotasyonu ile elde edilen ürünler için istenilen düzeyde yanabilir verim değerlerine ulaşılamadığı, ancak yüksek  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  tuzu konsantrasyonları ve yüksek miktarda gazyağı kullanımı ile bunun bir ölçüde mümkün olabildiği, elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Ayrıca, linyit flotasyonunda daha düşük kül içerikli yüzen ürünlerin elde edilebilmesi için farklı türdeki bastırıcılar ile kül oluşturuucu minerallerin yüzmesinin azaltılmasının daha ayrıntılı olarak araştırılması ve böylelikle seçimliliğin artırılması gerekliliği de ortaya çıkmaktadır. Daha yüksek yanabilir verim değerlerine ulaşılabilmek için ise farklı toplayıcı türleri veya kombinasyonları ile detaylı araştırma yapılması önerilebilir. Diğer taraftan, ters flotasyon tekniğinin bu kömür için belki alternatif bir yöntem olabileceği de ifade edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Aplan F. Use of the flotation process for desulfurization of coal. ACS Symposium Series.
- Aslan S, Fathi Najafabadi N, Firoozabadi A, 2016. Non-monotonicity of the contact angle from NaCl and MgCl<sub>2</sub> concentrations in two petroleum fluids on atomistically smooth surfaces. *Energy & Fuels*, 30, 4, 2858-64.
- Atak S, 1990. Flotasyon Ėlkeleri ve Uygulaması. ĐTÜ Vakfı, 34.
- Ateşok G, 1986. Kömür hazırlama, Yy, p.
- Ateşok G, 2009. Kömür kullanımı ve temiz kömür teknolojileri. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, İstanbul.
- Ateşok G, Celik M, 2000. A new flotation scheme for a difficult-to-float coal using pitch additive in dry grinding. *Fuel*, 79, 12, 1509-13.
- Aytekin Y, Yamık A, İpekoğlu Ü, 1988. Cevher hazırlama ve zenginleştirmedeki gelişmeler. Akdeniz Üniversitesi İsparta Müh. Fak. Dergisi, Maden Müh. Seksiyonu,(Ed) Yamık, S, 1, 1-13.
- Barnes M, Barnes, W., Bustin, R., , (1984). Chemistry and evolution of organic materials.. *Geoscience Canada*, 11(3). 103.
- Birdi K, 2009. Surface and colloid chemistry: principles and applications, CRC press, p.
- Bulut G, Göktepe F, 2012. Madencilik ve cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan kimyasallar. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25, 1, 37-56.
- Celik M, Somasundaran P, 1980. Effect of pretreatments on flotation and electrokinetic properties of coal. *Colloids and Surfaces*, 1, 1, 121-4.
- Craig V, Ninham B, Pashley R, 1993. Effect of electrolytes on bubble coalescence. *Nature*, 364, 6435, 317.
- DPT,2001,Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu.
- Düzyol S, 2016. Cevher Hazırlama İşlemlerinde Yüzey Gerilimi ve Temas Açısı Ölçümünün Genel Bir Değerlendirmesi. CBÜ Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, 22, II, 21-31.
- Ekmeççi Z, Şahin AN, 2006. Köpük Görüntüsü ve Flotasyon Performansı Arasındaki İlişkinin Görüntü Analiz Sistemi İle İncelenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 45, 2, 27-38.
- Erol M, Colduroğlu C, Aktas Z, 2003. The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines. *International Journal of Mineral Processing*, 71, 1-4, 131-45.
- Ersin M, 2006. Türkiye’de Linyit Kömürlerinin Enerji Kaynağı Olarak Önemi. İÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ethem MY, 1961. Reaktifler Üzerine Temel Bilgiler. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 13, 4, 20-34.
- Fuerstenau D, Rosenbaum JM, Laskowski J, 1983. Effect of surface functional groups on the flotation of coal. *Colloids and Surfaces*, 8, 2, 153-73.
- Gu F, Wills B, 1988. Chromite-mineralogy and processing. *Minerals Engineering*, 1, 3, 235-40.
- Gülsoy ÖY, 1999. Flotasyonda Su İle Taşınım Modelleme Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 38, 1, 13-30.
- Hacifazlıoğlu H, 2011. Jameson hücreesinde bitümlü şlam kömürün flotasyonu için en uygun köpürtücü ve toplayıcı tipinin araştırılması. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2, 1, 33-43.
- Hacifazlıoğlu H, 2007. Alternatif flotasyon yöntemlerinin tanıtılması. *Madencilik Dergisi*, 46, 3, 23-41.

- Hancer M, Celik M, Miller JD, 2001. The significance of interfacial water structure in soluble salt flotation systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, 235, 1, 150-61.
- Jia R, Harris GH, Fuerstenau DW, 2000. An improved class of universal collectors for the flotation of oxidized and/or low-rank coal. *International Journal of Mineral Processing*, 58, 1-4, 99-118.
- Kaya M, Laplante A, 1986. Investigation of batch and continuous flotation kinetics in a modified Denver laboratory cell. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 25, 1, 1-8.
- Kelebek S, Demir U, Sahbaz O, Ucar A, Cinar M, Karaguzel C, Oteyaka B, 2008. The effects of dodecylamine, kerosene and pH on batch flotation of Turkey's Tuncbilek coal. *International Journal of Mineral Processing*, 88, 3-4, 65-71.
- Kemal M, 1991. Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri. Önal, G., Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, YMGV.
- Kemal M, Arslan V, 1999. Kömür teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, p.
- Kural O, 1998. Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri. Özgün Ofset Matbaacılık AS, 785s.
- Laskowski J, 1965. Coal flotation in solutions with raised concentration of inorganic salts. *Colliery Guardian*, 211, 5448, 361-6.
- Laskowski J, 1994. Coal surface chemistry and its role in fine coal beneficiation and utilization. *Coal Preparation*, 14, 3-4, 115-31.
- Laskowski J, 2001. *Coal flotation and fine coal utilization*, Elsevier, p.
- Laskowski J, Iskra J, 1970. Role of capillary effects in bubble-particle collision in flotation. *Trans. IMM*, 79, 6-10.
- Li C, Somasundaran P, 1991. Reversal of bubble charge in multivalent inorganic salt solutions—effect of magnesium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 146, 1, 215-8.
- Li C, Yu X, Somasundaran P, 1992. Effect of hydrophobically modified comb-like polymer on interfacial properties of coal. *Colloids and surfaces*, 66, 1, 39-43.
- Melo F, Laskowski J, 2006. Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation. *Minerals engineering*, 19, 6-8, 766-73.
- Naik PK, Reddy PSR, 2006. Effect of sodium metasilicate on natural flotability of coal. *Colloid and Polymer Science*, 284, 9, 1024-30.
- Naik PK, Reddy PSR, Misra VN, 2005. Interpretation of interaction effects and optimization of reagent dosages for fine coal flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 75, 1-2, 83-90.
- Ozdemir O, Celik M, Nickolov Z, Miller J, 2007. Water structure and its influence on the flotation of carbonate and bicarbonate salts. *Journal of Colloid and Interface Science*, 314, 2, 545-51.
- Ozdemir O, Taran E, Hampton M, Karakashev S, Nguyen A, 2009. Surface chemistry aspects of coal flotation in bore water. *International Journal of Mineral Processing*, 92, 3-4, 177-83.
- Özdemir O, Çinku K, Uslu T, Kılıç E, Çelik MS, 2013. Taşkömürü ve Linyit Kömürlerinin Tuzlu Su İçerisinde Flotasyon Davranışları.
- Özdoğan S, Ünver Ö, 1998. Türkiye'nin taş kömürü ve linyit envanteri ile ilgili ekonomik değerlendirme. *Kömür (Coal)*.
- Patil D, Laskowski J, 2008. Development of zero conditioning procedure for coal reverse flotation. *Minerals Engineering*, 21, 5, 373-9.

- Paulson O, Pugh R, 1996. Flotation of inherently hydrophobic particles in aqueous solutions of inorganic electrolytes. *Langmuir*, 12, 20, 4808-13.
- Pawlik M, Laskowski JS, 2003. Coal reverse flotation. Part II. Batch flotation tests. *Coal Preparation*, 23, 3, 113-27.
- Polat M, Polat H, Chander S, 2003. Physical and chemical interactions in coal flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 72, 1-4, 199-213.
- Ramachandra T, 2004. Desulfurization of brown and black coals using sawdust ash. *Energy Education Science And Technology*, 13, 39-46.
- Sghaier N, Prat M, Nasrallah SB, 2006. On the influence of sodium chloride concentration on equilibrium contact angle. *Chemical Engineering Journal*, 122, 1-2, 47-53.
- Şahbaz O, 2006. Tunçbilek Termik Santral Cürufundaki Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu ile Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi
- TKİ,2009,Kömür Linyit Sektör Raporu.
- TKİ,2014, Kömür Linyit Sektör Raporu.
- TTK,2015,Taş kömürü Sektör Raporu.
- Vamvuka D, Agridiotis V, 2001. The effect of chemical reagents on lignite flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 61, 3, 209-24.
- Weissenborn PK, Pugh RJ, 1996. Surface tension of aqueous solutions of electrolytes: relationship with ion hydration, oxygen solubility, and bubble coalescence. *Journal of colloid and interface science*, 184, 2, 550-63.
- Wills B, Napier-Munn T, 1997. *Mineral Processing Technology*, Butterowrth. Heinemann, Oxford, edn, 6, 284-316.
- Yekeler M, Ozkan A, 2002. Relationship between the breakage and wetting characteristics of lignite. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences* Vol.09(5).
- Yoon R-H, 1982. Flotation of coal using micro-bubbles and inorganic salts. *Min. Congr. J.:(United States)*, 68, 12.
- Yoon R, Sabey J, 1989. *Interfacial Phenomena in Coal Technology*. GD Botsaris, GD, Glazman, YM (Eds.)(New York, 87 1989).
- Young T, 1805. III. An essay on the cohesion of fluids. *Philosophical transactions of the royal society of London*, 95, 65-87.
- Zhang H, Liu Q, 2015. Lignite cleaning in NaCl solutions by the reverse flotation technique. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 51.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İrem ŞALGALI İLİKAY  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya/1991  
**Telefon** : 0530 516 61 17  
**E-Posta** : İrem1005 @ gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mehmet Akif Ersoy Lisesi	Konya	2005
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Konya	2010

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Özel Sektör	Maden Mühendisi

### YABANCI DİLLER

İngilizce