



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

**KİL MİNERALLERİNİN KÖMÜRÜN**  
**FLOTASYON PERFORMANSINA VE**  
**KABARCIK BOYUTUNA ETKİSİ**

**Ayşe Zeynep ÇAĞLAR**

**YÜKSEK LİSANS**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe Zeynep Çağlar tarafından hazırlanan “Kil Minerallerinin Kömürün Flotasyon Performansına ve Kabarcık Boyutuna Etkisi” adlı tez çalışması 30/7/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

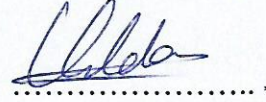
**Başkan**  
Prof.Dr.Salih AYDOĞAN

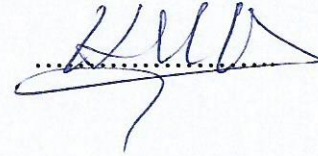
**Danışman**  
Doç.Dr.Vildan ÖNEN

**Üye**  
Doç.Dr.Havvanur UÇBEYİAY


### İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
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.

Ayşe Zeynep Çağlar

11/7/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### KİL MİNERALLERİNİN KÖMÜRÜN FLOTASYON PERFORMANSINA VE KABARCİK BOYUTUNA ETKİSİ

**Ayşe Zeynep ÇAĞLAR**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doc.Dr.Vildan Önen**

**Yıl, 2019 Sayfa 63**

**Jüri**

**Doç. Dr. Vildan ÖNEN  
Prof. Dr. Salih AYDOĞAN  
Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

Flotasyon, kömürün doğal hidrofobik yapısından dolayı kömür parçacıklarının kazanılmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ancak, flotasyon işlemlerinde kil minerallerinin varlığı birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında farklı kil minerallerinin (kaolen-montmorillonit) Tunçbilek linyit kömürünün flotasyon performansına ve kabarcık boyutuna etkisi araştırılmış ve kil miktarı/cinsi ile kullanılan flotasyon kimyasalları ve kabarcık boyutu arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmalarda, toplayıcı olarak gaz yağı kullanılırken, köpürtücü olarak metilzobütülkarbinol (MIBC), DOW250, bastırıcı olarak ise Sodyum silikat kullanılmıştır. Kil cinsi - miktarı (%5-10-15), toplayıcı miktarı, köpürtücü cinsi-miktarı, bastırıcı miktarı ve flotasyon süresi çalışılan deneysel parametrelerdir. Kütahya-Tunçbilek bölgesinden getirilen linyit kömürü için zeta potansiyelinin sıfır olduğu nokta pH 2,1 olarak belirlenmiştir. Optimum bastırıcı miktarı kaolen içeren numuneler için 200 g/t, montmorillonit içeren numuneler için 300 g/t olarak tespit edilmiştir. Beslemede kaolen kilinin miktarı arttırıldıkça verimin azalıp konsantredeki kül içeriğinin arttığı, Montmorillonitte ise hem verimin hem de konsantre kül miktarının arttığı belirlenmiştir. Uygun köpürtücü cinsi-miktarının belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, Dowfroth-250 ile daha yüksek yanabilir verim değerleri ancak MIBC ile kül içeriği daha düşük konsantreler elde edildiği tesbit edilmiş ve her iki kili içeren besleme numunelerinde optimum köpürtücü miktarı 200 g/t olarak belirlenmiştir. Dowfroth-250, MIBC' ye göre ;Montmorillonit içeren cevher, kaolen içeren cevhere göre daha büyük kabarcıklar üretilmesine neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Kabarcık boyutu Kaolen, Kil, Kömür Flotasyonu, Montmorillonit*

## ABSTRACT

## MS THESIS

### THE EFFECT OF CLAY MINERALS ON FLOTATION PERFORMANCE AND BUBBLE SIZE OF COAL

Ayşe Zeynep ÇAĞLAR

Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineering

Advisor: Assoc.Prof.Dr.Vildan ÖNEN

Year, 2019 Page 63

Jury  
Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖNEN  
Prof. Dr. Salih AYDOĞAN  
Assoc. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Flotation is one of the most effective methods for the recovery of coal particles due to the natural hydrophobic structure of coal. However, the presence of clay minerals in flotation processes causes many negative effects. In this thesis, the effect of different clay minerals (kaoline-montmorillonite) on the flotation performance and bubble size of Tunçbilek lignite coal was investigated and the relationship between clay quantity / type and flotation chemicals used and bubble size was investigated. In the experimental studies, gas oil was used as collector, methylisobutylcarbinol (MIBC), DOW250 and sodium silicate as depressant. Clay type (kaolin-montmorillonite) amount (5-10-15%), collector amount, foaming type-amount, depressant amount and flotation time are experimental parameters studied. Kütahya-Tunçbilek lignite coal is brought to the point of pH 2.1 was determined as the zeta potential is zero. The Optimum amount of depressant was determined as 200 g/t for samples containing kaolen and 300 g/t for samples containing montmorillonite. As the amount of kaolen Clay was increased, the yield decreased and the ash content in the concentrate increased, while in Montmorillonite, both the yield and the amount of concentrated ash increased. In experimental studies conducted with the aim of determining the appropriate foaming type-quantity, it was determined that higher burnable yield values with Dowfroth-250 but lower ash content concentrates with MIBC were obtained and optimum foaming amount was determined as 200 g / t in feeding samples containing both clay. Dowfroth-250, according to MIBC ; the ore containing Montmorillonite caused larger bubbles to be produced than the ore containing kaolen.

**Keywords:** *Bubble Size, Kaoline, Clay, Coal Flotation, Montmorillonite*

## ÖNSÖZ

Bu araştırmanın başlangıcından, tamamlanması aşamasına kadar ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam, Doç.Dr. Vildan ÖNEN 'e ve bu çalışmayı yapmama olanak sağlayan, Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. İhsan ÖZKAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca, değerli fikirleri ile katkıda bulunan ve varlıklarıyla her türlü zorluğu hafifleten araştırma görevlisi Hasan Ali TANER ve Kiraz EŞMELİ hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarım Yaşar TAŞ ve Shofika Khalidova 'ya teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte her türlü destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Ayşe Zeynep Çağlar

KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2.KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1.Kömür Flotasyonu .....	3
2.1.1.Kömür flotasyonunda kil kaynaklı problemler.....	4
2.2.Köpürtücüler.....	5
2.2.1.Köpürtücülerin Taşınması Gereken Özellikler.....	6
2.2.2.Köpürtücülerin Sınıflandırılması.....	7
2.2.3.Bilinen Köpürtücülerin Köpük Yapma Nitelikleri .....	12
2.3.Flotasyonda köpük kararlılığı.....	14
2.3.1.Köpük kararlılığını etkileyen faktörler .....	15
2.3.2.Köpük Kararlılığının Ölçülmesi .....	19
2.4.Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar.....	23
<b>3.MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>28</b>
3.1.Materyal.....	28
3.2.Yöntem .....	29
<b>4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>33</b>
4.1.Elektrokinetik Çalışmalar .....	33
4.2.Farklı Kil Minerallerinin ve Bastırıcı Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi..	34
4.3.Farklı Kil Minerallerinin ve Toplayıcı Cinsi/Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi.....	37
4.4.Farklı Kil Minerallerinin Flotasyon Kinetiğine Etkisi .....	41
4.5.Farklı Kil Minerallerinin Ve Köpürtücü Cinsi/Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi.....	43
4.6.Kömür flotasyonunda kil minerallerinin kabarcık boyutuna etkileri .....	46
<b>5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>50</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>56</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

cm: Santimetre

kg: Kilogram

L: Litre

$\mu$ m: Mikrometre

mm: Milimetre

pH: Hidrojen gücü/ Power of hydrogen

t: Ton

g: Gram

ml: Mililitre

mg: Miligram

m: Metre

mV: milivolt

### Kısaltmalar

AFM: Atomik Kuvvet Mikroskobu

ICP: İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma



## 1.GİRİŞ

Flotasyon, minerallerin yüzey/arayüzey özellik farklılıklarından yararlanılarak değerli mineralleri değersiz minerallerden ayırmak amacıyla kullanılan bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon yöntemi, gravite yöntemleri ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için kıymetsiz kabul edilen, pek çok düşük dereceli veya kompleks yapılı cevher yatağının işletilmesini mümkün kılarak, madencilik endüstrisinin gelişmesine imkan sağlamıştır. Zamanımızda bakır, çinko, kurşun, gümüş gibi metallerin dünya ihtiyacının büyük bir kısmı flotasyon ile elde edilmektedir (Atak, 1990).

Flotasyon süreçlerinde az miktarlarda kullanılan fakat etkin bir işlem için çok önemli olan birçok reaktif vardır. Bazı minerallere hava kabarcığına ilişecek yüzey özelliklerinin kazandırılması ve flotasyon makinesinde kabarcık oluşturulması ile bu mineraller köpük zonunda toplanabilir. Fakat bunların köpükle taşınabilmesi için, hava kabarcıklarının patlayarak, mineralleri terk etmemesi gereklidir. Bu amaçla flotasyonda mineral yüzeyi toplayıcı ile hidrofobik yapıldıktan sonra, hava kabarcığına olan ilişmenin duraylılığını sağlamak için “köpürtücüreaktif” olarak isimlendirilen ve köpüğün direncini arttıran bazı organik kimyasallardan yararlanır. Flotasyon kinetiğinde önemli etkiye sahip olan köpürtücüler, flotasyon devrelerinde özel olarak köpük meydana getiren kimyasal maddelerdir(Atak, 1990; Bulut ve Göktepe, 2012).

Flotasyon verimi pülp ve köpük fazının karakteristiğine dayanmaktadır (Shumba, 2014). Hava kabarcığı terimi,hava ve sıvıdan oluşan iki fazlı sistemler için kullanılmakta iken, köpük hava,sıvı ve katı ihtiva eden üç fazdan oluşmaktadır(Farrokhpay, 2011). Heteropolar yüzey aktif bileşikler olan köpürtücüler, daha kaliteli köpük üretmek ve ayrıca köpük kararlılığına yardımcı olması için kullanılmaktadır. Köpüğün yapısı da flotasyonda önemlidir(Atak, 1990; Bulut ve Göktepe, 2012). Birbirine sık olarak bağlanmış küçük kabarcıklı köpük ile yüksek flotasyon randımanı elde edilir (Atak, 1990).Köpük yapısı ve köpük kararlılığının, flotasyondan geri kazanım işlemlerinde önemli rol oynadığı bilinmektedir(Farrokhpay, 2011).

Köpük kararlılığı, köpüğün birleşmeye ve kabarcığın patlamaya karşı koyması veya köpük ömrünün ölçümü olarak tanımlanmaktadır (Shumba, 2014).Köpük

kararlılığı, parçacıkların ve yüzey aktif maddelerin varlığından ayrıca işlem koşullarından da etkilenmektedir. Parçacıkların boyutu, şekli ve asılı parçacıkların hidrofobikliği kararlılığı etkilemektedir (Farrokhpay, 2011).

Maden kaynaklarına olan yoğun talep nedeniyle yüksek kaliteli maden rezervleri azalmaktadır bu durum düşük tenörlü cevherlerin işlenmesi ihtiyacını arttırmaktadır. Flotasyon, düşük tenörlü cevher kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak için vazgeçilmez bir cevher hazırlama yöntemidir. Bu yüzden flotasyon işleminin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Kömür, içerisinde organik ve inorganik maddeler ihtiva eden karmaşık bir cevherdir. Tüm kömürlerde farklı miktarlarda bulunan mineral maddeler ve kükürt büyük bir problemdir. Kömür hazırlama yöntemleriyle yanıcı olmayan mineral madde ve kükürt işlenerek ham kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Flotasyon, ince kömürün zenginleştirilmesinde kullanılan en etkili yöntemlerden biridir. Ancak, ince kömürlerin aşırı miktarda gang ve kil mineralleri içermeleri dolayı kalitelerini azaltmaktadır. Kil minerallerinin varlığı ince kömürün işlenmesinde büyük bir probleme dönüşmektedir. Bu problemler, yüksek köpük ve pülp duraylılığı, fazla reaktif tüketimi, şlam kaplama ve mekanik taşımadır.

### **Çalışmanın amacı:**

Farklı kil mineralleri arasındaki belirgin yapısal farklılıklar onların flotasyon işlemleri sırasındaki davranışlarında etkili olmaktadır. Yapılan bu çalışmada farklı kil minerallerinin (kaolen-montmorillonit) kömürün flotasyon performansına ve kabarcık boyutuna etkisi araştırılmış ve kil miktarı/cinsi ile kullanılan flotasyon kimyasalları ve kabarcık boyutu arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1.Kömür Flotasyonu

Kömür kullanımının neden olduğu çevresel ve operasyonel problemler, kömürün karbonlu materyalinden yanıcı olmayan atık mineral maddenin uzaklaştırılmasıyla azaltılabilir. Düşük sermaye ve alan gereksinimleri nedeniyle köpük flotasyonu diğer kömür zenginleştirme yöntemlerine göre tercih edilmektedir (Öztrak ve Aktaş, 2006). Ayrıca flotasyon, ince kömürün elde edilmesinde en etkili yöntemdir (Ni ve ark., 2018).

Flotasyonda ayırma işlemi pülp içerisinde hava kabarcıklarının oluşturulması ve hava kabarcığı ile temas kuran maddelerin (hidrofoblar) yukarı doğru, kuramayan tanelerin (hidrofiller) ise aşağı doğru hareketi ile sağlanır (Yeşilyurt, 2014). Bir mineralin yüzebilmesi bu mineralin su ile ıslanmaması (su sevmez veya hidrofob olması) özelliğine bağlıdır. Islanmama katının yüzey molekülünün özelliklerine göre değişmektedir. Yani moleküllerin polar olup olmamasına bağlıdır. Yüzeyi polar olmayan kömür doğal hidrofob bir maddedir. Bu yüzden flotasyon işlemi için elverişlidir (Hacıfazlıoğlu, 2011). Ancak değişik kömür cinsleri farklı flotasyon özelliği göstermektedir. Flotasyon özelliği en iyi olan kömürler orta uçuculu kömürlerdir. Yüksek uçuculu taş kömürleri ise antresitlere göre flotasyonu daha kolaydır. Flotasyonu en zor olan kömür çeşidi ise linyitlerdir (Öney ve Bilgin, 2016).

Kömür flotasyonunda kullanılan toplayıcılar temel olarak gaz yağı, ham petrol, mazot, bazı kömür katranı distilantlarıdır (Sönmez ve Cebeci, 2006). Taşkömürü flotasyonunda yağların kullanım oranı genellikle 0.5-2 kg/t mertebelerinde iken, kömürleşme derecesi düşük olan linyit flotasyonunda bu oran 6-8 kg/t seviyelerine kadar çıkabilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2011). Metil izobütil karbinol (MIBC) kömür flotasyonunda sıklıkla kullanılan bir alifatik alkol olup aynı zamanda toplayıcı özelliğine de sahiptir. Yüksek kil, silikat ve özellikle kuvars içeren kömürlerde bastırıcı olarak sodyum silikat, sodyum hegzametafosfat, lignin, polimerik sülfonatlar, quebrecho ve tanin kullanılmaktadır (Öney ve Bilgin, 2016).

### 2.1.1.Kömür flotasyonunda kil kaynaklı problemler

Flotasyon, ince kömürün elde edilmesinde en etkili yöntemdir. Ancak, ince kömür aşırı ince parçacıklar ve gang olarak bilinen kil mineralleri içerdiğinde kömürün kalitesi azalmaktadır. İnce kömür flotasyonunda killer büyük sorunlara yol açmaktadır. Flotasyon işlemi boyunca kil hava kabarcığına yapışarak temiz ürünün kirlenmesine neden olmaktadır (Xing ve ark., 2017). Ayrıca kil minerallerinin varlığı flotasyonda köpük kararlılığının değişmesi, pülp viskozitesinde artış meydana gelmesi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere de neden olmaktadır (Taner ve Önen, 2016).

Mekanik taşınma, pülp içerisindeki ince kil parçacıklarının su akışını takip ederek köpüğe ve konsantreye geçmesi olarak tanımlanabilir (Xing ve ark., 2019). Mekanik taşınma gang minerallerinin temiz kömür içerisine girdiği en etkili mekanizma olarak kabul edilmektedir (Xing ve ark., 2017). Pülp yoğunluğu, karıştırma hızı, köpük özellikleri ve ayrıca elektrolitlerin mekanik taşınmada önemli rol oynadığı bulunmuştur (Xing ve ark., 2019).

Şlam kaplama, değerli tanelerin ince kil mineralleri ile kaplanmasıyla toplayıcı adsorpsiyonunun engellenmesi ve kabarcık ile değerli mineral arasında doğrudan temasın önlenmesidir (Xing ve ark., 2019). İnce killerin ve kömürün elektrokinetik (veya zeta) potansiyeli çeşitli çalışmalarda ölçülerek elektriksel çift tabaka teorisiyle şlam kaplama olayı açıklanmaya çalışılmıştır (Xu ve ark., 2003)

Killer, anizotropik fillosilikat mineralleri ailesine aittir ve kil minerallerinin temel yapı elemanları, iki boyutlu silikon-oksijen tetrahedral ve alüminyum/magnezyum oksijen-hidroksil oktahedral dizileridir (Xing ve ark., 2017). Killerin farklı olan bu yapıları pülp reolojisini farklı şekilde etkilemektedir. Şişme davranışı da kilin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, kaolinit şişmeyen ve düşük kimyasal reaktiviteye sahip olan bir kil minerali iken montmorillonit ise hacminin 20 ağırlığının 10 katı kadar şişebilmektedir. Birbiri ile kıyaslandığında montmorillonitin pülpteki viskoziteye etkisi daha fazladır (Taner ve Önen, 2016).

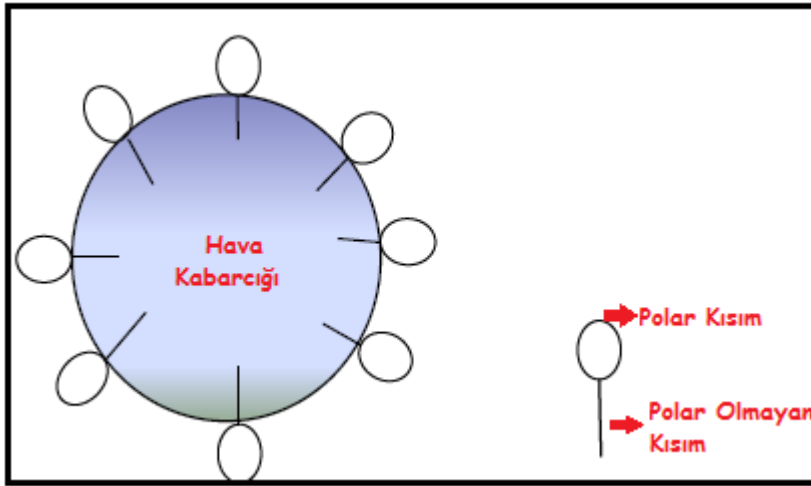
Köpük stabilitesinin flotasyon performansının değerlendirilmesinde önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. İyi köpük stabilitesinin oluşturulması ve korunması kolay

bir işlem değildir ve hem köpürtücü hem de pülpün miktarına ve tipine bağlıdır. Kil mineralleri, su-kömür ara-yüzünde sert bir film oluşturarak daha yüksek köpük stabilitesine neden olmaktadır. Yüksek köpük stabilitesi su içerisinde asılı olan mineralin flotasyon köpüğüne girerek yukarı doğru hareket ettiği ve son olarak flotasyon hücrelerini terk ettiği bir transfer işlemi olan mekanik taşımayı arttırmaktadır (Wang ve Peng, 2014).

## 2.2.Köpürtücüler

Köpürtücüler, bir polar gruptan (OH, COOH, C=O, OSO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>OH) ve radikal hidrokarbondan oluşurlar. Absorbe olabilen sıvı-hava ara yüzeyine sahiptirler (Bulatovic, 2007).

Köpürtme işleminin birincil mekanizması hava-su ara yüzey gerilimini düşürerek köpük oluşturmaktır. Köpürtücü molekülleri kabarcıkların yüzeyinde kollektör iyonları ile birlikte adsorbe olurlar. Köpürtücüler çözünmüş ya da emülsifiye olarak kullanılır. Köpürtücünün tipi ve dozajı pülpdeki kabarcık boyut dağılımını kontrol eder. Köpürtücüler hem işlem zamanını azaltır hem de küçük kabarcıklar içine hava dağılımını ve kararlı köpük oluşumunu sağlarlar (Bulut ve Göktepe, 2012).



Şekil 2.1. Köpürtücü moleküllerin kabarcık yüzeyine kollektör iyonlar ile adsorbe olması (Shumba, 2014).

### 2.2.1.Köpürtücülerin Taşınması Gereken Özellikler

Köpürtücü seçimi yapmak gerçekte oldukça zordur. Özellikle fazla sayıda faktör köpürtücünün çalışmasını ve köpük kararlılığını etkilemektedir. Köpüğün optimum seçiciliği şöyle özetlenebilir:

- Köpük fazındaki köpük yapısı mineralize haldeki köpüğün akışına izin vermeli ve kuru köpük üretilmemelidir, köpük pedalı kullanılsa bile bu durumlar köpüğün hareketini zorlaştırmaktadır.
- Köpürtücü yeterince seçici olmalıdır. Köpürtücünün seçiciliği gang minerallerinin akış derecesi ile ölçülebilir.
- Genellikle, her flotasyon sisteminde flotasyondaki köpürtücü oranının belirlenmesi ve köpüğün seçiciliği daima köpürtücünün flotasyon kinetiği ile ilişkilidir.
- Köpüğün patlaması önemli bir gerekliliktir. Ancak, köpüğün patlamasının karakteristiği en çok öğütmenin inceliği, ince parçacıkların varlığı, en önemlisi de kil minerallerinin varlığıyla ilişkilidir. Bu gibi durumlarda, köpüğün patlaması ve iyi köpürme özellikleri arasında ters bir orantı vardır.
- pH ve iyon değişikliklerinde köpürtücünün düşük duyarlılıkta olması önemli bir şarttır, pH ve iyon değişikliklerinde pülp bileşimi oluşturmak zordur. Buna rağmen köpürtücülerin büyük bir kısmı geniş bir pH aralığında kullanılır. Köpük yapısı ve köpük özellikleri pH değişiklikleri ile önemli ölçüde değişmektedir. pH bir ünitedeki işlemlerden diğerine geçildiğinde değişmektedir ayrıca pH'ın değişimi köpürmeyi de değiştirir.
- Köpürtücü ayrıca belirli değişkenlere karşı düşük hassasiyete sahip olmalıdır. Söz konusu reaktiflerin varlığında (örneğin bastırıcı, düzenleyici vs.) çoğu zaman köpürtücü ve köpük oluşturma özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Bu nedenle, reaktifler ile köpürtücü özellikleri arasında bir birliktelik olduğu hatırlanmalıdır (Bulatovic, 2007).

## 2.2.2.Köpürtücülerin Sınıflandırılması

Literatürde, bazı farklı sınıflandırmalar köpüklerin çeşitliliğine ve onların davranışlarına bağlıdır. Dudenkov vd. (1966) köpürtücüleri farklı pH değerlerindeki davranışlarına bağlı olarak sınıflandırmıştır (Çizelge 2.1).

**Asidik köpürtücüler** 1960'lerden beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanımları çevresel etkiler nedeniyle azalmıştır. Sadece asidik pH'larda iyi çalışırlar. Alkali ortam içinde bu köpürtücülerin köpürme özellikleri azalır. Kömür katranı ve ham petrolün damıtılmasından gaz haline getirilmesi esnasında bir yan ürün olarak elde edilirler. Cevher zenginleştirme tesislerinde en yaygın kullanılan iki çeşidi fenoller ve sülfonatlardır (Bulatovic, 2007).

Çizelge 2.1. Köpürtücülerin Sınıflandırılması (Bulatovic,2007).

Asitler	Nötr	Temel
Fenoller	Alifatik Alkoller	Pridin Bazı
Alkilaril Sülfonatlar	Halkalı Alkoller Poliglikol Eterleri Poliprofilen Glikol Eterleri Poliglikol Gliserol Eterler	

Fenolleraromatik alkoller olarak bilinir.Bu gruptan tipik bir köpürtücü, orto (o) (% 35-40), meta (m) (% 25-28) ve para (p) (% 35-40) kresollerin karışımından oluşan kresoldur.Kresoller ve fenollerin yakın homologları, toluen asitlenme ürünleridir.Toluen, bir fenil grubundan oluşan mono-substituent türevidir.

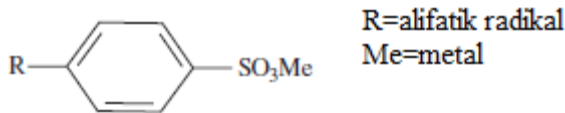
Bir köpürtücü olarak fenollerin kullanımı ile ortaya çıkan bir sorun, değişken bileşimdir bu köpürtücünün hangi kaynaktan türetildiğine bağlıdır. Ksilanol köpürtücüler aromatik alkol grubuna aittir. Görünüşte, ksilenol koyu kahve rengi sıvıdır ve fenollerle benzer olarak aynı karakteristikte kokarlar. Ksilanol köpürtücü yüksek moleküler yapıdaki fenol izomerlerin bir karışımıdır (Bulatovic, 2007).

Çizelge 2.2. Trikesol ana bileşenlerinin fiziksel özellikleri (Bulatovic, 2007).

ÜRÜN	FORMÜLÜ	DONMA SICAKLIĞI(°C)	KAYNAMA SICAKLIĞI(°C)
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	43.3	182.0
o-Kresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	31.6	191.0
m-Kresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	11.9	202.0
p-Kresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	35.0	202.0
o-Oksilol	1,2-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	-28.0	144.0
m-Oksilol	1,3-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	-54.0	139.0
p-Oksilol	1,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	13.0	138.0
Toluen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-93.0	110.6
Naftalin	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	80.0	218.0

Metil gruplarında altı farklı oluşum varsayabiliriz. Bu köpürtücüler ayrıca damıtma yoluyla da kömürden elde edilir. Benzer şekilde fenollerde bu köpürtücüler gibi değişken bir bileşime sahiptir. Fenoller ve ksilenolün seçiciliğini ve gücünü arttırmak için uzun zincirli yağ asitleri ilave edilebilir (Bulatovic, 2007).

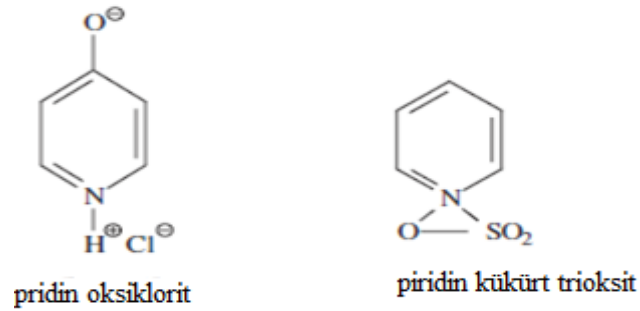
Alkilaril sülfonat, bir aromatik hidrokarbon ve bir alifatik radikalden oluşmuş yapıya sahip anyonik köpürtücü olarak tarif edilebilir. Aslında bu köpürtücüler iyi köpürtme özelliklerine sahip olmasına rağmen, kullanım alanları sınırlıdır, çünkü çoğunlukla alkilalir sülfonat köpürtücüler sülfür kükürt kalıntıları içererek flotasyona müdahale ederler (Bulatovic, 2007).



Şekil 2.2 Alkilaril Sülfonat yapısı

**Basit köpürtücüler:** Bu köpürtücüler piridin ve türevleridir, kömürün damıtılmasından yan ürün olarak elde edilirler. Çoğunlukla bazı metal cevherlerinin flotasyonunda Eski Sovyetler Birliği tarafından kullanılmıştır. Avrupa'da, benzer bir ürün oksitli kurşun mineralinin flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılmıştır. Aşağıdaki iki yapı da köpürtücü olarak kullanılmaktadır (Bulatovic, 2007).





Şekil 2.3. Basit köpürtücülerin yapısı

**Nötr köpürtücüler:** Ana metal cevherleri, oksitli mineraller ve endüstriyel minerallerin flotasyonunda yaygın olarak kullanılan en önemli köpürtücü grubudur. Hem asidik hem de alkali ortamda kullanışlıdır. Bu köpürtücüler kimyasal bileşim olarak geniş farklılıklar gösteren, altı alt gruba ayrılırlar (Bulatovic, 2007).

Alifatik alkoller: Bu köpürtücüler 6-8 karbon atomu ihtiva eden alkollerin karışımlarıdır. Bu gruptan en iyi bilinen köpürtücü metil izobütil karbinol (MIBC)'dir:(Bulatovic, 2007).

Alifatik alkol köpürtücüler farklı atom uzunluklarının karışımı olarak ve farklı hidrokarbon yağlarının karışımı halinde kullanılmaktadır. Aşağıdaki alkol karışımlarının flotasyonda kullanımı yaygındır.

- C<sub>6</sub> – C<sub>9</sub> alkollerin karışımı: Özgül ağırlığı 0.856 ve viskozitesi 5 cps. Bu köpürtücüler son derece seçici olarak kabul edilmektedir.
- C<sub>4</sub> – C<sub>7</sub> alkoller + hidrokarbon yağı karışımı: Özgül ağırlığı 0.82, viskozitesi 4.5 cps. Bu köpürtücüler genellikle bakır-molibden veya molibdenin flotasyonu sırasında kullanılırlar.
- C<sub>5</sub> – C<sub>8</sub> karbon alkol karışımı: Özgül ağırlığı 0.81-0.83, vizkozitesi 6.9 cps. Bu köpürtücü diğer alkol karışımlarından daha az kalıcı köpüğe sahiptir (Bulatovic,2007).

Çizelge 2.3. Alifatik alkol köpürtücülerinin özellikleri (Bulatovic, 2007).

Alkol	Formülü	Donma noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/ml)	Çözünürlük (g/l)
<b>n-pentanol</b>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	-75	137.3	0.8144	23.0
<b>İzoamil alkol</b>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	-117	132	0.813	25.0
<b>Hekzanol</b>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	-52	156.5	0.819	6.0
<b>Heptanol</b>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	-34	176	0.822	1.8
<b>MIBC</b>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub>	-90	132	0.808	17.0
<b>Kaprilikasit</b>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub>	-38	179	0.822	12.0
<b>4-Heptanol</b>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHOH(CH <sub>2</sub> )CH <sub>3</sub>	-41.2	161	0.8183	4.5

Halkalı alkoller: Flotasyonun kullanılmaya başladığı ilk zamanlarda okaliptüs yağları ile kullanımı yaygın olan bu köpürtücüler temel olarak farklı halkalı alkollerin karıştırılmasıyla sentetik bir karışım olarak ya da çam reçinesinden üretilir.

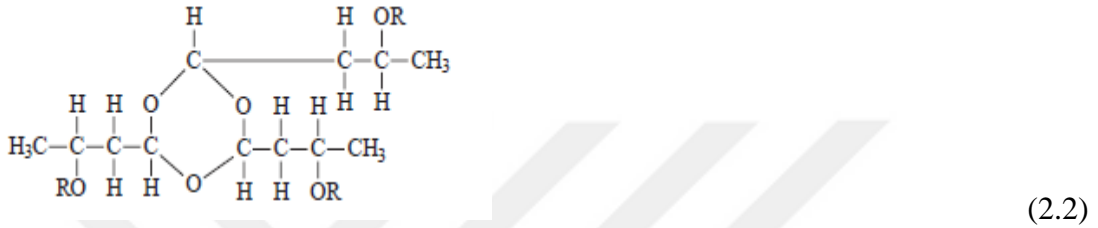
Diğer köpürtücülere göre kil minerallerinin varlığında daha az duyarlıdır, bu nedenle genellikle temel metaller ve kil mineralleri içeren porfirik bakır cevherinin flotasyonunda alifatik alkol köpürtücüler ile karıştırılarak kullanılırlar. Ayrıca, halkalı alkoller köpük kararlılığını artırmak için yağ asidi flotasyonunda çam yağına katkı maddesi olarak kullanılır. Halkalı alkollerin kullanımındaki en büyük problem doğal kaynaklardan oluşturulduğundan dolayı oluşumunun sabit olmamasıdır bu durum köpürtme özelliklerini değiştirmektedir (Bulatovic, 2007).

Çizelge 2.4. Halkalı alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Bulatovic, 2007).

İsim	Kimyasal Formül	Polar Grup	20° C de Çözünürlük	20° C de Yoğunluk	Kaynama Noktası(°C)	Donma Noktası(°C)
α-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-OH	2.2	0.919	219	-33
β-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-OH	1.98	0.935	220	-35
γ-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-OH	2.09	0.925	222	-36
Borneol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-OH	0.64	1.010	212	-210
Anetol	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	O-C	Çözünmez	0.933	233	-
α-Kafur	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	C=O	1.60	0.912	201	-179
α-Pinen	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	-	Çözünmez	1.00	230	-65

Alkoxy parafinler: Bu grup köpürtücüler, Güney Afrika'da Dr. Powell tarafından 1951 yılında geliştirilmiştir. Ana metaller ve oksitli maden cevherlerinin flotasyonunda yaygın olarak kullanılmalarına rağmen mevcut özellikleri ve kimyasıyla ilgili bilgiler sınırlıdır. Bu köpürtücülerin köpürtme özellikleri, köpük kararlılığı ve kil minerallerinin varlığında kararlılık açısından alifatik ve halkalı alkollerden çok daha

farklıdır (Bulatovic, 2007). Son yıllarda, bir dizi köpürtücü aşağıdaki iki ana yapıdan üretilmiştir:



Poliglikol eterleri: Dow Chemicals Tutor ve Cyanamid Booth 1950'leri başında ilk poliglikol eter köpürtücü serisini geliştirmiştir. Bu köpürtücüler sentetik fren sıvısından üretilen metoksi polipropilen glikoller ya da polipropilen glikol metillerdir (Bulatovic, 2007).



Bazı poligol eterler bütanol veya etilen oksitin yoğunlaştırılmasıyla üretilmektedir ve reaksiyon sonucunda ürün olarak bütanol ve kostik soda oluşur. Poligol eter köpürtücülerin gücünü ve performansını molekül ağırlığı ve karbon zincirleri belirlemektedir. Daha yüksek molekül ağırlıklı köpürtücüler daha kalıcı köpük oluşturmaktadır, daha düşük bir molekül ağırlığında ise köpürtücünün seçiciliği artmaktadır.

Farklı üreticiler tarafından üretilen poliglikoleterler farklı davranmaktadır. Örneğin, Hoechst (Almanya) tarafından üretilen poliglikol eter köpürtücüler Dow tarafından üretilen köpürtücülere göre daha seçici köpük üretmektedir. Bütanol ve etilen oksitten imal edilen poliglikol eterler daha seçicidir ve bütanol ve kostik sodadan üretilen köpürtücü daha iyi bir taşıma gücüne sahiptir (Bulatovic, 2007).

Polipropilen glikol eterler: Suda kısmen çözünürler, polipropilen glikollerin monometil eter karışımı aşağıdaki formüle sahiptir:



Normalde ana metallerin flotasyonunda kullanılmaktadır. Polipropilen glikol eterler kalıcı köpük üretir ve nispeten yüksek taşıma gücüne sahiptir (Bulatovic, 2007).

Poliglikol gliserol eterler: İnce yapılı ve güçlü köpük üretilmektedir (Bulatovic, 2007).



### 2.2.3. Bilinen Köpürtücülerin Köpük Yapma Nitelikleri

Flotasyonda özel köpürtücüler ve köpürtücü-toplayıcıları olarak kullanılan başlıca maddelerin köpük yapma özellikleri kabaca şöyle tanımlanabilir.

Çam yağı, flotasyon hücresinden alındığında kolayca kırılan sıkı örgü dokulu küçük kabarcıklı bir köpük oluşturur. Bu köpük yapısı daha gevşek yapılı köpüklerde olduğu gibi tanelerin köpükten kolaylıkla düşmesine izin vermeyip bazı durumlarda başka köpürtücüler kadar yüksek içerikli konsantre vermemesine karşın daha yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır. Aşırı miktarda kullanılan çam yağı yüzdürmeköpüğünü düzleştirme eğiliminde, hacmini azaltma ve yüzeyde köpük patlamasına neden olma eğilimindedir.

Kresilik asitlerin kullanılmasından oluşan köpükler yapı olarak genellikle çam yağı ile üretilen köpüklere benzer olmakla birlikte daha iri kabarcıklıdır. Köpürtücünün gereğinden fazlasının kullanılması köpük hacmini azaltır ve köpüğün patlamasını arttırır.

Alifatik alkollerle üretilen köpükler çoğunlukla kabarcık boyutu bakımından daha iridir fakat çamyacı ve kresilik asitler ile elde edilen köpüklere oranla daha gevşek yapıdadırlar. Bu köpürtücülerin yüzdürme hücresine çok fazla miktarda

eklenmeleri daha sık bir yapının oluşmasına yol açmakla birlikte çam yağı ve kresilik asitler için olduğu gibi köpük hacminin belirgin ölçülerde azalmasına yol açmamaktadır. Birçok durumda alkoller ile üretilen köpük başka köpürtücüler ile üretilenler kadar duraylı olmamakta ve gerekli tam hacmini sürdürebilmesi için adım-adım ekleme gerektirmektedir. Bu eğilim, birden daha çok flotasyon devresinin bulunduğu ve köpürtücünün birinci devreden daha sonra gelen devrelere gereğinden fazla köpürtücü aktarılmasının istenmediği diferansiyel yüzdürme işlemlerinde yararlı olmaktadır. Ayrıca sıkı köpük yapısı gangın giderilmesine yardımcı olmakta ve özellikle yüksek oranda şlam içeren cevherler için konsantre içeriğini artırmaktadır.

Polipropilen glikoller ile bunların, aslında propilen oksidin polimerleri olan ve iyonsal olmayan yüzey eylemleri olan kısa zincirli eterleri duraylı köpük yapıları üretmektedir. Oysa bu köpükler yüzdürme hücresinden alındıktan sonra kolayca kırılmaktadır. Sınırlı su çözünürlüğü olan bu köpürtücüler çok daha sıkı örgülü köpükler üretmekle birlikte köpük yüzeyinde köpük patlamasına neden olmazlar. Bu köpürtücüler bazı durumlarda suda çözünmez klasik köpürtücülerden daha seçimli olup daha düşük derişimlerde bunların performansını yineleyebilmektedirler. Bu etken bazı işlemlerde poliglikol bileşiklerinin yüksek fiyatlarını denkleştirmektedir.

Trietoksibütan, çam yağı köpüklerini arındıran köpükler üretir. Böyle köpükler, fazla miktarda kullanıldığında daha az düzenleme ve köpük patlaması eğilimini gösterirler ve bu açıdan da poligol köpürtücülerin ürettikleri köpüklere benzerler. Trioksibütan ve ilintili köpürtücüler günümüzde çeşitli cevherler için Afrika'daki yüzdürme tesislerinde geniş ölçüde kullanım alanı bulunmaktadır.

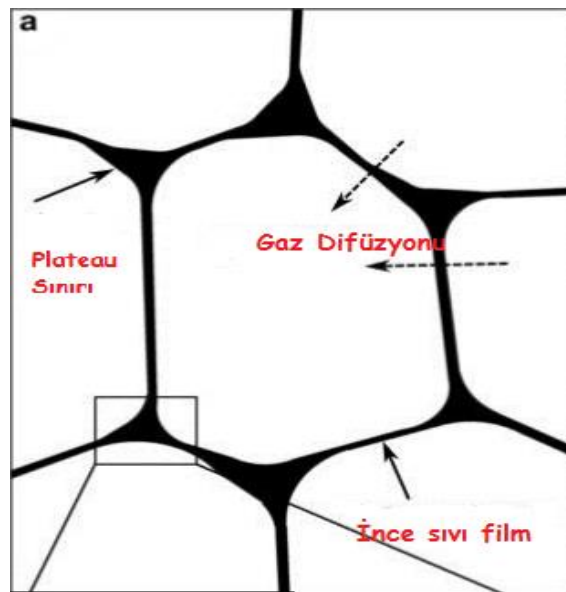
Kükürtsüz cevherlerin yüzdürülmesinde kullanılan yağ asitleri, sülfonatlar ve amin toplayıcıların ürettikleri köpükler sıkı dokulu ve kararlı kabarcık topakları olup çoğunlukla su jetleri ve fiskiyeleri ile bile parçalanmasında zorluklar çıkmaktadır. Flotasyon işletmecileri hacimli, gereğinden fazla köpüren ve kararlı dairesel köpük yapılarından, bunların yüksek içerikli konsantre üretmeye elverişli olmamaları ve elden geçirimlerinin zor olması nedeniyle kaçınmak isterler. Kükürtsüz mineral toplayıcılarıyla birlikte köpürtücülerin eklenmesi bu köpük koşullarını zaman zaman

ve özellikle cevher pülünde büyük miktarlarda şlam bulunması durumunda iyileştirmektedir.

Her ne kadar doğal ve yapay kaynaklardan elde edilen çeşitli bileşimler köpük yapma nitelikleri gösterirlerse ve bu yüzdürme ile ilgili patent yazımında köpürtücü olarak gösterilmekteyseler de, bu malzemelerin çoğu köpürtücü veya köpük düzenletici olarak büyük-ölçekli uygulamalarda sınırlı sayıda kullanım alanı bulmuşlardır. Örneğin, kreozotlar iri-boylu mineral granülleri ya da orta ürün taneleri için köpüklerin yük taşıma sığalarını arttırmak için köpürtücülerle birlikte kullanılırlar. Ayrıca hidrokarbonlar köpük yapısını geliştirmek ve kararlılaştırmak ve kresilik asitler ve alkoller gibi köpürtücülerin etkilerini geliştirmek için kullanılırlar. Krozen ve fuel oil çoğunlukla yukarıda anlatılan sabunlaşmış (hidrolize olmuş) yağ asitleri ve don yağlarının bazen neden oldukları hacimli fazla köpüklenmeleri etkinlikle denetlemektedirler.

### 2.3.Flotasyonda köpük kararlılığı

Hava kabarcığı ve köpük kelimeleri aynı şeyi ifade etmek için birbirinin yerine kullanılsa da yapılan çalışmalar açıkça bu kelimelerin farklı anlamlara sahip olduğunu göstermektedir. Hava kabarcığı, hava ve sıvıdan oluşan çift fazlı bir sisteme sahip olup, tipik olarak çok yüzlü gaz kabarcığı ile sıvı filmin arasında oluşmaktadır. Bu sistem şekil 2.4'de gösterilmiştir (Shumba, 2014).



Şekil 2.4. Hava kabarcığı, hava ve sıvıdan oluşan çift fazlı bir sistem (Shumba, 2014).

Ancak köpük, hava kabarcıkları, katılar ve sudan oluşan üç fazlı bir yapıdır. Hava kabarcığının kararlılığı, yüzeyde parçacıkların patlaması ve atmosfere hava kaybetmesiyle ilişkili iken köpük kararlılığı, köpük yüzeyindeki kabarcık boyutu ve köpük yatağı içindeki birleşme oranı ile ilişkilidir. Köpük kararlılığı hava kabarcığının patlamaya ve birleşmeye karşı direnci veya köpüğün ömrünün ölçülmesi olarak tanımlanabilir. Köpükler kararlı yapıda veya kararsız yapıda olabilirler; kararlı yapıdaki köpüklerin daha kalıcı ve daha uzun bir yaşam süresi varken kararsız yapıda olan köpükler arasındaki sıvı drenajı bozularak pülp fazına geri dönerler. Bu durumda kararlı ve kararsız kabarcığın birleşmesi ile kararlı ya da daha az kararlı kabarcık oluşumuyla sonuçlanmaktadır (Shumba, 2014).

### **2.3.1.Köpük kararlılığını etkileyen faktörler**

Köpük kararlılığı flotasyonun önemli konularından biridir. Bu yüzden, köpük kararlılığını etkileyen faktörler geniş ölçüde araştırılmaktadır. Köpük kararlılığı özellikle köpürtücüye (çeşit ve konsantrasyon), miktara, askıdaki taneciklerin doğasına, özellikle parçacıkların hidrofobikliğine ve boyutuna bağlıdır. Ancak, diğer parametreler örneğin, kullanılan suyun kalitesi, gaz dispersiyonu ve parçacıkların temas açısı da köpük kararlılığını etkileyebilir (Farrokhpay, 2011).

#### **Parçacık boyutu ve şekli**

Parçacık boyutu flotasyonda önemli bir parametredir (Feng, 1999). Hoffman (1913) küçük parçacıkların varlığında köpük kararlılığını etkileyen hipotez ortaya koymuştur (Hunter ve ark., 2008). Bu hipotez ayrıca Szołkowski ve Freyburger (1985) tarafından da açıklanmıştır. Szołkowski ve Freyburger (1985) ince kuvars partiküllerinin kabarcıkları birleşmeye daha dirençli hale getirdiğini ve stabil köpüklü köpük üretimini teşvik ettiğini bulmuştur (Rahman ve ark., 2012). Köpük kararlılığının bir ölçüsü olarak köpük kararlılığı faktörü kullanılmış ve aynı zamanda daha ince parçacıklar beslenerek dinamik köpük kararlılığı faktörünün arttığı görülmüştür (Shumba, 2014).

İri parçacıkların çoğunluğu gerçek flotasyonla kazanılırken, çok az bir miktarı sürüklenme boyunca kazanılmaktadır. Kaba parçacıklar ise kabarcıklarla kolayca

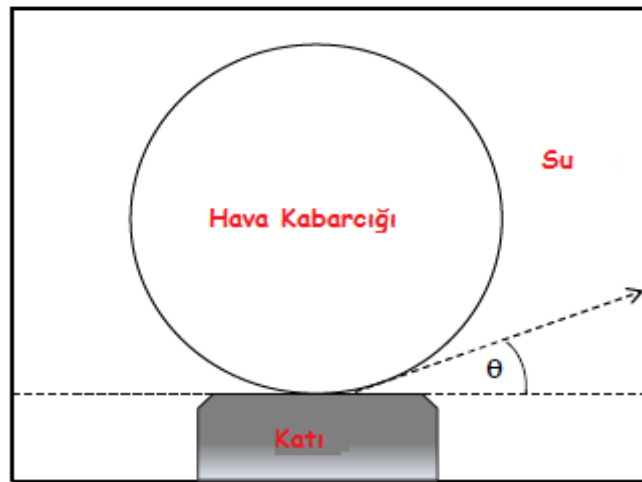
çarpışarak, ağırlıklarından dolayı kolayca kabarcık yüzeyinden ayrılmaya neden olmaktadır.

Kaba parçacıkların hidrofobikliğini arttırmak için uzun karbonzincirli toplayıcı veya fazla miktardatoplayıcı kullanılmaktadır. Parçacık büyüklüklerine bağlı olarak parçacık 50 mikrondan daha büyük olduğunda nadiren geri kazanım mekanik taşınma ile olur; bu yüzden hidrofobik kaba parçacıklar genelde sıkışma yoluyla veya diğer mekanizmalarla taşınmaktadır(Shumba, 2014).

Genellikle ince ve kaba parçacıkların yüzdürülmesi zor iken orta boyuttaki parçacıkların kazanımı daha fazladır (Shumba, 2014).Parçacıkların boyutu olduğu kadar şekli de önemlidir; yuvarlak veya küresel parçacıklar sıvı filmi inceltmeyi ve koparmayı yaklaşık 0.1 sn de başarırken keskin kenarlı parçacıklar sıvı filmi yaklaşık 0.02 sn de koparmaktadır (Farrokhpay, 2011).

### Parçacıkların hidrofobikliğı

Katı parçacıkların doğal hidrofobikliğı, parçacıkların kabarcıkların üzerine yapışma kabiliyeti olarak tanımlanır. Film kararlılığı modelleri, temas açısı azaldıkça film kararlılığının arttığını öngörmektedir. Parçacık-köpük kararlılığı hidrofilik parçacıkların varlığında daha düşüktür. Maksimum köpük kararlılığını orta boyuttaki hidrofobik parçacıkların oluşturduğu bulunmuştur. Dippenaar ve Harris tüm boyutlardaki hidrofobik parçacıkların köpüğü söndürebildiğini, köpürtücü parçacıklara yapışmadıkça, kararsızlaştırma etkisinin köpürtücü çeşidinden bağımsız olduğunu gözlemlemişlerdir (Farrokhpay, 2011).



Şekil 2.5. Üç fazlı sistemlerde (mineral-su-hava) doğrusal temas durumu



Katı parçacıkları, sıvı ve gaz kabarcıklarının yüzeyleri arasındaki etkileşim Young / Dupre eşitliği ile belirlenebilmektedir.

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (2.6)$$

Burada  $\gamma_{lv}$  sıvı/hava ara yüzey gerilimi,  $\gamma_{sv}$  katı/hava ara yüzey gerilimi,  $\gamma_{sl}$  katı/sıvı ara yüzey gerilimi ve  $\theta$  temas açısıdır. Bu yüzey gerilimleri, parçacıkların farklı temas açılarında köpüğün kararlılığının belirlenmesinde kullanılmıştır (Shumba, 2014).

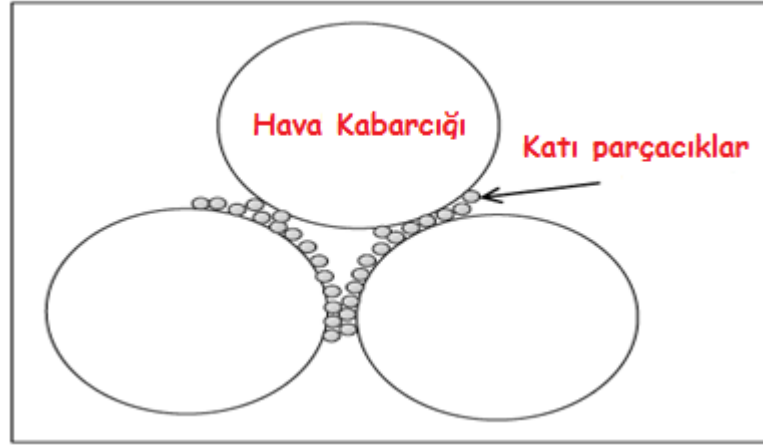
### **Parçacıkların hareketi**

Köpük içindeki hidrofilik ve hidrofobik parçacıkların ikisi içinde iki çeşit olasılık kabul edilmektedir: bu parçacıklar hava kabarcığının lameline yapışır ya da bu parçacıklar lamele yapışmazlar ve bağımsız olarak Plateau sınırı boyunca hareket ederler. Lamele yapışan parçacıklar hidrofobik parçacıklar iken lamele yapışmayan parçacıklar hidrofobik ve hidrofilik parçacıklar olabilir (Chen, 2012).

### **Parçacık özelliği:**

Flotasyon hücresi içindeki katı parçacıkların varlığı köpük fazı boyunca köpük kararlılığını, doğru flotasyonda ise taşınma sırasında hava kabarcığının yüzey etkileşimini etkilemektedir. Gerçek flotasyon boyunca parçacıkların hava kabarcığıyla birleşmesi hidrofobikliğe ve parçacığın boyutuna bağlıdır. Ancak bu parçacık karakteristikleri köpük kararlılığı üzerinde oldukça etkilidir ve pülp fazının etkilerini geçersiz kılabilir.

1982 yılında Dippenaar çalışmasında kabarcık yüzeyi ve parçacık arasında köprü kurulduğu zaman kararlı bir film meydana geldiğini belirlemiştir. Dippenaar çalışmasında ayrıca az sayıda hidrofobik parçacıkların varlığında köpük kararlılığının azaldığı sonucuna varmıştır. Ancak parçacıkların büyük bir kısmı tek-tabaka (sterik bariyer) oluşturabilmektedir. Bu tabakanın oluşumu ara yüzeylerin birbirine dokunmasını engeller ve böylece parçacıkların bir araya gelmesi de engellenmektedir (Shumba, 2014).



Şekil 2.6.Kabarcık ara-yüzünde parçacıkların etkisi(Shumba, 2014).

### **Flotasyon reaktiflerinin eklenmesi:**

Flotasyon reaktifleri kabarcığın yüzeyindeki soğurum yüzeylerinin yapısını ve bu yüzeye bağlanan tanelerin özelliklerini değiştirerek köpük kararlılığını etkilemektedir. Tanelerin tutunma kuvvetleri artan kimyasallar ile aynı zamanda köpük kararlılığını da arttırmaktadır. Bastırıcılar ise tanenin kabarcığa tutunmasını engellerler ve tanenin köpükten uzaklaşmasını sağlayıp kararlılığını azaltırlar (Ekmekçi, 2005)

Yukarıda bahsedilen durumlar köpürtücünün doğru kullanımında oluşan durumlardır. Genelde çözeltinin köpürtülmesiyle köpürtücünün yüzey aktifliği arasında açık bir bağlantı vardır. Seyreltik çözeltilerde yüzey gerilimini çok düşüren köpürtücüler kalıcı veya kararlı köpük oluştururlar. Eğer sıvı, sıvı-gaz arayüzeyinin yüzey gerilimini düşüren bir bileşene sahipse, bu arayüzey kararlı hale gelir.

Köpük kararlılığını etkileyen bir diğer faktör ise yüzey aktif maddenin soğurulmuş tabakalarının viskozite ve plastiğidir. Yığın viskozitesi kararlılığı etkilemektedir. Bu durum özellikle geçici veya kararsız köpük yapısında görülmüştür. Çünkü ortam ne kadar viskoz ise, kabarcıklar arasındaki suyun drenajı o kadar yavaş olur ve böylece kabarcıklar daha az birleşirler. Genel olarak köpük filminin drenajını azaltan faktörler, köpüğün kararlılığını arttırırlar (Ekmekçi, 2005).

### **Kabarcık boyutu:**

Kararlılığı etkileyen diğer faktör ise köpüğü oluşturan kabarcıkların boyutudur. Kabarcıkların boyları büyüdükçe kırılma olasılığı artar. Kırılgan köpük ise kararsız

köpüğe işaret eder. Bu tip köpükler içerdikleri minerali konsantreye getirmeden kırılırlar (Ekmekçi, 2005).

### **2.3.2.Köpük Kararlılığının Ölçülmesi**

Köpük kararlılığını ölçmek için bazı teknikler kullanılmaktadır. Ancak bu tekniklerin köpük sistemlerinde uygulanabilir olup olmadığı her zaman net değildir. Bugüne kadar, köpük kararlılığını ölçmek için belirli bir kriter olmamasına rağmen birkaç parametre köpük kararlılığının göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu parametreler yarılanma ömrü süresi, dengedeki maksimum köpük yüksekliği, köpük fazının genelinde kabarcık büyümesi, hava geri kazanımı, köpük fazının üstünde kabarcıklara katı yüklenmesi, köpük hızı, köpük artış hızıdır.

Genellikle, köpük kararlılığının değerlendirilmesinde iki çeşit test kullanılmaktadır: dinamik ve statik testler. Dinamik testler, köpük oluşumu ve bozulma oranları arasındaki dinamik bir dengedir. Statik testlerde ise köpük oluşum hızı sıfırdır; köpüğün daha fazla çalkalanmasıyla veya gaz girişi ile yenilenme olmadan çökmesine izin verilir. Dinamik ve statik metotların birleşimi köpük kararlılığının ölçümünde önerilmektedir.

Dinamik köpük kararlılığı faktörü laboratuvar ölçeğindeki mineral flotasyon sistemlerinde köpük kararlılığını ölçmek için kullanılmaktadır. Düşük köpürtücü konsantrasyonlarında (30-40 g/ton) dengedeki köpük hacmi artan hava akış oranı ile artmaktadır. Ancak, yüksek köpürtücü konsantrasyonlarında (50-60 g/ton), köpük hacminin artması durmaktadır. Eğer bentten geçen havanın oranı ile flotasyon performansı arasındaki ilişki biliniyorsa; en iyi köpük stabilitesini ve flotasyon performansını elde etmek için köpük yüksekliğini yönlendirmenin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Tutarlı bir şekilde köpük kararlılığının nicel olarak ölçülmesi de bir araştırma konusudur. Yapılan çalışmalarda mineral kalitesi ile köpük hızı ve köpük çöküş oranı arasındaki ilişki köpük görüntülerinin otomatik olarak analiz edilmesi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu dijital görüntüleme yöntemi köpüğün rengini ve şeklini tanımlamak amacıyla flotasyonda giderek benimsenmektedir (Farrokhpay, 2011).

## Taşmayan Sistemler

### Bikerman testi

Bikerman dinamik bir köpük kararlılığı faktörü tanımlayarak köpük stabilitesini, köpüğün hacmini gaz akış hızına oranlayarak bulmuştur.

$$\Sigma = \frac{V_f}{Q} = \frac{H_{max} \times A}{Q} \quad (2.7)$$

Bu faktör köpük kesit alanı A ile tasfiye edilmiş bir köpük sütununda bir denge yüksekliği ( $H_{max}$ ) büyüme hızını gözlemleyerek elde edilmiştir. İki ve üç fazlı sistemlerde birçok araştırmacı tarafından uygulamaya konmuştur (Shumba, 2014).

### Taşan Sistemler

Bikerman testi gibi yöntemler, taşmayan sütunlar gibi süreksiz sistemlerde en uygun yöntemdir. Ancak endüstride açık ve devamlı sistemlerde köpük stabilitesinin ölçülmesi ve bunun dikkate alınarak tasarlanmış olması gerekmektedir. Çoğu endüstriyel flotasyon işleminde köpük yüzeyi gözlenerek köpük kararlılığını anlamak için köpük rengine, kabarcık boyutuna, yüzey patlama hızına ve köpüğün hızına bakılır. Laboratuvarda kullanılan ölçümler ve endüstriyel ölçekte kullanılabilecek olanlar arasında bağlantı kurmak önemlidir (Shumba, 2014).

### Köpük büyüme oranı

Barbian ve arkadaşları (2005) tarafından Bikerman testinden yola çıkılarak denenmiştir. Pülp-Köpük ara yüzeyi referans olarak kullanılarak sütun içindeki köpük yüksekliği zamanın bir fonksiyonu  $H(t)$  olarak ve eşit denge yüksekliği  $H(max)$  ile ölçülmüştür.

Buradan bentten taşması beklenen fraksiyonlar, eşitlik 2.8'den hesaplanmaktadır. Köpük kararlılığı faktörü( $\tau$ ) köpük büyüme oranının karakteristiğidir. Burada Q hava akış oranı A ise kolon kesit alanıdır (Shumba, 2014). Elde edilen köpük kararlılığı sonuçlarının köpük boyutu dağılımı, ortalama kabarcık boyutu ve köpük akış hızının görüntü analizinden elde edilen verilerle karşılaştırılabilir olduğu tespit edilmiştir (Shumba, 2014).

$$\beta(H) = \frac{(H_{max} - H(t)) A}{\tau Q} \quad (2.8)$$

### Hava geri kazanımı

Köpük stabilitesinin ölçülmesinde diğer kullanılan ölçüm yöntemi hava geri kazanımıdır. İlk olarak Moys tarafından önerilmiştir ve Woodburn ve arkadaşları tarafından değişiklik yapılmıştır.

$$\alpha = \frac{V}{Q_a} = \frac{v_f h_{lip} w}{Q_a} \quad (2.9)$$

Burada taşan köpüğün hacmi V,  $Q_a$  ise flotasyon hücre sine hava beslemesi,  $V_f$  üst yüzeydeki köpük hızı,  $H_{it}$  taşan köpüğün bentteki yüksekliği, W taşan köpüğün bentteki uzunluğudur (Shumba, 2014).

### Kabarcık birleşme oranı

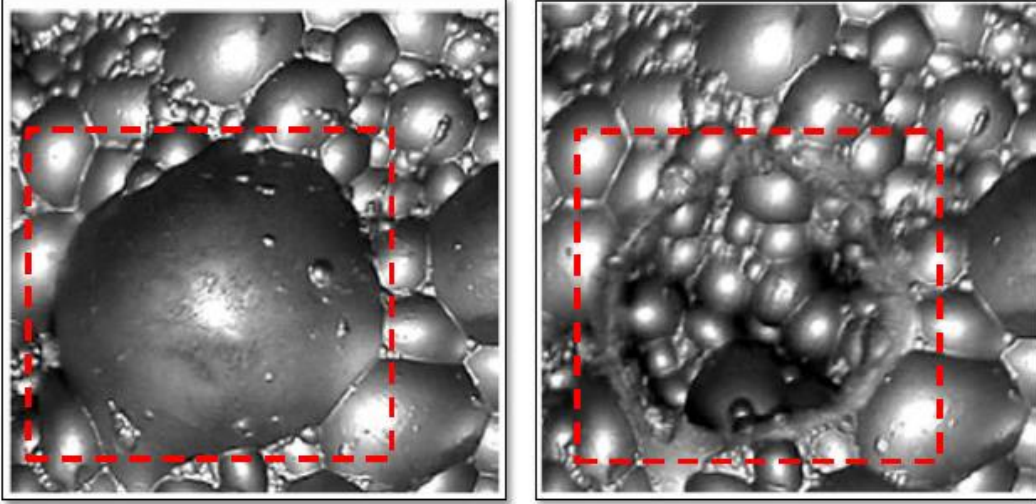
Kararsız köpükler, baloncuklar arasında lamellerin incilmesi nedeniyle artan birleşme ile karakterize edilirler. Kabarcıkların hangi oranda birleştiği pülp-köpük ara yüzeyinin uzaklıkla fonksiyonu olarak köpük kararlılığının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Çeşitli köpük yüksekliğinde kabarcıkların ortalama büyüklüğü Sauter ortalama çapı ( $D_{32}$ ) kullanılarak hesaplanmaktadır (Shumba, 2014).

$$d_{32} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (2.10)$$

### Kabarcık patlama oranı

Birleşerek oluşan büyük kabarcıklar genellikle daha zayıf ve patlamaya yatkındır. Bu kabarcıkların hangi oranda patladığı köpük kararlılığının göstergesidir. Köpüğün patlamasının fazla olması köpüğün kararsız olduğunu gösterir.

Araştırmacılar köpük patlama oranının ölçülmesinde görüntüleme yazılımının kullanılmasını önermiştir. Görüntüleme yöntemi ile alınan köpüğün patlamasından önceki ve sonraki görüntüler şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Görüntü analizi yöntemi kullanılarak kabarcık patlamalarının nerede olduğu gözlemlenmiştir (Shumba, 2014).

Bu görüntüler kabarcık patlama sayısını sayarak tespit edip patlama oranına odaklanan Morar ve diğerleri (2012) tarafından elde edilmiştir. Ancak görüntü analizi farklı operasyon parametrelerinde aynı görüntüyü sonuç olarak verebildiği için verimsiz olduğu tespit edilmiştir (Shumba, 2014).

Görüntü analiz sisteminde pülple temas gerçekleşmeden ölçüm yapıldığı için köpük fazının fiziksel görünümü etkilenmeden proses kontrolü yapılabilmektedir. Köpüğün taşıdığı mineral miktarını (köpük yükünü) görüntülediği için, atık numunesini temel alan klasik sisteme göre daha kısa sürede sonuca ulaşılabilir. Ekonomik ya da teknik nedenlerle numune almanın bazı akışlarda olanaksız olması ve cevher karakterindeki değişimlerin köpük yapısındaki değişimler ile izlenebilmesi gibi nedenlerden dolayı görüntü analiz sistemi daha avantajlı olmaktadır. Kullanımı kolaydır, güvenilir bir yöntemdir ve daha az bakım masrafı gerektirmektedir.

Flotasyon işleminde en uygun performansın elde edilmesinde otomatik olarak kontrolü sağlayan görüntü analiz sistemi, operatörün tecrübesine ve becerisine bağlı kalmak yerine daha hassas, güvenilir, hızlı ve verimli bir şekilde kontrolü gerçekleştirir. Bu sayede yapılan performans değerlendirmesi ile karşılaşılan problemlere karşı eş zamanlı bir müdahaleyi mümkün kılar. Köpük fazının eş zamanlı görüntülenmesi fikrini ilk olarak Woodburn ortaya atmıştır. Woodburn optimum köpük yapısının görsel olarak anlaşılabilirliğini ve bunun nicel olarak görüntü analiz teknikleriyle ortaya konulabileceğini ileri sürmüştür. Görüntü analiz sistemi üzerinde

Cape Town Üniversitesi 'nin geliştirdiği SmartFroth™ yazılım programından başka Şili Katolik Üniversitesi Aceflot'u, Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (JKMRC) JKFrothCam'i ve Outokumpu Frothmaster'ı geliştirmiştir.

Görüntü analiz sistemlerinin uygulanabilirliği genellikle kömür, sülfürlü cevherler ve platin grubu elementlerin bulunduğu cevherlerde çalışılmıştır. Köpüğün rengi, yapısı, kabarcık hızı, alanı ve duraylılığı gibi parametreler ile flotasyon performansı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Ekmekçi ve Şahin, 2006).

#### **2.4.Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar**

Akdemir ve Sönmez'in (2003) Zonguldak bitümlü kömürünün kaolen ve illit killeri varlığında flotasyonuna tane boyutunun ve pervane hızının mekanik taşınma ile ilişkisini inceledikleri çalışmada, tane boyutu arttıkça su ve gang minerallerinin kazanımının önemli ölçüde arttığını ve çok daha yüksek kül içeriğine sahip ürünlerin elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, artan toplayıcı miktarı ile su, kül ve kömür kazanımı artmakta ve pülp yoğunluğu hem kömürün hem de gangın mekanik taşınmasını ve geri kazanımını etkilemektedir. En seçici sonuçlar ve en düşük mekanik taşınma en düşük katı konsantrasyonunda elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda tane büyüklüğünün mekanik taşınmanın flotasyon verimini etkileyen en önemli parametre olduğu görülmüş ve pervane hızı ile pülp yoğunluğunun mekanik taşınmada daha az etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şahin ve Ekmekçi (2006) % 0,79 bakır içeren Küre bakır cevheri ile gerçekleştirdikleri çalışmada köpürtücü dozajı ve köpük yüksekliği gibi bazı parametrelerin flotasyon performansına ve köpük görüntüsüne (kabarcık hızı ve alanı) etkilerini araştırarak köpük görüntüsü ile flotasyon performansı arasındaki ilişkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, düşük köpürtücü dozajında kabarcıkların birleşmesi nedeniyle daha büyük kabarcıklar, yüksek köpürtücü dozajında ise küçük kabarcıklar elde edilmiştir. Köpük yüksekliği artırıldığında ise kabarcık hızı azalırken, ortalama kabarcık alanın arttığı gözlemlenmiştir. Cu ve pirit verimleri hava hızı değişiminden doğru orantılı olarak etkilenmiştir. Ancak, toplam pirit ve Cu verimleri dikkate alındığında hava hızındaki değişimin seçimliliğe etkisinin köpürtücü dozajı ve köpük

yüksekliği kadar büyük olmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar görüntü analiz sisteminin otomatik kontrol sistemi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Öztrak ve Aktaş (2006) Zonguldak bitümlü kömürün flotasyonunda iki iyonik olmayan reaktif (Triton x-100 ve MIBC) ve bir iyonik reaktif (SDS) kullanılarak reaktiflerin etkilerini, farklı reaktif karışımlarını, reaktif adsorpsiyonuna bağı olarak köpük yapısını ve flotasyon performansını değerlendirmişlerdir. Reaktiflerin köpük yapısı üzerindeki etkisini görüntüleme yöntemiyle incelemişlerdir. Kabarcık birleşmesinin sonucu olarak ortalama kabarcık çapının zamanla arttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, belirli bir süre sonra, yüzey aktif maddede azalmaya ve flotasyon hücresindeki katı pülp içeriğine bağı olarak köpüğün çöktüğünü gözlemlemişlerdir. Deneyler sonucunda kül içeriğinin, reaktifin tipine bağı olarak zamanla arttığı ve adsorbe edilen reaktif miktarı arttıkça, ortalama kabarcık çapının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Deneysel veriler köpük flotasyonunun performansının köpük yapısına bağı olduğunu açıkça göstermiştir.

Aktaş ve ark.(2008), Denver flotasyon hücresinde flotasyon yüksekliğini ölçerek dinamik köpük kararlılığını araştırmak amacıyla parçacık büyüklüğü, koşullandırma süresi ve hava akış hızlarının dinamik köpük kararlılığı üzerindeki etkilerini maksimum köpük yüksekliği cinsinden belirlemişlerdir. Deneylerde havayı arttırmanın köpük kararlılığının azalmasına neden olduğu görülürken, koşullandırma süresinin arttırılması ile parçacıkların daha hidrofobik hale geldiği görülmüştür. Böylece ayırma işlemi daha seçici olurken katı kazanımı ve suyun konsantrasyonu azalmaktadır. Köpük kararlılığı, mevcut literatürde bildirilen yüzey aktif maddelerin başlangıçta eklenen miktarına ek olarak parçacıkların büyüklüğünden, hava akış hızından ve koşullandırma süresinden etkilenmektedir.

Oats ve ark. (2010) tarafından koklaşabilir kömür numunesi ile ince minerallerin mekanik ve kimyasal taşınmalarının ve kömür flotasyonunda dağıtıcıların etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Deneylerde toplayıcı olarak dizel yağ, köpürtücü olarak MIBC ve dağıtıcı olarak ise sodyum silikat ve sodyum hegzametafosfat kullanılmıştır. pH' ın kil minerallerinin kömür yüzeyinin kaplamasında önemli bir faktör olduğunu belirlemişlerdir. İki ayrı dağıtıcı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde dağıtıcı miktarı arttıkça flotasyon veriminin arttığı, ancak



bu durumun flotasyon kinetiği üzerinde önemli değişikliklere neden olmadığı görülmüştür. Deneysel sonuçlar, kil minerallerinin kömür minerallerini kaplaması ile, kömür parçacıklarının kabarcıklara bağlanmasının önemli ölçüde önlediğini ve dolayısıyla kömür flotasyonu kazanımını azalttığını göstermektedir.

Hacıfazlıoğlu (2011) tarafından Zonguldak bitümlü şlam kömürünün Jameson hücresinde flotasyonu için en uygun toplayıcı ve köpürtücü cinsi araştırılmıştır. Toplayıcı olarak gazyağı, motorin, fuel oil ve benzin kullanılarak sabit koşullar altında ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Daha sonra değişik tipteki köpürtücüler (MIBC, Dowfroth 250, Çamyacı, 2-etil hegzanol) ile sabit bir toplayıcı miktarında (1800 g/t) deneyler yürütülmüştür. En uygun köpürtücü seçimiyle ilgili çalışmalarda yüksek yanabilir verim değerleri sırasıyla Dowfroth-250 ve MIBC ile elde edilmiştir. Ancak, MIBC, Dowfroth-250'ye göre daha temiz ürünler vermiştir. Toplayıcı olarak, gazyağı, fuel oil (No.4), motorin ve benzinin karşılaştırması durumunda; gazyağı en yüksek yanabilir verimi sağlamıştır. Optimum deney koşulunda; 1800 g/t gazyağı ve 300 g/t MIBC kullanılmıştır. Bu miktarların fazla olmasının nedeni flotasyona tabi tutulan numunenin çok ince boyutlu ve yüksek oranda kil ihtiva etmesidir (Hacıfazlıoğlu, 2011).

Liang ve ark. (2015), Zaozhuang kömür hazırlama tesisinden getirilen numune ile farklı boyutlarda ve hidrofobik özellikteki kömür parçacıklarının köpük kararlılığı ve flotasyon performansı üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Deneylerde toplayıcı olarak gaz yağı, köpürtücü olarak 2-oktanol kullanılmıştır. Köpürtücü ve toplayıcı dozajları sırasıyla 2.5 kg/t ve 0.5 kg/t dur. Karıştırma hızı 1900 dev/dak ve kullanılan hava oranı  $0.20 \text{ m}^3 / \text{saat}$  olarak ayarlanmıştır. Deneyler sonucunda parçacık boyutu azaldıkça maksimum köpük yüksekliği artmıştır. Ayrıca ince hidrofilik taneciklerin, köpük oluşum sürecindeki köpüğü kararlı yapabileceği, ancak köpük bozunum sürecindeki köpüğün korunmasında çok az etkiye sahip olduğu görülmüştür. Orta boyutlu ince hidrofobik parçacıklar ise köpük oluşumu sürecinde köpük kararlılığını büyük ölçüde arttırmıştır. Fakat köpük bozulma hızının da hızlı olduğu görülmüştür. Yüksek hidrofobikliğe sahip kaba parçacıkların, köpük oluşum sürecindeki köpük kararlılığında çok az etkisi olmuştur.

Öney ve Bilgin (2016) tarafından Zonguldak-Kozlu bölgesi % 46,10 küllü kömür numuneleri üzerinde yapılan deneylerde en uygun tane boyutu, toplayıcı cinsi ve miktarı, köpürtücü cinsi ve miktarı ve bastırıcı miktarı tespit edilmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde en uygun tane boyutu -0,425 mm olarak bulunmuştur. En uygun toplayıcı cinsi ve miktarını belirlemek amacıyla gazyağı, mazot, aero3477 ve n- dodecane olmak üzere 4 farklı toplayıcı tipi arasından en uygun toplayıcının gazyağı olduğu tespit edilmiştir. Üç farklı tipte köpürtücü (Metil izobutil carbinol, Tripropilen glikol butil eter ve izooktanol) kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en uygun sonuçlar MIBC ile elde edilmiş olup en uygun miktar 75 g/t olarak tespit edilmiştir. Sonuçta; temizleme flotasyonunda ağırlıkça % 36,43 oranında temiz kömür % 12,78 külde edilmiş olup verimlilik indeks değeri de 207 olarak hesaplanmıştır.

Ni ve ark. (2018) Shandong Çin den getirilen bitümlükömür ile yaptıkları deneylerde kil minerallerinin, kömür parçacıklarının kinetiği ve flotasyon kazanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kömür minerallerinin tek başına flotasyonu ile kömür ve kil minerallerinin beraber flotasyonunda, genel olarak kömür flotasyonunun 0,125-0,074 mm aralığında maximum verime ve 0,5-0,25 mm boyut aralığında ise minimum verime sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, kil minerallerinin %20 den daha az olduğunda deney sonuçlarının sadece kömür parçacıklarının olduğu deney sonuçlarından daha iyi olduğu gözlenmiştir. Kil minerallerinin kütesinin belirli bir miktardan daha az olduğunda, kil mineralleri kömür parçacıklarının flotasyonunu arttırmıştır. Kil minerallerinin kütlesi belirli bir miktardan daha büyük olduğunda ise kömür parçacıklarının hareketini engellemiştir. Ayrıca, kömür parçacıklarının parçacık büyüklüğü arttıkça, kil minerallerinin kömür flotasyonunu engellediği görülmüştür.

Xing ve ark. (2019) tarafından ince kömür flotasyonunda kaolen ve montmorillonitin etkileri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak incelenmiştir. Xing ve ark. kömür-montmorillonit sistemleri için sadece flotasyon kazanımında değil seçiciliğin de kömür-kaolen sistemlerinden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Montmorillonit parçacıkları kömür yüzeyini kapladığından dolayı kömür parçacıkların hidrofobikliği azalmış ve kömür taneciklerinin hava kabarcığına bağlanmasını engellemiştir. Böylece, verimin ve flotasyon seçiciliğinin azalmasına neden olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; hidrofilik montmorillonit kil parçacıklarının

varlığı kömürün yüzeyine hava kabarcıklarının yapışmasını engelleyerek kömür flotasyonunda zenginleşmesinin azalmasına neden olmaktadır.



### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1.Materyal

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kömür Kütahya ili Tunçbilek ilçesinde bulunan özel bir linyit İşletmesinden temin edilmiştir. Özellikleri Çizelge 3.1’de verilen kömür numunesi, tesisten yıkanmış parça kömür halinde getirilerek boyut küçültme işlemine tabii tutulmuş ve numune alma koşullarına uygun şekilde deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Tesisin ana beslemesi yüksek kil içerikli olduğu için hazırlanan numune tesisin atık numunesini karakterize edecek şekilde  $d_{80}$  parçacık boyutu 300  $\mu\text{m}$  olarak hazırlanmış ve farklı kil içerikleri için flotasyon performansını belirleyebilmek amacıyla değişen oranda kil mineralleri ile karıştırılarak deneyisel çalışmalarda kullanılmıştır.

Çizelge.3.1. Kömür örneğinin analiz sonuçları

Analiz	Kuru Baz
Kül içeriği (%)	14.8
Uçucucu Madde	30.5
Toplam Kükürt (%)	1.83
Sabit Karbon (%)	33.22
Bürüt Kalori(kcal/kg)	4790
Net Kalori(kcal/kg)	4495

Deneylerde kullanılan kaolen numunesi Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammadde Tic.Şti. ve montmorillonit numunesi Karakaya Bentonit Hammadde Tic.Şti.’den elde edilerek yapay karışımların hazırlanmasında kullanılmıştır (Çizelge 3.2). Killerin Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile belirlenen  $d_{80}$  tanecik boyutu, kaolen için 28  $\mu\text{m}$  ve montmorillonit için 60  $\mu\text{m}$  dur. Montmorillonit ile ölçümlerde kil su içerisinde dağılmadığından dolayı su yerine aseton kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda, toplayıcı olarak gaz yağı kullanılırken, köpürtücü olarak metilizobütüilkarbinol (MIBC),DOW250, bastırıcı olarak ise Sodyum silikat kullanılmıştır. Çalışmada musluk suyu kullanılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2. Kaolin ve montmorillonite ait ICP analiz sonuçları,

Element	Kaolin	Montmorillonit
SiO <sub>2</sub>	46,86	57,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,54	16,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	3,5
MgO	0,07	1,83
CaO	0,08	3,25
Na <sub>2</sub> O	0,01	2,42
K <sub>2</sub> O	0,39	1,01
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,13
MnO	<0,01	0,11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014	<0,002
Ba	0,007	0,054
Zr	0,01	0,022
Sr	0,002	0,074
Y	0,001	0,002
Nb	0,002	0,001
Sc	0,001	0,001
KK	13,8	13,1

Çizelge 3.3. Çeşme suyunun özellikleri

pH	İletkenlik ( $\mu$ S/cm)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Klor (mg/L)
7.5	293	57.24	8.92	2.90	0.32

### 3.2.Yöntem

Deneyler, Denver tipi flotasyon makinesi ile 1 L flotasyon selülünde, 1350 dev/dk karışma hızında, doğal pH (7,8) ortamında yapılmıştır. Köpük yüksekliği 1 cm olarak belirlenmiştir. Karelaj yöntemi ile alınan numunelerden, her bir deney için (Şekil 3.1.) 168 gr numune ve musluk suyu kullanılarak % 10 katı oranında pülp hazırlanmıştır. Ayrıca kil kullanılan deneylerde koalen ve montmorillonit killeri farklı oranlarda (%5,10,15) eklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm flotasyon

deneylerinde pülp 5 dakika kıvamlandırıldıktan sonra sırasıyla bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü eklenerek 3 dakika kondüsyonlama yapılmıştır. Köpürtücü ilavesinin ardından 4 dakika köpük alınmıştır. Elde edilen temiz kömür ve atık susuzlandırıldıktan sonra etüvde 105<sup>0</sup>C de kurutulmuştur.



Şekil.3.1.Karelej yöntemi ile numunenin alınması

Etüvde kurutulan numunelerden 1 gr kömür numunesi alınıp, hassas terazide tartılarak daha önce boş ağırlıkları belirlenen krozelere konmuş ve krozeler kül fırınında iki saat boyunca bırakılarak 850 <sup>0</sup>C’de yanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir saat boyunca soğutulan numuneler tartılarak kül içeriği eşitlik (4.1) ile belirlenmiştir.

$$\%Kül = \frac{Külağırlığı}{Örnekağırlığı} \times 100 \quad (4.1)$$

Deneyisel çalışmalar sonucunda elde edilen ürünlerin yanabilir verimleri eşitlik 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada; Mc konsantre ağırlığı, Mf besleme ağırlığı, Ac konsantre kül (%), Af besleme(%) külünü ifade etmektedir.

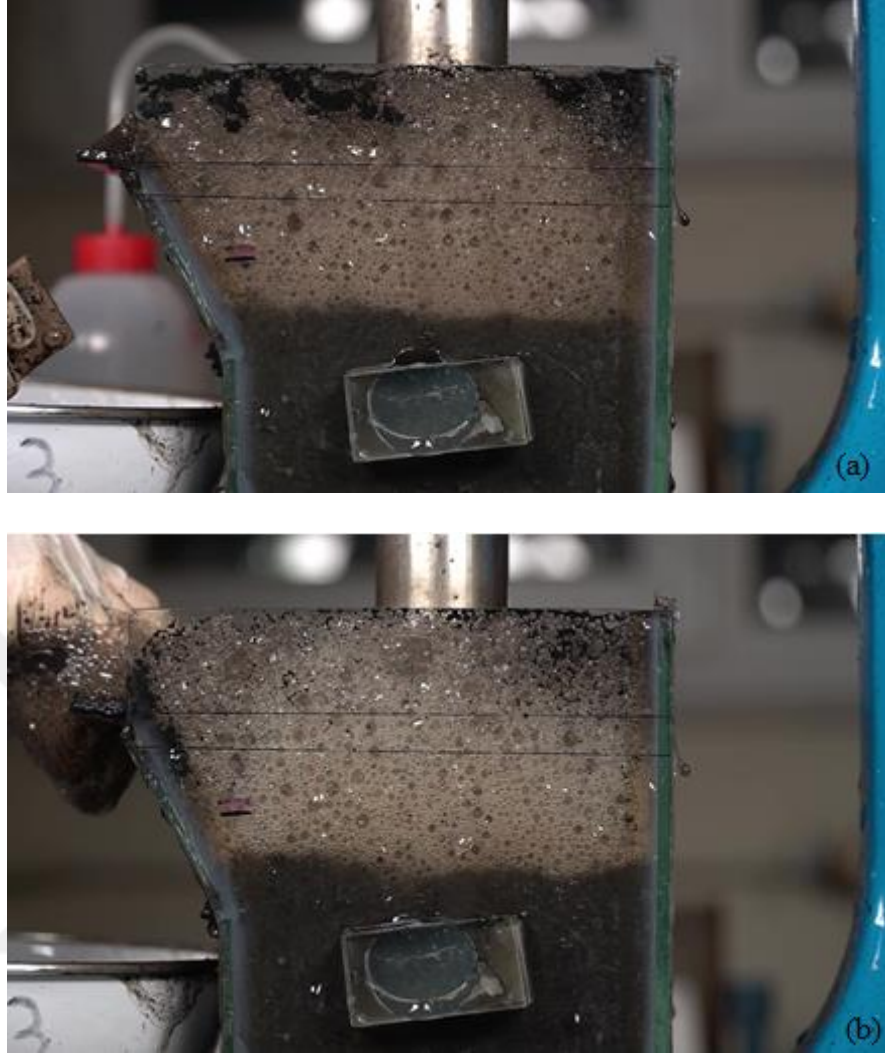
$$Yanabilir Verim = \frac{M_c \times (100 - A_c)}{M_f \times (100 - A_f)} \times 100 \quad (4.2)$$

Kil cinsi (kaolen-montmorillonit)-miktarı (%5-10-15), toplayıcı miktarı, köpürtücü cinsi-miktarı, bastırıcı miktarı ve flotasyon süresi çalışılan deneysel parametrelerdir.

Köpürtücü miktarı ve cinsinin belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, havanın açılmasıyla birlikte taşan köpüğün kabarcık yapısındaki değişimlerin belirlenmesi amacıyla video çekimleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kabarcıkların görüntülenebilmesi için camdan imal edilmiş şeffaf selüller kullanılmıştır. Çekilen videolardan seçilen resimler üzerinde, Image-Pro Premier Software bilgisayar yazılımı kullanılarak ortalama kabarcık boyutu belirlenmiştir (Şekil.3.2)



Şekil 3.2.Flotasyon çalışmaları sırasında görüntü alınması



Şekil 3.3.Montmorillonit (10%) – kömür numunelerinin 120.saniyede (a) ve 150.saniyede (b) köpük görüntüleri

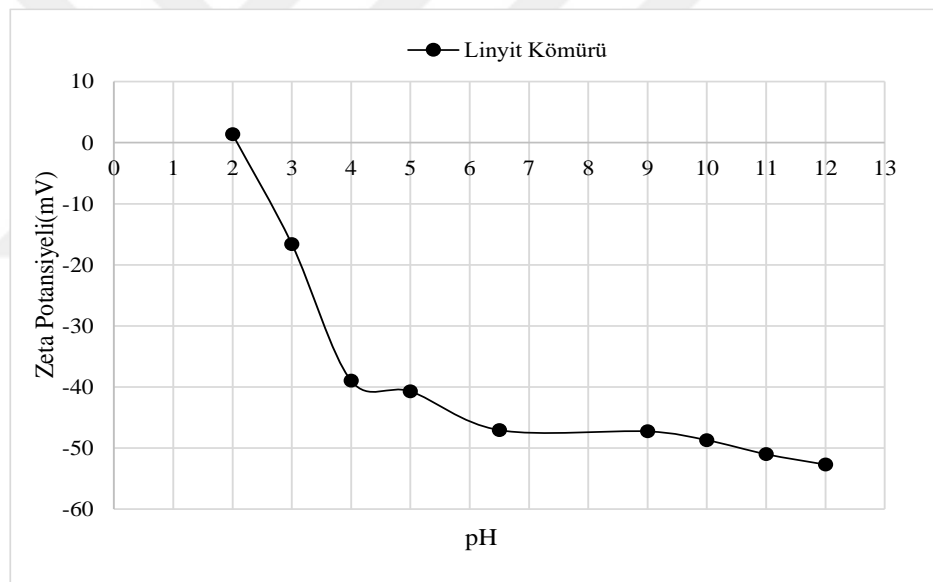
Çalışmada zeta potansiyeli ölçümlerini yapabilmek için farklı pH'larda 1000 ml'lik solüsyonlar hazırlanmıştır. Farklı pH'lardaki solüsyonlara 0,025 g kömür numunesi ve 0,015 g Anacı eklenerek 10 dakika karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan solüsyonlar her bir pH değeri için Zeta Potansiyel Analiz cihazında 3 er kez okunarak zeta potansiyeli değerleri belirlenmiştir.



## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1.Elektrokinetik Çalışmalar

Kütahya-Tunçbilek bölgesinden getirilen linyit kömürü için zeta potansiyelinin sıfır olduğu nokta pH 2,1 olarak belirlenmiştir (Şekil.4.1). Sıfır yük noktası katı yüzeyini elektriksel bakımdan nötr yapan potansiyel tayin edici iyonların kritik konsantrasyonudur. Mineral yüzeyinin yük kazanması potansiyel tayin edici iyonlar sayesinde olmaktadır. Kömürde bu iyonlar  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonlarıdır. Çözeltinin pH değeri sıfır yük noktasındaki pH değerinden büyükse katı yüzeyi negatif, küçükse pozitif yüklü olmaktadır.



Şekil 4.1. Zonguldak Linyit kömürünün farklı pH değerlerine bağlı Zeta Potansiyeli değerleri.

Kömürün sıfır yük noktası kömürleşme derecesine dolayısıyla karbon içeriğine göre değişmektedir. Molatlhegi ve Alagha (2016) yaptığı çalışmalarda, temiz kömürün syn noktasını yaklaşık olarak 3,5 olarak bulmuş ve kömür yüzeyinin, düşük pH'larda  $H^+$  iyonu adsorpsiyonuyla pozitif, pH 3,5' ün üzerinde ise  $OH^-$  iyonlarının adsorpsiyonuyla negatif olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışılan kil minerallerinden montmorillonit için sıfır yük noktası (syn) tespit edilememiştir. Kaolin için tespit edilen syn noktası 2,5'dur (Önen ve Taner, 2018).

Flotasyon ortamının doğal pH'ında (7,8) kömür, montmorillonit ve kaolenin zeta potansiyeli değerleri sırasıyla -47 mV, -44mV, -40 mV olarak belirlenmiştir.

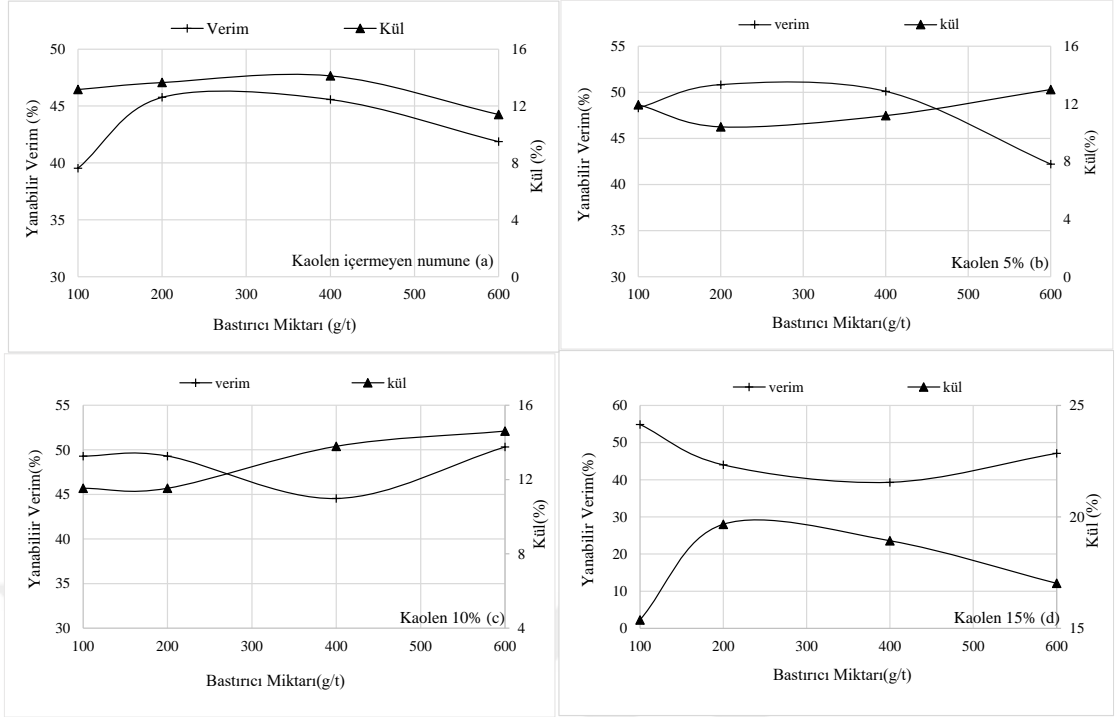
Xu ve ark. (2003) , montmorillonit ve kaolenit killerinin kömür flotasyonu üzerindeki etkilerini farklı pH değerlerinde zeta potansiyeli ölçümleri yaparak araştırmışlardır. pH değeri 5 iken potansiyeli değerlerinin montmorillonit için -27 mV ve kömür parçacıkları için - 10 mV olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, 1: 1 süspansiyon hacmi oranında montmorillonit ve kömür karışımı kullanılarak ölçülen zeta potansiyel değerleri -25 mV'de ortalananmaktadır. Bu değer montmorillonit kilinin tek başına ölçülen zeta potansiyeli değerine yakın olduğundan kömür parçacıklarının neredeyse tamamının montmorillonit kili tarafından kaplanmış olduğunu göstermektedir. Xu ve ark. (2003), kaolen kilinin varlığında gerçekleştirdiği çalışmalarda ise pH değeri 5 iken kaolen ve kömür'ün zeta potansiyeli değerlerini yaklaşık olarak -10 mV olduğunu belirlemişlerdir. Bu durumda, kaolen ve kömür 'ün zeta potansiyeli değerleri birbirine çok yakın olduğundan süspansiyonun zeta potansiyeli değerine bakarak kaolinit kilinin kömürün yüzeyini kapladığını söylemek zordur. Buradan yola çıkarak her bir bileşen için ayrı ayrı ölçülen zeta potansiyeli dağılımının en yüksek değerleri aynı olduğundan kaolinit kilinin kömürü kaplamadığını belirtmişlerdir. Kömür flotasyonunda kil minerallerinin varlığı yüzey kimyasını doğrudan etkilemektedir. Kil mineralleri pH'a bağlı olarak negatif yüzey yüküne sahiptir. Nötr ve asidik pH değerlerinde ise kil minerallerinin kenar kısımları pozitif yüklüdür. Kil minerallerinin köşelerinde ve yüzeylerindeki anizotropik yükler, kömür yüzeyine yapışarak şlam kaplama oluştururlar. Bu durum, flotasyon veriminin azalmasına neden olmaktadır (Taner ve Önen, 2016).

#### **4.2.Farklı Kil Minerallerinin ve Bastırıcı Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi**

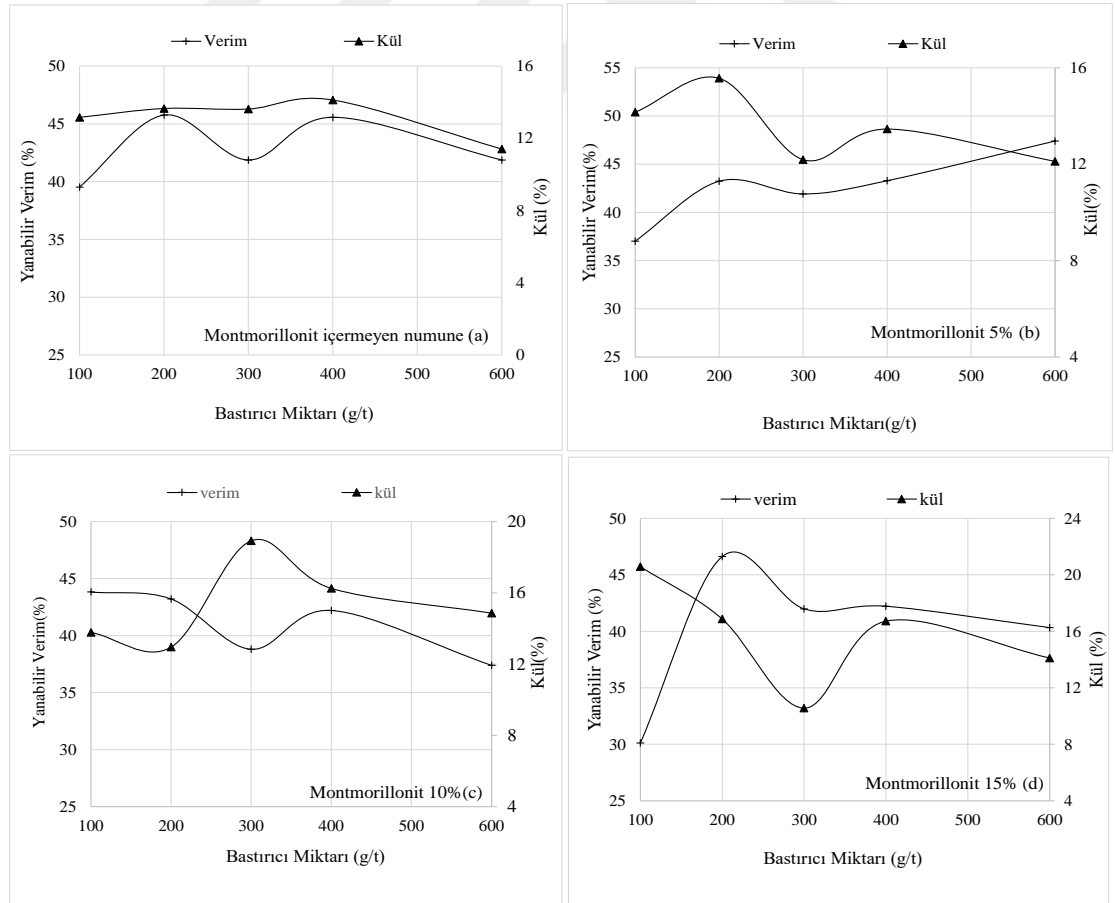
Bastırıcılar genellikle parçacıklar arasında koloidal etkileşimleri değiştirmek için kullanılırlar. Bu dispersantlar genellikle iyonik polimerlerdir ve mineral yüzeyine absorbe olarak, mineral yüzeyini daha negatif yaparlar (Oats ve ark., 2010). Uygun bastırıcının seçilmesi ve dozajın optimize edilmesi, flotasyon performansı ve seçicilik için önemlidir.

Köpük flotasyonunda, sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) gang mineralinin yüzeyine adsorbe olarak gang mineralini daha hidrofilik hale getirerek silikat ve karbonat minerallerini bastırıldığı bilinmektedir. Aynı zamanda, sodyum silikat gang minerali yüzeyine adsorbe olan ve negatif yüklü mineraller ve gang mineralleri arasındaki elektrostatik itme kuvvetini artıran  $\text{SiO}_3^{2-}$  ve  $\text{HSiO}_3^-$  iyonları nedeniyle etkili bir dağıtıcıdır (Yu ve ark., 2017).

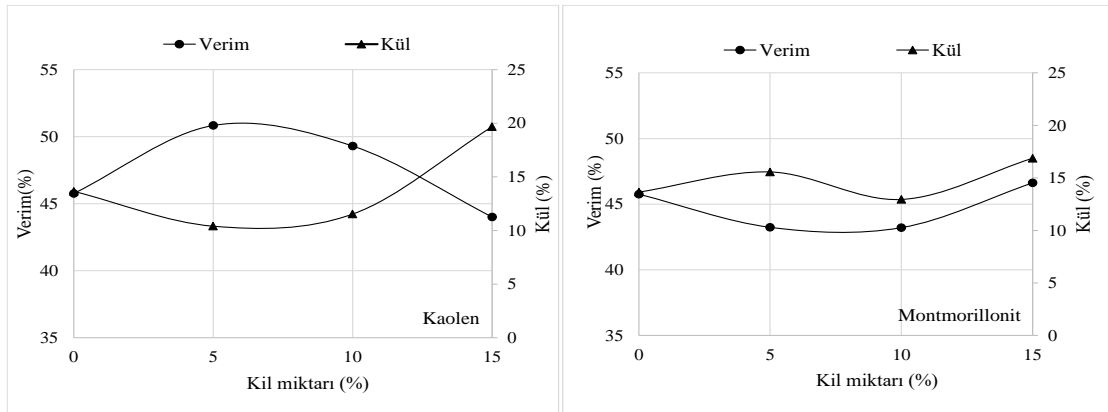
Bu aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda toplayıcı (200 g/t) ve köpürtücü (200 g/t) miktarları sabit tutularak en uygun bastırıcı miktarı araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar kil içermeyen kömür numunesi ve her iki kili değişen oranlarda (%5-10-15) içeren kömür numuneleri ile gerçekleştirilmiştir. Kil içermeyen numunede artan bastırıcı ilavesiyle birlikte konsantre kül içeriği düşmekte ancak yanabilir verim değerlerinde de düşüş gözlenmektedir. Kil içermeyen besleme ile 600g/t bastırıcı miktarında %11.4 kül içerikli konsantre %41.8 verimle; 200 g/t bastırıcı miktarında ise: % 13,65 kül içerikli konsantre % 45,76 verimle elde edilmiştir. %5-10 kaolen ilavesiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda 200 g/ton bastırıcı ilavesinden sonra kül içeriği artarken verim değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Kaolen içeriğinin %15'e artmasıyla birlikte düşük bastırıcı miktarlarında daha düşük kül içerikli konsantrenin artan bastırıcı miktarlarına göre daha yüksek verimlerde elde edildiği görülmüştür. %15 kaolen içeren besleme ile 200g/t dağıtıcı miktarında % 19,67 kül içerikli konsantre % 44,01 verimle elde edilmiştir. Genel olarak, %5-10 kaolen içerikli numunelerle %11-12 kül içerikli konsantre elde edilirken kaolen içeriğinin %15'e çıkmasıyla elde edilen konsantrenin kül içeriği %18 olmuştur. Ancak artan bastırıcı miktarı ile kül içeriği düşmeye devam ederken verim de artış görülmektedir (Şekil4.2-d).Kaolen ile gerçekleştirilen deneylerde, optimum bastırıcı miktarı 200 g/t olarak tespit edilmiştir. %5-15 montmorillonit ilave edilerek gerçekleştirilen çalışmalarda 300 g/t bastırıcı miktarında kül içeriği değerlerinin en düşük değerlerde olduğu görülmüştür. %10 montmorillonit içeren besleme ile ise 300 g/t bastırıcı miktarında %18,92 kül içerikli konsantre %38,8 verimle elde edilmiştir. Montmorillonit ilave edilerek gerçekleştirilen deneyler sonucunda optimum bastırıcı miktarı 300 g/t olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.2.Farklı oranlarda (5-10-15%) kaolen içeren ve kil içermeyen numunelerin flotasyonunda bastırıcı miktarının yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi



Şekil 4.3.Farklı oranlarda (5-10-15%) montmorillonit içeren ve kil içermeyen numunelerin flotasyonunda bastırıcı miktarının yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi



Şekil 4.4.Kaolen ve montmorillonit killerinin varlığında (200 g/t bastırıcı miktarda) kil miktarının kül ve verimliliğe etkileri

%5 kaolen içerikli numunede verim en yüksek iken kül içeriği en düşüktür. Kaolen kilinin miktarı arttırıldıkça verim azalmakta ve konsantredeki kül içeriği artmaktadır. Montmorillonitte ise beslemede artan kil miktarı hem verimde hem de konsantre kül miktarında artışa neden olmaktadır.

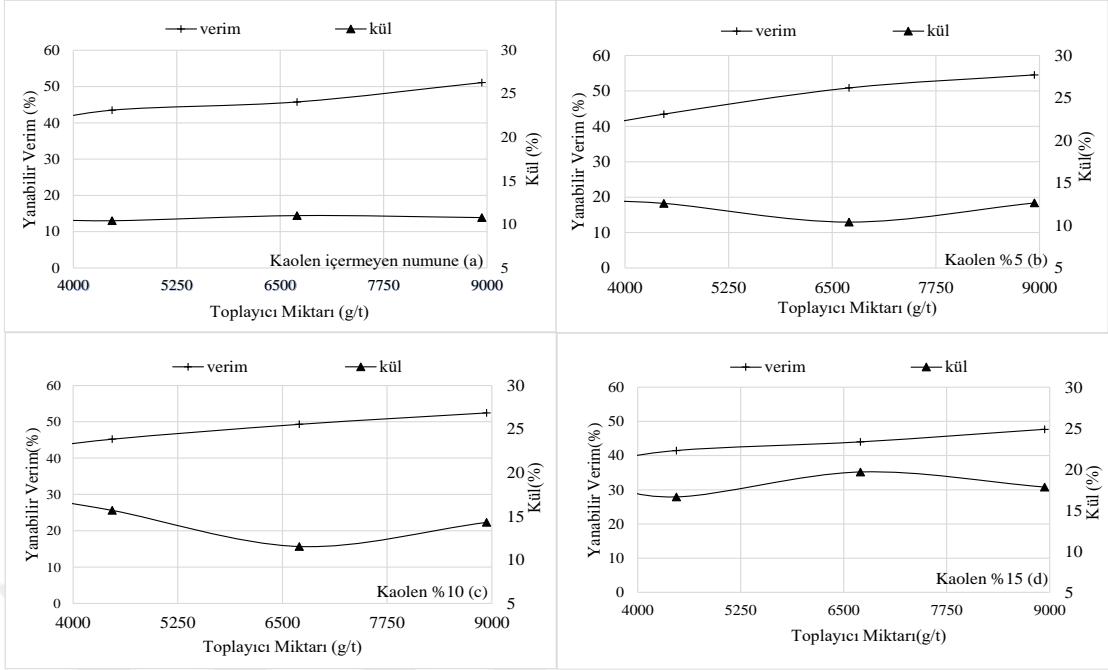
Arnold ve Aplan (1986) , kaolinit, illit ve bentonit gibi killerin kömür flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmış ve kaolinitin, kil dağıtıcılar ile tamamen bastırılmadığı, ayrıca mekanik taşınmayla köpük zonuna gelerek flotasyon verimini düşürdüğünü bentonitin ise dağıtıcı reaktifler ile bastırılmasına rağmen, şlam kaplama nedeni ile flotasyon verimini benzer şekilde düşürdüğünü ifade etmişlerdir.

#### 4.3.Farklı Kil Minerallerinin ve Toplayıcı Cinsi/Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi

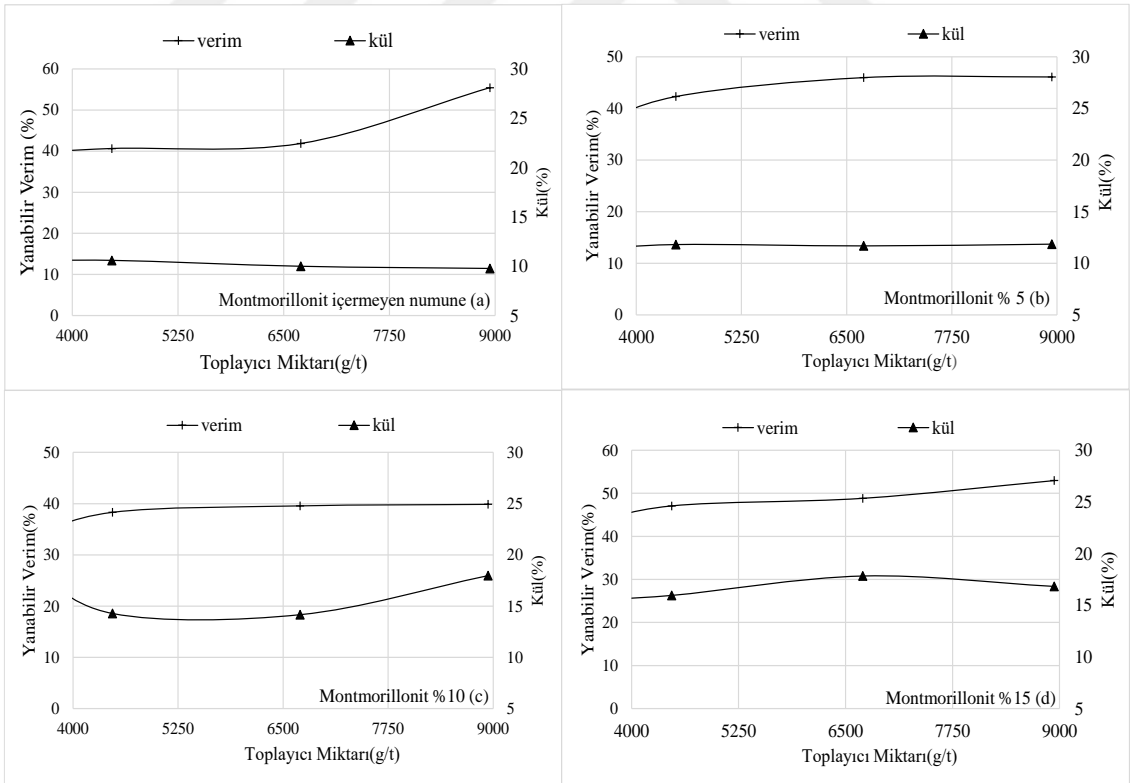
Bu aşamada flotasyon deneyleri, farklı kil minerallerinin (kaolen-montmorillonit) değişen toplayıcı miktarlarında yanabilir verim ve konsantre külü üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ancak ilk olarak kullanılacak toplayıcı cinsini belirlemek amacıyla sabit miktarda bastırıcı (200 g/t) ve köpürtücü (200 g/t) kullanılarak kil içermeyen cevher numunesiyle toplayıcı olarak gazyağı ve motorin kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deneysel çalışmalarda sabit toplayıcı miktarında gaz yağının yanabilir verimi %27 iken motorinin yanabilir verimi % 22 olarak bulunmuştur. Toplayıcı tiplerinden motorinin gaz yağına göre daha başarısız sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğunda da kömür için en iyi toplayıcının gazyağı olduğu belirtilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2011). Literatürde bunun altında yatan temel nedenin, motorinin yoğunluğunun ve

viskozitesinin gaz yağına göre daha yüksek olması ve pülp içinde yeterince homojen dağılamaması olduğu belirtilmiştir. Benzer çalışmalarda (Hacıfazlıoğlu, 2008), motorin ile yeterince kaplanamayan kömür tanecikleri kabarcıklara sıkı bir şekilde bağlanamamış ve verimin düşmesine neden olmuştur ayrıca motorin ve gazyağı ilavesinin temiz kömür kalitesine etkisine bakıldığında benzer kül içerikli ürünlerin elde edildiği görülmüştür.

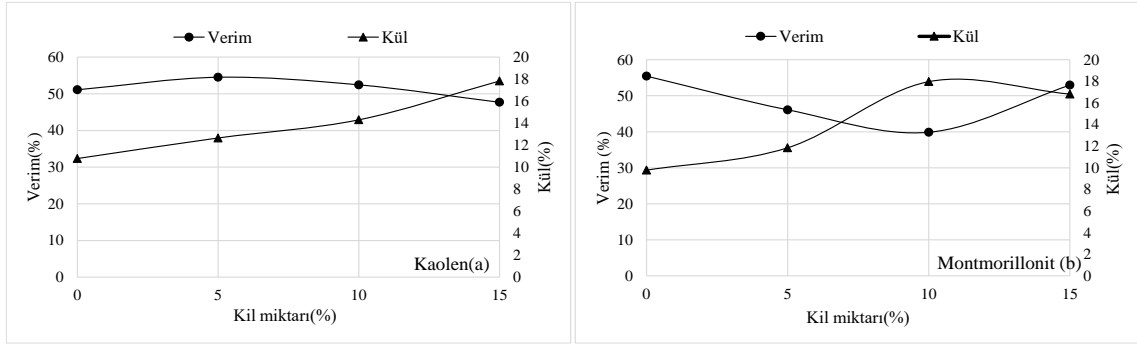
En uygun toplayıcı cinsi gazyağı olarak belirlendikten sonra kil içermeyen kömür numunesi ve her iki kili değişen oranlarda (%5-10-15) içeren kömür numuneleri ile değişen gazyağı miktarlarında köpürtücü (200 g/t) ve bastırıcı (kaolen için 200 g/t, montmorillonit için 300 g/t) miktarları sabit tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kil içermeyen %14'lük kül içeriğine sahip besleme malzemesi ile kullanılan toplayıcı miktarlarında %40-51 verimle kül içeriğinin %10-11'e düşürülebildiği görülmüştür (Şekil 4.5.(a)). Kaolen ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerde, %5-10kil içeren cevher numunesi ile optimum toplayıcı miktarında( 6703g/t) kül içeriği %10,4-11,5 olan konsantreler %50,83-49,3verimle elde edilmiştir. (Şekil 4.5.(b,c)). Kil içeriğinin daha fazla artması (%15) konsantredeki külün artmasına ve verimliliğin azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.5.(d)). Montmorillonit ile yürütülen deneysel çalışmalarda optimum toplayıcı miktarında (6703 g/t), kömürdeki kil içeriği %5 iken konsantrenin %11.6 kül içerdiği görülmüştür (Verim %46). Toplayıcı konsantrasyonu arttıkça kül içeriğinde ve verimde değişim olmamıştır. Kil içeriğinin daha da arttırılmasıyla konsantredeki kül içeriği de artmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.5.Farklı oranlarda (5-10-15%) kaolen içeren ve kil içermeyen numunelerin flotasyonunda sabit köpürtücü(200 g/t) ve bastırıcı (200g/t) miktarlarında toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi



Şekil 4.6.Farklı oranlarda (5-10-15%) montmorillonit içeren ve kil içermeyen numunelerin flotasyonunda sabit köpürtücü(200 g/t) ve bastırıcı (300g/t) miktarlarında toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi



Şekil.4.7.Kaolen ve montmorillonit killeri varlığında kil miktarının kül ve verimliliğe etkileri

Kaolen kili ile yapılan deneylerin sonucundan kil içeriğinin artmasıyla verimliliğin azaldığı görülebilmektedir (Şekil.4.7(a)). Bu durum kömür parçacıklarının kil mineralleri ile kaplanmasıyla açıklanabilir. Literatür çalışmaları elektriksel çift tabaka ve van der Waals kuvvetlerinin değerli mineral ve kil parçacıkları arasındaki şlam kaplamadan sorumlu olduğunu göstermektedir (Xing ve ark., 2019). Şlam kaplama van der Waals çekimi tarafından kontrol edilirken, çift tabaka etkileşimi ikinci rol oynar (Xing ve ark., 2017). Şlam kaplamanın nedeni negatif şarjlı kömür parçacıklarıyla kil parçacıklarının pozitif şarjlı köşeleri arasındaki elektrostatik etkileşimdir (Xu ve ark., 2003). Oats ve ark. (2010) çalışmalarında, kömür parçacıklarının kabarcık yüzeyinde kil bulunması ve bulunmaması durumunda önemli farklılıklar olduğunu bulmuşlardır. Xing ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda ise montmorillonit parçacıklarının kömür yüzeyini kaplamasıyla kömür parçacıklarının hidrofobikliğini azalttığı, kömür parçacıklarının hava kabarcığına bağlanmasını engellediği için kömür kazanımının ve yüzdürme seçiciliğinin azalmasına neden olduğunu görmüşlerdir. Bu deneysel sonuçlar şlam kaplamanın kömür parçacıklarının kabarcığa yapışmasını önemli ölçüde etkilediğini ve bu yüzden seçiciliğin azaldığını göstermektedir.

Ayrıca, deneysel çalışmalar montmorillonitin flotasyon verimi ve konsantrasyon kalitesi üzerine etkisinin daha düşük kil oranlarında etkili olmaya başladığını göstermiştir. Montmorillonit düşük konsantrasyonlarda bile yüksek şişme potansiyeli nedeniyle jelle benzer viskoz bir yapı oluşturmaktadır. Bu durum flotasyon koşullarını etkilemekte hücrede havanın verimli bir şekilde dağılamaması, engelli flotasyon koşullarının oluşması vb olumsuzluklara yol açabilmektedir. Ayrıca kaolende artan kil miktarıyla birlikte verim düşmeye devam ederken montmorillonitte %15 kil ilavesinde



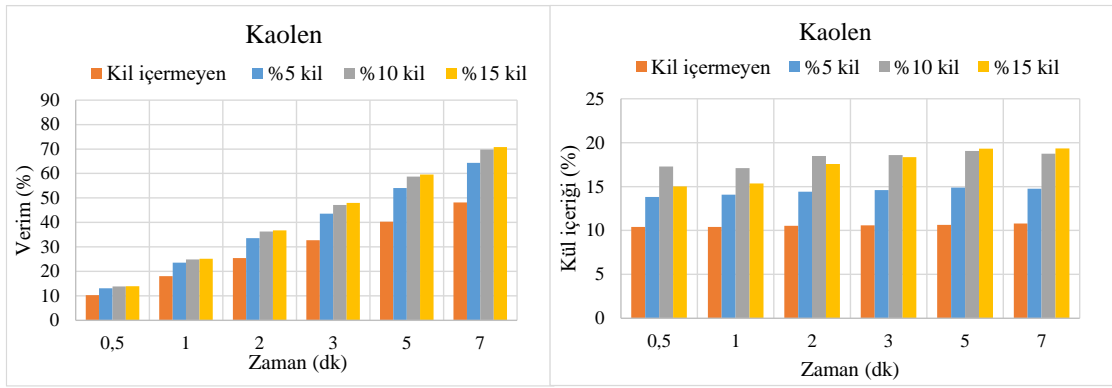
görülen artış yüksek montmorillonit içeriğinin aynı zamanda mekanik taşımaya da neden olduğunu göstermektedir. Literatürde, Arnold ve Aplan (1986) kömür flotasyonunda farklı killerin etkilerini araştırdıkları çalışmalarında benzer bulguları ifade etmişlerdir.

#### **4.4.Farklı Kil Minerallerinin Flotasyon Kinetiğine Etkisi**

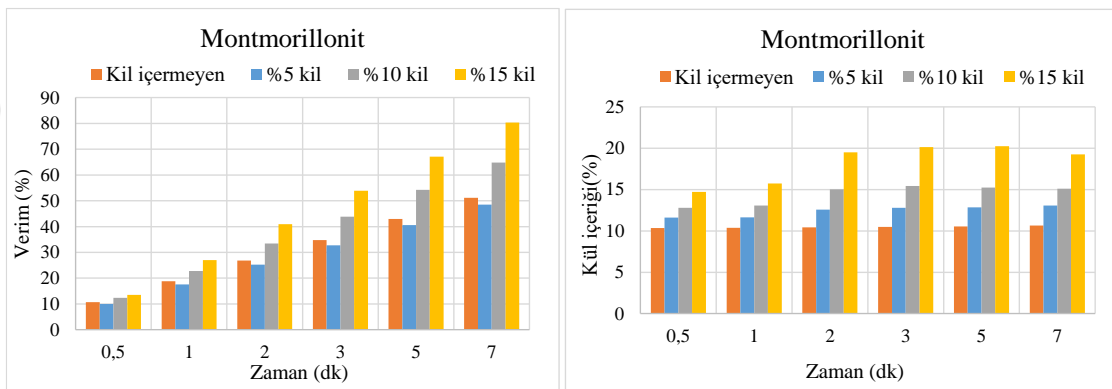
Flotasyon işlemi, yüzdürülebilir minerallerin kazanımının flotasyon süresiyle orantılı olmasından dolayı zaman- kazanım oranı işlemi olarak kabul edilir (Ni ve ark., 2018). Yapılan bu çalışmada farklı kil minerallerinin flotasyon süresi ile ilişkisi araştırılmıştır.

Deneyler, bastırıcı miktarı kaolen için 200 g/t ve montmorillonit için 300 g/t miktarlarında, toplayıcı ve köpürtücü ise optimum miktarda kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kil minerallerinin flotasyon kinetiğine etkisinin belirlendiği deneylerde, 0.5-1-2-3-5-7. dakikalarda olmak üzere toplam altı ayrı konsantre alınarak kül analizleri yapılmıştır.

Kil eklenmeden ve farklı oranlarda kil eklenerek (5,10,15%) gerçekleştirilen deneylerin yanabilir verim ve zamana bağlı değişimleri Şekil.4.8 'de görülmektedir. Kaolen ve montmorillonit killeri ile yapılan çalışmalarda verim zamana bağlı olarak artmaktadır. Kil içeriğinin %15 olduğu deneylerde 3.dakikada verim kömür-kaolen numunesi için % 47,96 iken kömür-montmorillonit numunesi için %53,89 olarak bulunmuştur. Aynı kil içeriğinde ise konsantreden 3.dakikada alınan ürünlerin kül içeriği kömür-kaolen için %18,35 iken kömür-montmorillonit için %20,14 olarak tespit edilmiştir. Montmorillonit içeren numune kül içeriği yüksek ürünler vermiştir. Bu durumda montmorillonitin konsantre üzerindeki etkisinin kaolenden daha fazla olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.8. Kaolen içeren (5-10-15%) ve kaolen içermeyen numunelerin zamana bağlı yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi



Şekil 4.9. Montmorillonit içeren (5-10-15%) ve montmorillonit içermeyen numunelerin zamana bağlı yanabilir verim ve kül içeriğine etkisi

Xing ve ark. (2017) de-iyonize suda kömür flotasyonunda kaolen ve montmorillonitin etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre flotasyon süresi arttıkça yanıcı madde kazanımının ve kül içeriğinin de arttığını görmüşlerdir. Kömür-kaolinit için verim % 84.0 iken kül içeriği % 6.8 olarak bulunmuştur. Kömür-montmorillonit ise kül içeriği %6.2 iken verim % 69 dur. Xing ve ark. (2017) hem flotasyon kinetiği hem de kazanımın kömür-montmorillonit numunesi için kömür-kaolene göre daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durum, montmorillonit kilinin ilave edilmesiyle flotasyon işleminin olumsuz etkilendiğini göstermektedir.

Xu ve ark (2003), kömür flotasyonunda killerin zaman bağlı etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda kömür-kaolen numunesinin flotasyon kinetiği üzerinde çok az etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak, yapılan çalışmalarla benzer şekilde flotasyon pülpüne aynı miktarda montmorillonit kil ilave edildiğinde flotasyon kinetiğinde önemli bir azalma gözlenmiştir. Xu ve ark (2003), montmorillonit kilin kömür ile arasındaki yüksek çekimden dolayı kömür yüzeyi montmorillonit kil parçacıklarıyla kaplanarak şlam kaplama ile sonuçlandığını

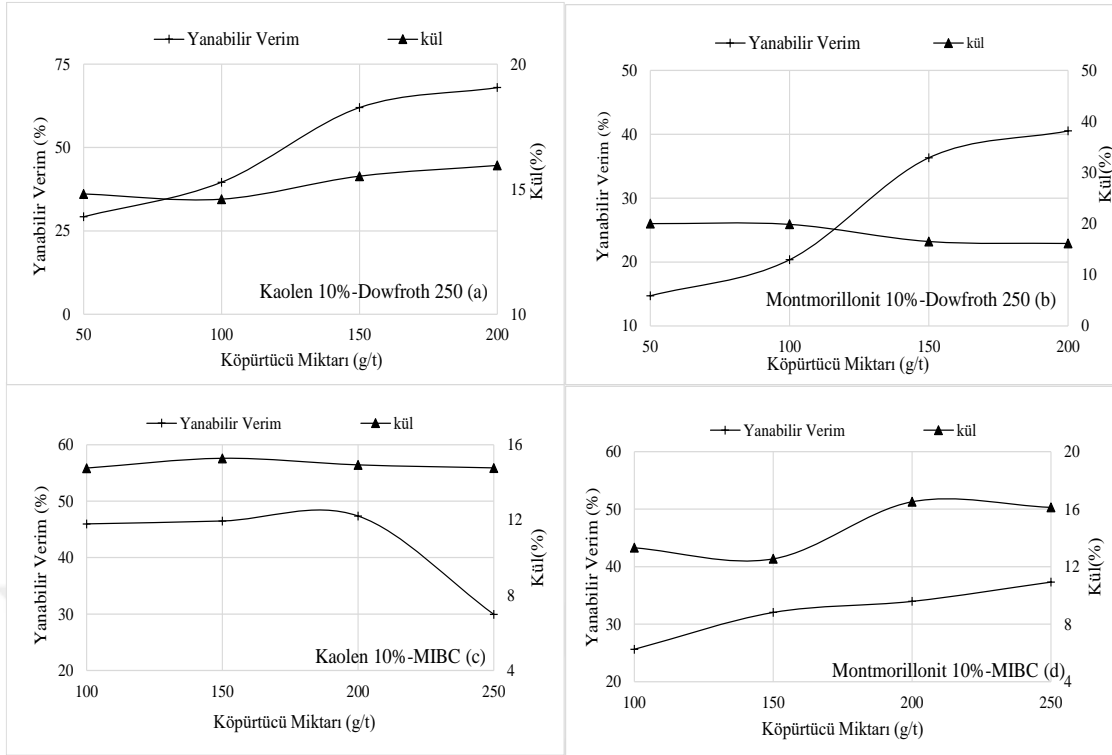
anlamışlardır. Deneyler sonucunda, kömür yüzeyindeki hidrofilik montmorillonit kil parçacıklarının varlığı hava kabarcığı ile kömürün yapışmasını engellediği ve sonuç olarak kömür flotasyonu geri kazanımında önemli bir azalmaya neden olduğu görülmüştür.

#### **4.5.Farklı Kil Minerallerinin Ve Köpürtücü Cinsi/Miktarının Kömür Flotasyonuna Etkisi**

Deneyel çalışmalarda en uygun köpürtücü cinsi-miktarının belirlenmesi amacı ile MIBC ve Dowfroth-250 kullanılmıştır. Bu deneyler daha önceki çalışmalarda elde edilen optimum toplayıcı (6703 g/t) ve dağıtıcı konsantrasyonlarında (kaolen ile gerçekleştirilen deneylerde: 200g/t montmorillonit ile gerçekleştirilen deneylerde 300g/t ) ve %10 kil ilaveli kömür numuneleri ile gerçekleştirilmiştir.

MIBC 'nin farklı miktarlarında (100 g/t, 150 g, 200 g/t, 250 g/t) kaolen-kömür numunesi (%10) ile yapılan deneysel çalışmaların sonucunda MIBC miktarı arttırıldıkça yanabilir verimin arttığı ve çalışılan kömür için en uygun köpürtücü miktarının 200 g/t olduğu, bu değerden sonra yanabilir verimin tespit edilmiştir. Kaolen-kömür numunesiyle (%10) Dowfroth-250 köpürtücüsünün farklı miktarlarında (50 g/t, 100 g/t, 150 g/t ve 200 g/t) gerçekleştirilen deneylerde ise köpürtücü miktarı arttırıldıkça yanabilir verimin ve kül içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.9.).

Kömür-montmorillonit numuneleri (%10) ile MIBC ve Dowfroth-250 köpürtücülerinin kullanıldığı çalışmaların sonucunda, MIBC ile 150 g/t miktarında yapılan deneylerde yanabilir verim değeri %32.03 iken kül içeriği %12,54 olarak bulunmuştur. Dowfroth-250 nin 150 g/t miktarında kullanımında ise yanabilir verim değeri %36,31 iken kül içeriği %16,51'dir. Aynı köpürtücü dozajında Dowfroth-250 'nin yanabilir verim değerleri nisbeten daha yüksek olmasına rağmen kül içeriğinin de artmış olduğu görülmektedir.



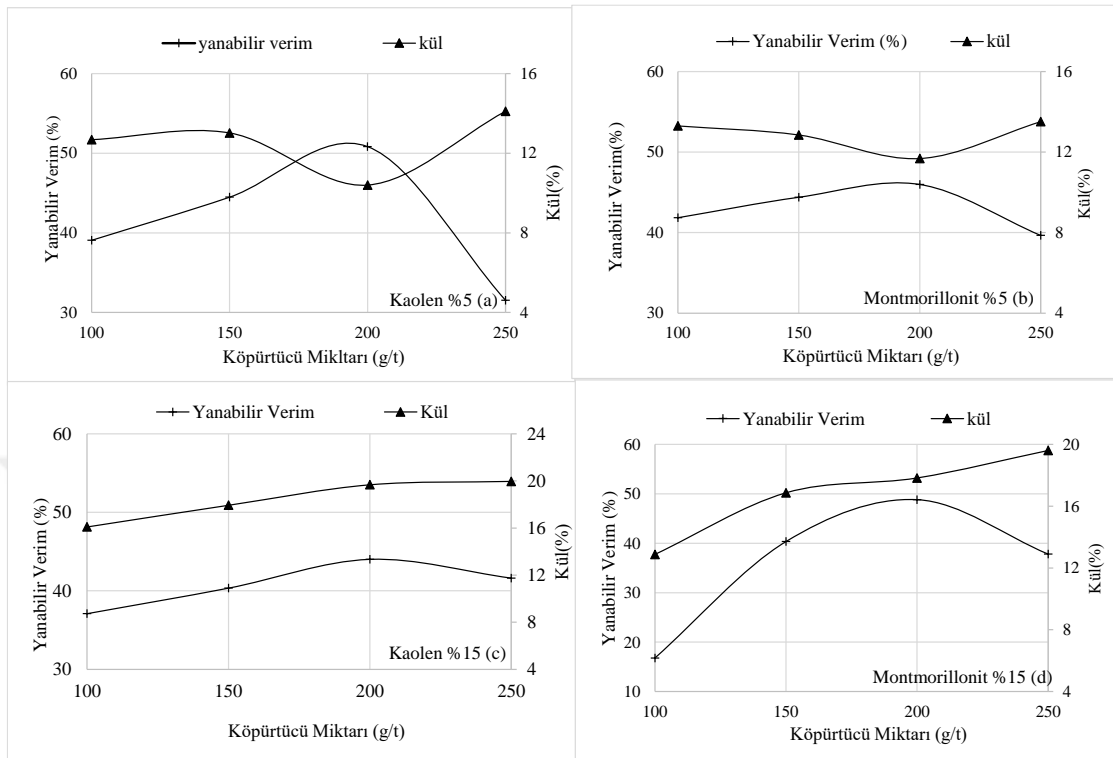
Şekil.4.10.%10 kil(kaolen-montmorillonit) için kömür numunelerinin köpürtücü (Dowfroth-250 ve MIBC) miktarına bağlı yanabilir verim ve kül içeriği grafikleri

Bu deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek yanabilir verim değerlerinin Dowfroth-250 ile elde edildiği görülmektedir. Ancak MIBC, Dowfroth-250'ye göre kül içeriği daha düşük ürünler verdiği görülmüştür, bu yüzden linyit kömürünün flotasyonu için MIBC'nin kullanılması Dowfroth-250'ye göre daha uygundur.

Literatür çalışmaları Dowfroth-250 ile köpüğün daha akışkan ve hareketli bir yapı kazandığını ortaya koymuştur. Ancak, köpüğün kazandığı hareketli yapı sonucunda, kömürün içerisinde bulunan gang mineralleri ve kil konsantre ürüne geçerek konsantre üründeki külün artışına neden olmuştur. Bu durum, elde edilen temiz kömürün kalitesinin düştüğünü göstermektedir (Hacıfazlıoğlu, 2008).

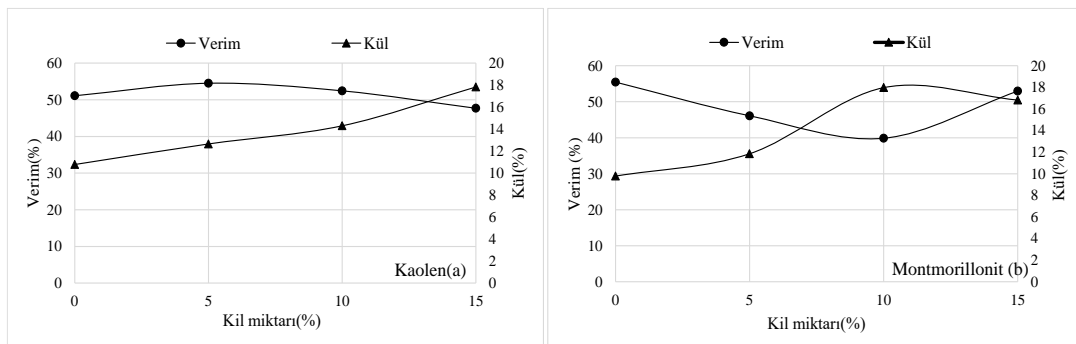
Çalışmalar sonucunda en uygun köpürtücünün MIBC olduğunun belirlenmesi ile kütlece %5 ve %15 kaolen-kömür numuneleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Kaolen-kömür numunesi (%5) ile yapılan deneylerin sonuçlarına göre köpürtücü miktarının 200 g/t'a artırılmasıyla verimin arttığı ve kül miktarının azaldığı görülmüştür(Şekil 4.10.). 200 g/t köpürtücü miktarının üzerine çıkılması durumunda ise verim azalır, kül içeriğinin arttığı görülmüştür. Kaolen içeriğinin artırılmasıyla

(15%) optimum köpürtücü miktarında yanabilir verim değerinin %44,01'e düştüğü kül içeriğinin ise %19,67'ye çıktığı görülmektedir.



Şekil.4.11.%10 kil (kaolen-montmorillonit) için kömür numunelerinin köpürtücü (Dowforht-250 ve MIBC) miktarına bağlı yanabilir verim ve kül içeriği grafikleri

Homojen montmorillonit-kömür karışımı (%5) ile yapılan deneyler sonucunda en yüksek verim ve en düşük kül içeriği değerleri 200 g/t MIBC ile elde edilmiştir. Bu değerler yanabilir verim için %45,98 iken kül içeriği %11,68 olarak bulunmuştur (Şekil.4.11(b)). Montmorillonit içeriğinin artırılmasıyla (%15) optimum köpürtücü miktarında yanabilir verim %48,83 ve kül içeriği %17,83'tür.



Şekil 4.12.Kaolen ve montmorillonit killelerinin varlığında kil miktarının kül ve verimliliğe etkileri

Yapılan deneyler sonucunda, kil miktarının artırılmasıyla yanabilir verim değerinin artması, kil minerallerinin köpürtücü ürüne yapışarak konsantre ürüne geçmesi ile ilişkilidir. Literatürde bu durum mekanik taşıma ile açıklanmaktadır. Mekanik taşıma, suda asılı olan mineral partiküllerinin yukarı doğru hareket ederek flotasyon köpüğüne ulaştığı ve değerli mineraller ile flotasyon hücresini terk ettiği bir transfer işlemidir.

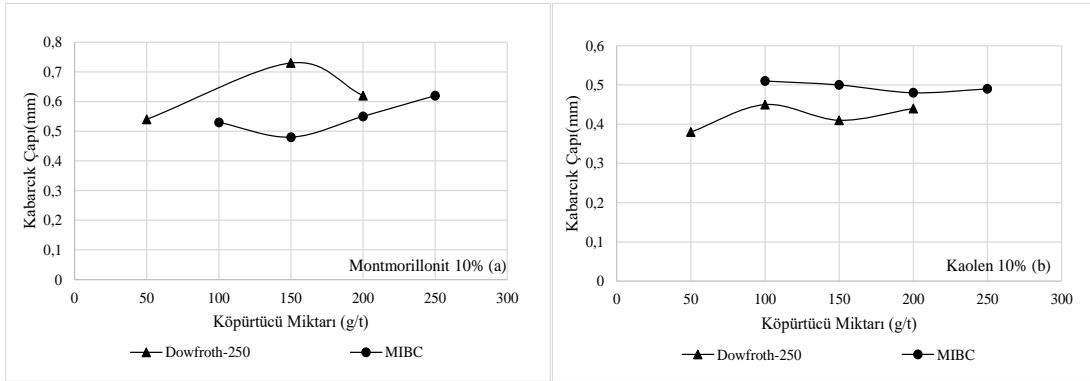
Mekanik taşıma pülp fazında başlamaktadır. Flotasyon hücrelerinde, pülp fazı genellikle iki bölüme ayrılmaktadır; bunlar türbülanslı bölge ve durgun bölgelerdir. Türbülanslı bölgede, hava flotasyon hücresine çekilir ve küçük kabarcık kümeleri karıştırıcı tarafından dağıtılır. Bu kabarcıklar köpürtücüye adsorbe olur ve değerli mineraller ile hızlı bir şekilde kolloidal bir yapı oluştururlar. Daha sonra durgun bölgeye ulaşır ve en sonunda yarı kararlı hale gelirler. Bu kabarcıklar, pülp/köpük arayüzeyinin altındaki bölgeye ulaştığında, hidrofilik gang parçacıkları mekanik taşıma ile köpüğe transfer işlemini başlatırlar(Wang ve ark., 2015).

Wang ve ark.(2015) tarafından yapılan çalışmalarda, mekanik taşımanın suyun geri kazanımı, flotasyon hücresindeki katı yüzdesi, parçacık büyüklüğünün dağılımı, pülp viskozitesi, köpük yüksekliği, köpük yapısı, gaz oranı, parçacık yoğunluğu, köpüğün dayanım süresi ve flotasyon hücresinin tasarımı gibi birçok faktörden etkilendiğini ortaya koymuşlardır.Mekanik taşıma ile yapılan diğer çalışmalar ise mekanik taşımanın konsantreye gelen su ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Konsantreye gelen besleme suyu arttıkça mekanik taşımanın o ölçüde değiştiği görülmüştür. Konsantreye gelen suyun azaltılabilmesi ise kabarcıklar arasındaki besleme suyunun pülp içerisine yeterince akabilmesi köpüğün yeterli bir süre bekletilmesi yani köpük derinliğinin artırılması ile sağlanabilmektedir (Taner ve Önen, 2016).

#### **4.6.Kömür flotasyonunda kil minerallerinin kabarcık boyutuna etkileri**

Köpürtücüler, flotasyonun konsantrasyon derecesinin belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Ayrıca köpürtücülerin, kül içeriği ve köpük konsantrasyonu ile arasında sıkı bir ilişki vardır. Bu nedenle bu ilişkinin araştırılması gelecekte flotasyon tahmini ve kontrolü için önem taşımaktadır. Son zamanlarda, flotasyon köpüğünün görüntü analizi, flotasyon konsantresinin derecesini tahmin ve analiz etmek için

kullanılmaktadır ve bu yöntem ile tatmin edici sonuçlar elde edilebilmektedir(Tan ve ark., 2016). Bu çalışmada, farklı köpürtücülerin cins ve dozajlarında, kil (montmorillonit-kaolen) minerallerinin varlığında kabarcık çapına etkileri görüntü analizi yöntemi kullanılarak araştırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.13. Montmorillonit /kaolen (%10) – kömür numunelerinin 120.saniyede köpürtücü miktarına bağlı kabarcık çapları (mm)

Köpürtücü miktarına ve cinsine bağlı olarak kabarcık çapları verilmiştir (Şekil.4.13) . Kömür-montmorillonit (%10) numunesi için Dowfroth-250 köpürtücüsü ile 150 g/t miktarında gerçekleştirilen deneylerin sonucunda kabarcık boyutunun 0,73 mm olduğu tespit edilmiştir. Aynı dozajda kullanılan MIBC ile kabarcık boyutunun 0,5 mm olduğu görülmüştür (Şekil.4.13(a)). Dowfroth-250 köpürtücüsü MIBC' ye göre daha büyük kabarcıklar oluşturmuştur. Literatürde, köpürtücüden beklenen ise daha ince kabarcıklar oluşturmasıdır. Böylece, flotasyon hücresi içindeki havanın daha iyi dağılması sağlanabilir(Bulatovic, 2007). Ayrıca, ince kabarcıkların daha fazla yüzey alanı oluşturması daha fazla hidrofobik tanenin toplanması anlamına gelir(Chen, 2012). Deneysel çalışmalar sonucunda 150 g/t köpürtücü miktarında kömür-montmorillonit (%10) MIBC köpürtücüsü ile kül içeriği %12,54 bulunmuş iken verim %32,03 olarak bulunmuş ve Dowfrot-250 ile kül içeriği % 16,51 iken verim %36,31 olarak bulunmuştur. Dowfroth-250 daha küllü ürünler vermiştir. Ayrıca, mekanik taşınmadan dolayı küllü ürün konsantreye geçerek, konsantre ürünün kalitesinin azalmasına neden olmuştur.

Kömür-kaolen (%10) numunesi ve 150 g/t MIBC 'nin kullanılmasıyla gerçekleştirilen deneylerde kabarcık boyutunun 0,5 mm olduğu tespit edilmiştir. Köpürtücü miktarı değiştirilmeden Dowfrot-250 ile yapılan deneyler sonucunda ise kabarcık boyutunun 0,41 mm olduğu görülmektedir (Şekil.4.13(b)).

Dowfroth-250 köpürtücüsü (150 g/t) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda kömür-montmorillonit numunesinin 120.saniyedeki kabarcık çapı 0,73 mm iken kömür-kaolen numunesinin kabarcık çapı 0,41 mm olarak tespit edilmiştir. MIBC köpürtücüsü (150 g/t) ile gerçekleştirilen deneylerde ise kömür-montmorillonit ve kömür-kaolen numunelerinin 120.saniyedeki kabarcık çapları 0,5 mm olarak bulunmuş ve kabarcık çaplarında değişim görülmemiştir. MIBC ile yapılan çalışmalar sonucunda kabarcık çapında değişim olmaması üretilen köpüğün Dowfroth-250 'ye göre daha kararlı bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre linyit kömürü için MIBC'nin kullanılması daha uygundur.

Massinaei ve ark. (2019) görüntü analizi yöntemi kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarda köpürtücü dozajın artırılması ile kömürün kazanımının yanı sıra kül içeriğinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Massinaei ve ark.(2019) daha ince kabarcıkların ve daha stabil köpüğün flotasyon hücresindeki parçacıkların köpük zonuna transferi ile toplam kütle transferini ve flotasyon kinetiğini arttırdığını görmüşlerdir. Çalışmalar, köpürtücü dozajının artmasıyla köpük üzerindeki gri rengin arttığını göstermektedir. Bunun sebebi köpürtücü dozajının artırılmasıyla köpüğe gelen kilin köpüğü daha parlak ve nemli yapmasıdır.

Tan ve ark. (2016) farklı köpük derinliklerinde ve köpürtücü dozajlarında kabarcığın patlama boyutu ve konsantre kil içeriği arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Tan ve ark. kabarcık patlamasının köpük dozajının değişmesiyle konsantre kül içeriği ile ilişkili bir köpük değişkeni olduğunu kaydetmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil içeriğinin artmasıyla kabarcığın patladığı boyutun azaldığını ve aralarında negatif bir ilişki bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yüksek kil içerikli parçacıklara sahip köpüğün daha fazla su ve sürüklenen gang mineralleri içerdiğinden dolayı daha yansıtıcı noktalar nedeniyle daha büyük gri değerine sahip olduğunu da görmüşlerdir.

Çalışmalar, flotasyon kazanımı ve köpük yapısının reaktif adsorpsiyonuna, kabarcıkların ve partiküllerin boyutuna bağlı olduğunu göstermektedir. Köpürtücü dozajının kabarcığın boyutu üzerinde belirgin bir etkisi olduğu ise daha önce yapılan literatür çalışmalarında da kaydedilmiştir. Ayrıca literatür çalışmalarında kil minerallerinin kabarcık boyutu üzerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir. Bu durum flotasyon verimliliğini düşürmekte ve seçiciliği azaltmaktadır. Bu yüzden köpük



özellikleri ile konsantre kil içeriği arasındaki ilişkiyi anlamak için yapılan çalışmalarda görüntü analizi yöntemi flotasyon sonuçlarını anlamak için çok faydalıdır ve daha fazla flotasyon tahmini ve kontrolü için büyük öneme sahiptir.

Ortalama kabarcık boyunun kontrolü ve ölçümü flotasyonda büyük öneme sahiptir. Pülpde gerçekleşen işlem köpük yüzeyinden anlaşılabilir. Flotasyonun performansı oluşan kabarcığın boyutuna bağlıdır ve özellikle çarpışma ve tutunma veriminin küçük kabarcıklar kullanılarak artırıldığı göz önünde bulundurulmalıdır (Ekmekçi, 2005).



## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında farklı kil minerallerinin (kaolen-montmorillonit) Tunçbilek bölgesinden getirilen linyit kömürünün flotasyon performansına ve kabarcık boyutuna etkisi araştırılmış ve kil miktarı/cinsi ile kullanılan flotasyon kimyasalları ve kabarcık boyutu arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tunçbilek linyit kömürü için zeta potansiyelinin 0 olduğu nokta pH 2,1 olarak belirlenmiştir. Değişen bastırıcı miktarlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda; kil içermeyen numunede artan bastırıcı ilavesiyle birlikte konsantre kül içeriği düşmekte ancak yanabilir verim değerlerinde de düşüş gözlenmektedir. Kil içermeyen besleme ile 600 g/t bastırıcı miktarında %11,4 kül içerikli konsantre %41.8 verimle; 200 g/t bastırıcı miktarında ise: %13,65 kül içerikli konsantre %45.76 verimle elde edilmiştir. Beslemeye kil ilave edilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, beslemede kaolen kilinin miktarı arttırıldıkça verimin azalıp konsantredeki kül içeriğinin arttığı, Montmorillonitte ise hem verimin hem de konsantre kül miktarının arttığı belirlenmiştir. Optimum bastırıcı miktarı kaolen içeren numuneler için 200 g/t, montmorillonit içeren numuneler için 300 g/t olarak tespit edilmiştir.

Toplayıcı türünün (gazyacı-motorin) belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda gazyacı uygun toplayıcı olarak belirlenmiş ve bu durum literatürde de ifade edildiği gibi motorinin yoğunluğunun ve viskozitesinin gaz yağına göre daha yüksek olması nedeniyle pülp içinde yeterince homojen dağılamaması ile ilişkilendirilmiştir.

Kil minerallerinin değişen toplayıcı miktarlarında yanabilir verim ve konsantre külü üzerine etkisinin belirlendiği deneysel çalışmalarda, kil içermeyen %14'lük kül içeriğine sahip besleme malzemesi ile kullanılan toplayıcı miktarlarında %40-51 verimle kül içeriğinin %10-11'e düşürülebildiği görülmüştür. Kaolen ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerde, % 5-10 kil içeren cevher numunesi ile optimum toplayıcı miktarında ( 6703 g/t) kül içeriği %10,4-11,5 olan konsantreler % 50,83-49,3 verimle elde edilmiştir. Kil içeriğinin daha fazla artması (%15) konsantredeki külün artmasına ve verimliliğin azalmasına neden olmuştur. Montmorillonit ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerde ise %5-10 kil içeren cevher numunesi ile optimum toplayıcı miktarında

(6703 g/t) kül içeriği %11,68-14,16 olan konsantreler %39,56-45,6 verimle elde edilmiştir. Montmorillonit miktarının daha da arttırılması ile konsantredeki kül içeriği %17,83 iken verim %48,83 'tür.

Kil türü ve miktarının kömür flotasyonuna etkisinin süreye bağlı olarak incelendiği deneysel çalışmalarda, kil içeriğinin %15 olduğu deneylerde 3.dakikada verim kömür-kaolen numunesi için % 47,96 iken kömür-montmorillonit numunesi için %53,89 olarak bulunmuştur. Aynı kil içeriğinde ise konsantreden 3.dakikada alınan ürünlerin kül içeriği kömür-kaolen için % 18,35 iken kömür-montmorillonit için %20,14 olarak tespit edilmiştir. Montmorillonit içeren besleme malzemesi ile daha yüksek kül içeriğine sahip konsantre daha yüksek verimlerde elde edilmektedir. Bu durum montmorillonit kilinin daha yüksek miktarlarda mekanik taşımaya sebep olduğunu göstermektedir.

Uygun köpürtücü cinsi-miktarının belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, Dowfroth-250 ile daha yüksek yanabilir verim değerleri ancak MIBC ile kül içeriği daha düşük konsantreler elde edildiği tesbit edilmiş ve her iki kili içeren besleme numunelerinde optimum köpürtücü miktarı 200 g/t olarak belirlenmiştir. Dowfroth-250, MIBC' ye göre ; Montmorillonit içeren cevher kaolen içeren cevhere göre daha büyük kabarcıklar üretilmesine neden olmuştur.

Montmorillonit kilin 2:1 alümüne silika tabakalı yapısı hacminin 20, ağırlığının 10 katı kadar şişebilmektedir. Montmorillonit'in yapısal farklılığından dolayı pülpteki viskoziteye etkisi daha fazladır. Ayrıca mekanik taşıma ile flotasyon hücrelerinden yükselen kabarcıkların gang mineralini köpük bölgesine taşınması sonucunda elde edilen konsantrenin kalitesini düşmektedir.

Flotasyon işlemi toz kömürün zenginleştirilmesinde en verimli yöntem olsa da düşük tenörlü cevherleşmelerde bulunan gang mineralleri flotasyon verimini etkilemekte ve birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Yapılan bu çalışmada kömür flotasyonunda kil minerallerinin etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda killerin karmaşık ve farklı yapılarının kömür flotasyonunda mekanik taşıma, şlam kaplama, pülp viskozitesinde artış, fazla miktarda reaktif tüketimi gibi birçok olumsuz etkiye neden olduğu görülmektedir. Kaliteli kömür yataklarının azalmasıyla birlikte kil

minerallerinin etkilerinin araştırılması ve etki mekanizmalarının anlaşılması zorunlu hale gelmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akdemir, Ü. ve Sönmez, İ., 2003, Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation, *Fuel Processing Technology*, 82 (1), 1-9.
- Aktas, Z., Cilliers, J. J. ve Banford, A. W., 2008, Dynamic froth stability: Particle size, airflow rate and conditioning time effects, *International Journal of Mineral Processing*, 87 (1-2), 65-71.
- Arnold, B. J., Aplan F, 1986, Effect of clay slimes on coal flotation: Part 1. The nature of the clay, *International Journal of Mineral Processing*, 17, 225-242.
- Atak, S., 1990, Flotasyon İlkeleri Ve Uygulaması, *İstanbul*, p. 1-125.
- Bulatovic, M., 2007, Handbook of Flotation Reagents, p.
- Bulut, G. ve Göktepe, F., 2012, Madencilik Ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38-55.
- Chen, C., 2012, Development of Measurement of Froth Characteristics, *Chalmers University of Technology*, Sweden, 12-15.
- Dudnikov, S. V. ve Bakinov, K. G., 1966, Effect of the Structure of Frothing Agent Molecules on the Coalescence of Air Bubbles, *Tsvetnie Metaly*, 39.
- Ekmekçi, Z., 2005, Flotasyonda Palp Kimyasındaki Değişimlerin Köpük Fazına Etkilerinin Görüntü Analizi Sistemleri ile Belirlenmesi, *Ankara*, p.
- Ekmekçi, Z. ve Şahin, A. N., 2006, Köpük Görüntüsü ve Flotasyon Performansı Arasındaki İlişkinin Görüntü Analizi Sistemi İle İncelenmesi, *Madencilik Dergisi*, 27-37.
- Farrokhpay, S., 2011, The Significance of froth stability in mineral flotation, *Advances in Colloid and Interface Science*, 166, 1-7.
- Feng, D. V. A. C., 1999, Effect of Particle Size on Flotation Performance of Complex Sülphide Ores, *Minerals Engineering* 4, 25-44.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2008, Kolon Flotasyonu ile Bitümlü Kömür Atıklarından Temiz Kömür Kazanımı, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 11-19.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2011, Jameson Hücrelerinde Bitümlü Şlam Kömürün flotasyonu için en uygun köpürtücü ve toplayıcı tipinin araştırılması, *Mühendislik Dergisi*, 1, 33-43.
- Hunter, T., Pugh, R., Franks, G. ve G., J., 2008, The Role of Particles in Stabilising Foams and Emulsions, *Advances in Colloid and Interface Sciences* 137, 57-81.

- Liang, L., Li, Z., Peng, Y., Tan, J. ve Xie, G., 2015, Influence of coal particles on froth stability and flotation performance, *Minerals Engineering*, 81, 96-102.
- Massinaei, M., Jahedsaravani, A., Taheri, E. ve Khalilpour, J., 2019, Machine vision based monitoring and analysis of a coal column flotation circuit, *Powder Technology*, 343, 330-341.
- Molatlhegi, O. ve Alagha, L., 2016, Ash Depression in Fine Coal Flotation Using a Novel Polymer Aid, *International Journal of Clean Coal and Energy*, 05 (04), 65-85.
- Ni, C., Bu, X., Xia, W., Peng, Y. ve Xie, G., 2018, Effect of slimes on the flotation recovery and kinetics of coal particles, *Fuel*, 220, 159-166.
- Oats, W. J., Ozdemir, O. ve Nguyen, A. V., 2010, Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation, *Minerals Engineering*, 23 (5), 413-419.
- Önen, V. ve Taner, H. A., 2018, Farklı Kil Minerallerinin Köpük Kararlılığına Etki Mekanizması, *SÜBAP Proje:16501051*, 97.
- Öney, Ö. ve Bilgin, E., 2016, Zonguldak İnce Taşkömürlerinin Optimal Flotasyon Parametrelerinin Verimlilik İndeksi ile Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 759-769.
- Özmacı, M. ve Aktaş, Z., 2006, Coal Froth Flotation: Effects of Reagent Adsorption on the Froth Structure, *Energ & Fuels*, 20, 1123-1130.
- Rahman, R., Ata, S. ve Jameson, G., 2012, The effect of flotation variables on the recovery of different particle size in the froth and the pulp, *International Journal of Mineral Processing*, 106-109, 70-77.
- Shumba, T., 2014, Relationship between flotation operational factors and froth behaviour, *University of Cape Town*, 5-23.
- Sönmez, I. ve Cebeci, Y., 2006, Performance of classic oils and lubricating oils in froth flotation of Ukraine coal, *Fuel*, 85 (12-13), 1866-1870.
- Tan, J., Liang, L., Peng, Y. ve Xie, G., 2016, The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images, *Minerals Engineering*, 92, 9-20.
- Taner, H. A. ve Önen, V., 2016, Killerin Pülp Ortamındaki Davranışı Ve Flotasyona Etkisi, *Madencilik Dergisi*, 55, 45-51.
- Wang, B. ve Peng, Y., 2014, The interaction of clay minerals and saline water in coarse coal flotation, *Fuel*, 134, 326-332.

- Wang, L., Peng, Y., Runge, K. ve Bradshaw, D., 2015, A review of entrainment: Mechanisms, contributing factors and modelling in flotation, *Minerals Engineering*, 70, 77-91.
- Xing, Y., Xu, X., Gui, X., Cao, Y. ve Xu, M., 2017, Effect of kaolinite and montmorillonite on fine coal flotation, *Fuel*, 195, 284-289.
- Xing, Y., Xu, M., Guo, F., Luo, J., Zhang, Y., Cao, Y. ve Gui, X., 2019, Role of different types of clay in the floatability of coal: Induction time and bubble-particle attachment kinetics analysis, *Powder Technology*, 344, 814-818.
- Xu, Z., Liu, J., Choung, J. W. ve Zhou, Z., 2003, Electrokinetic Study of Clay Interactions with Coal in Flotation, *Internatiol Journal of Mineral Processing*, 68, 183-196.
- Yeşilyurt, Z., 2014, Farklı Yapıdaki Non-İyonik Sürfaktanların Bitümlü Kömür Şlamı Üzerinde Flotasyon ve Gang Taşıma Davranışları İle Filtrasyon Performanslarının İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Yu, Y., Ma, L., Cao, M. ve Liu, Q., 2017, Slime coatings in froth flotation: A review, *Minerals Engineering*, 114, 26-36.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ayşe Zeynep Çağlar  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Antakya 8/7/1990  
**Telefon** : 05321592448  
**Faks** :  
**E-Posta** : aysezeynepcaglar @gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özbuğday Lisesi	Antakya	Hatay	2007
Üniversite	: İnönü Üniversitesi Merkez		Malatya	2014
Yüksek Lisans	:			
Doktora	:			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	<b>Mafram Madencilik</b>	<b>Daimi Nezaretçi</b>
2017	<b>Onursan Madencilik</b>	<b>Daimi Nezaretçi</b>
2018	<b>İncitaş Madencilik</b>	<b>Daimi Nezaretçi</b>

### YABANCI DİLLER İNGİLİZCE

#### YAYINLAR

**Çağlar, A.Z., Önen, V., Taner, H.A., 2019.** Effects of Clay Minerals on the Coal Flotation, 6th International Congress on Mathematics, Engineering, Natural and Medical Science, March 8-10, Adana, 135-141.