



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

**BAKIR CEVHERİ FLOTASYONUNDA KİL MİNERALLERİNİN**  
**MEKANİK TAŞIMAYA ETKİSİ**

**Hazırlayan**  
**Sevdanur OTARAN**

Danışman  
Doç. Dr. Vildan ÖNEN

**Aralık-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sevdanur Otaran tarafından hazırlanan "Bakır Cevherinin Flotasyonunda Kil Minerallerinin Mekanik Taşımaya Etkisi" adlı tez çalışması 09/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

#### Danışman

Doç. Dr. Vildan ÖNEN

#### Üye

Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
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.



Sevdanur OTARAN

09.12.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

### BAKIR CEVHERİ FLOTASYONUNDA KİL MİNERALLERİNİN

### MEKANİK TAŞIMAYA ETKİSİ

**Sevdanur OTARAN**

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

**Danışman: Doç. Dr. Vildan ÖNEN**

**2019, 60 Sayfa**

**Jüri  
Prof. Dr. Alper ÖZKAN  
Doç. Dr. Vildan ÖNEN  
Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesi, ince tane boyutu, tabaka yapısı ve kil minerallerinin anizotropik yükü nedeniyle flotasyonda şlam kaplama, mekanik taşıma, köpük kararlılığının değişmesi gibi birtakım problemlere neden olmaktadır. Flotasyonu etkileyen diğer parametrelerle kıyaslandığında hava akış hızı ve köpük yüksekliğinin önemi hala tam olarak anlaşılmamasına rağmen mekanik taşıma ile gang kazanımının bu iki faktörden önemli ölçüde etkilendiği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında, Cu cevherlerinde yaygın olarak bulunan kil türlerinin (Kaolen-Montmorillonit) flotasyon performansı ve mekanik taşıma üzerine etkileri incelenmiştir. Kil türü/miktarı (%5-10-15), köpük yüksekliği (1,2,3 cm), hava akış hızı (8,10,12 l/dk) çalışılan deneysel parametrelerdir. Mekanik taşımanın değerlendirilmesinde, toplayıcı ve toplayıcısız gerçekleştirilen flotasyon deney verileri kullanılarak toplam flotasyon verimi (RT) ve mekanik taşıma verimi (RM) farkından gerçek verim (RG) değerleri belirlenmiştir.

Artan kil oranı ile, konsantrasyonun montmorillonitte düşerken kaolende belirgin bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Montmorillonit pulp'ın görünür viskozitesini önemli ölçüde artırmaktadır ve sonuç olarak kabarcık- tane çarpışmasını etkileyerek tenör düşüşüne neden olmaktadır. Montmorillonit içerikli cevherle kaolen içerikli cevhere göre daha düşük verimle konsantrasyon elde edilmiştir. Verim değerlerinin %10 kil oranından sonra artış gösterdiği belirlenmiştir. Bunun nedeni kil minerallerinin, mekanik taşıma ile gelmesidir. Yüksek hava akış hızı ile çalışıldığında tenörün düşüp verimin arttığı tesbit edilmiştir. Hava akış hızı artışı flotasyonda karıştırma etkisini ve köpük yükselme hızını artırarak mekanik taşımayı artırmakta değerli mineral tenörünü azaltmaktadır. Mekanik taşıma verimi açısından köpük yüksekliği kaolen içerikli cevherde belirgin bir etki göstermezken montmorillonitte artan köpük yüksekliği ile düşmüştür. Artan köpük yüksekliği ile montmorillonitte gerçek verim değerleri artarken kaolende düşmüştür. Kaolende artan köpük yüksekliği ile tenörde düşüş pulp içinde askıda kalan ince boyutlu kaolen tanelerinin köpük fazına taşınması ile ilişkilendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır, Flotasyon, Kil, Mekanik Taşıma, Köpük derinliği, Hava akış hızı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **EFFECT OF CLAY MINERALS ON THE MECHANICAL ENTRAINMENT IN THE FLOTATION OF COPPER ORE**

**Sevdanur OTARAN**

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

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖNEN**

**2019, 60 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Alper ÖZKAN  
Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖNEN  
Assoc. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

Processing of ores with high clay causes some problems such as slime coating, mechanical entrainment and change of foam stability in flotation, due to fine particle size, layer structure and anisotropic load of clay minerals. Although the importance of air flow rate and foam height is still not fully understood when compared with other parameters affecting flotation, it is known that mechanical entrainment and gangue gain are significantly affected by these two factors. In study, the effects of clay species (Kaolinite- Montmorillonite) commonly found in Cu ores were investigated on flotation performance and mechanical entrainment. Clay type/ amount (5- 10- 15 %), foam height (1,2,3 cm) air flow rate (8,10,12 l/min) are studied as experimental parameters. In the evaluation of mechanical entrainment, the actual efficiency (RG) values were determined from the total flotation efficiency (RT) and mechanical entrainment efficiency (RM) difference by using flotation test data with collector and without collector.

With increasing clay content, it was determined that the grade of concentrate did not show a significant change in kaolin while it decreased in montmorillonite. Montmorillonite significantly increases the apparent viscosity of the pulp and consequently affects the bubble-particulate collision, resulting in grade of concentrate decreases. It was obtained with lower efficiency concentrate with montmorillonite containing ore than kaolin containing ore. The efficiency values increased after 10% clay content due to the mechanical entrainment of clay minerals to the concentrate. When working with high air flow rate, it was found that the grade decreases and yield increases. The increase in the air flow rate increases the stirring effect and the rate of foam rise in the flotation and increases the mechanical entrainment and reduces the valuable mineral grade. In term of mechanical entrainment efficiency, the foam height did not show a significant effect on the kaolin-containing ore but decreased with increasing foam height in montmorillonite. With increasing foam height, the actual efficiency values increased in montmorillonite but decreased in kaolin. Decreasing of grade with increasing of foam height in kaolin has been related with the transport the foam phase of suspended fine-sized kaolin particulate in the pulp.

**Keywords:** Copper, Flotation, Clay, Mechanical Entrainment, Foam depth, Air flow rate

## ÖNSÖZ

Öncelikle çalışmanın deney ve yazım dâhil her aşamasında desteğini ve değerli tecrübelerini esirgemeyen, her başaramayacağım ümitsizliğine kapıldığımda hoşgörülü yaklaşip motive eden ve bu tezin oluşumuna düşünceleri, gözlemleri ve önerileriyle katkıda bulunan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Vildan ÖNEN' e sonsuz teşekkür ederim. Bölüm başkanımız değerli hocam Prof. Dr. İhsan ÖZKAN' a ve lisans dönemim de dâhil olmak üzere üzerimde emeği olan bütün bölüm hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince tecrübelerini benimle paylaşip, sorduğum sorulara sabırla cevap veren Sayın Arş. Gör. Hasan Ali TANER' e, laboratuvar sorumlusu İbrahim KÜÇÜK' e, deney aşamasında yardım eden bölüm lisans öğrencilerinden İbrahim EKİZ, Yasin TAŞÇIOĞLU, Abdulkadir BAYRAM' a ve Mustafa Yasir ÖZÇELİK' e teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın ilk gününden başlayarak yoğun ve uzun yolculuğumda beni bir an olsun yalnız bırakmayan, başarımın yarısının sahibi olan annem Zümrüt OTARAN' a, en stresli dönemlerimde bile başaracağıma inandığını söyleyerek bana cesaret kazandıran babam Veysel OTARAN' a, maddi manevi yanımda olan en değerlilerim, kardeşlerim Rıdvan OTARAN ve Emre OTARAN' a, bazen bir abi, bazen yakın bir arkadaş olabildiğim her çıkmaza girdiğimde yol gösteren, sabrı ve doğruluğu tavsiye eden değerli dayılarım Ömer ONAY ve Yakup ONAY' a, ilminden ve bilgisinden her alanda istifade ettiğim dayılarım Hacı ONAY, Naci ONAY' a ve değerli hocam Kadir KESİCİ' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Sevdanur OTARAN

KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Bakır Flotasyonu.....	3
2.2. İnce Tanelerin Flotasyonu .....	4
2.3. Bakır Cevherlerinin Flotasyonu Üzerine Kil Minerallerinin Etkisi.....	5
2.4. Mekanik Taşıma .....	8
2.3.1. Mekanik Taşıma Modelleri ve Mekanik Taşımanın Belirlenmesi .....	12
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>18</b>
3.1. Materyal .....	18
3.1.1. Cevher Özellikleri.....	18
3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar .....	21
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Flotasyon Deneyleri.....	21
3.2.2. Mekanik Taşımanın Belirlenmesi.....	24
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>25</b>
4.1. Kalkopirit Flotasyonuna Montmorillonitin Etkisi.....	25
4.2. Kalkopirit Flotasyonuna Kaolenin Etkisi.....	31
4.3. Mekanik Taşımanın Belirlenmesi .....	36
4.3.1. Kil Türü ve Miktarının Mekanik Taşımaya Etkisi.....	43
4.3.2. Hava Akış Hızının Mekanik Taşımaya Etkisi .....	46
3.1.1. Köpük Derinliğinin Mekanik Taşımaya Etkisi.....	49
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>53</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>60</b>

## 1. GİRİŞ

Zengin maden yataklarının azalmasıyla düşük tenörlü ve karmaşık yapılı cevher yataklarının işletilmesi ihtiyacı doğmuştur. Flotasyon, diğer gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilmesi mümkün olmayan çok ince boyuttaki cevherlerin zenginleşmesini mümkün kılarak, madencilik endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır. Zamanımızda bakır, çinko, kurşun, gümüş gibi metallerin dünya ihtiyacının büyük bir kısmı flotasyon ile karşılanmaktadır (Kaya, 1991; Atak ve Tolun, 1994). Flotasyon performansı üzerinde pH, besleme hızı, tane boyutu, kullanılan kimyasallar, cevher ve mineral özellikleri vb. parametreler oldukça etkindirler (Arbiter ve Harris, 1962; Brooks ve Fleming, 1989).

Tane boyutu flotasyonu etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Çok karmaşık fiziko-kimyasal ve mekanik etkenlerin bulunması ince taneli malzemelerin flotasyonunda sorunlar meydana getirmektedir. Tane boyutunun küçülmesiyle iki karakteristik durum olan özgül yüzeyin büyümesi ve tane kütesinin çok küçülmesi ortaya çıkar. İnce tanelerin sıvı- gaz ara yüzeyine yapışarak tanelerin hava kabarcığına tutunmasını zorlaştırması, randımanı düşürmesi, taneler gang minerali ise konsantre tenörünün düşmesine sebebiyet vermesi, köpük kararlılığının değişmesi, şlam kaplanma, köpük içerisine sıvının sürüklenmesiyle veya yüzdürülmeye başlayan tanelerin arasında mekanik olarak taşınması ince tanelerin flotasyonunda karşılaşılan problemlerdendir. Değerli mineral ve metallerin ince taneler halinde kaybı, eski yöntemlerin iyileştirilmesini ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini hızlandırmıştır.

Cu cevherlerinin zenginleştirilmesinde jeolojik oluşumlarından kaynaklanan en önemli sorunlardan biri kil mineralleri içermeleri ve ufalama sonrası şlam oluşumudur. Killer tane boyutu 0.02 mm' den küçük ince taneli sedimanlar olup; toprağımsı, belirli miktarda su katıldığında plastikliği artan, alümina ve silis içeriği yüksek minerallerdir. Kil minerallerinin varlığı flotasyonda yukarıda ifade edilen ve ince tanelerin flotasyonunda karşılaşılan mekanik taşıma da dahil tüm problemlerin yanı sıra,, şişme davranışı kaynaklı problemler, pülpün viskozitesinde artış meydana gelmesi, gibi ek birtakım problemlere de neden olmaktadır. Flotasyondan elde edilecek konsantrenin verim ve tenörünü arttırabilmek için kil minerallerinin flotasyona olan olumsuz etkileri ortadan kaldırılmalı veya en aza indirilebilmelidir.



Mekanik taşıma flotasyonda önemli problemler oluşturmaktadır. Reaktifler yardımıyla hidrofobik taneler hava kabarcığına tutunarak yüzeye taşınırken beraberinde ince boyutlu mineral tanelerinin hava kabarcığına bağlanmadan, sıvı film içinde konsantreye taşınması mekanik taşıma olarak tanımlanmaktadır. Mekanik taşımanın bir diğer yolu ise yükselen kabarcıklar tarafından itilen su ile taşınmadır. Engelbrecht ve Woodburn (1975), mekanik taşımada su sevmez (hidrofobik) ve su sever (hidrofilik) mineraller arasında seçimlilik söz konusu olmadığından, ince tanelerin bu mekanizma ile konsantreye aynı anda taşındıklarını belirlemiştir. Bu durum, gang (değersiz) minerali ve değerli mineral verimini artırırken konsantrede değerli mineral tenörünün düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle mekanik taşımaya sebep olan faktörlerin giderilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

### **Çalışmanın amacı:**

Bakır cevherlerinin flotasyon proseslerinde kil minerallerinin varlığı, düşük verimin yanı sıra konsantre tenöründe azalmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle, flotasyon proseslerinde kil minerallerinin hareket ve etkileme mekanizmalarının arkasındaki fizikokimyasal temellerin açıklanmasına yönelik bilimsel çalışmalara ilgi artmaktadır. Yapılan çalışmalarda cevher içerisindeki kil miktarı arttıkça, alınan konsantrelerin ağırlıkça miktarlarının da arttığı görülmüştür. Bunun nedeni kil fraksiyonunun çok ince tane boyutta olmasından dolayı, köpüğe “gerçek” flotasyon ile değil, mekanik taşıma ile gelmesidir. Bu tez çalışmasında, Cu cevherlerinde yaygın olarak bulunan kil türlerinin (Kaolen-Montmorillonit) ve kil miktarının flotasyon performansı ve mekanik taşıma üzerine etkilerinin belirlenmesi ve kabul edilebilir bir metalürjik başarı için çözüm önerileri sunulması amaçlanmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bakır Flotasyonu

Bakır birçok yöntemle zenginleştirildiği gibi tercih edilen en ekonomik ve verimli yöntem flotasyon teknikleriyle zenginleştirmektir. Köpük flotasyonu, yüz yıldan fazla süredir metalik minerallerin cevherden kazanılmasında baskın bir yöntem haline gelmiştir.

Bakır, temel olarak sülfürlü mineraller olarak bulunmaktadır. Bu minerallerin başlıcaları kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) ve kalkozindir ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). Bunun dışında sülfürlü bakır mineralleri olarak, kovelin, tetraedrit, enargit, oksitli mineraller olarak malahit, azurit, sülfürlü diğer metal mineralleri olarak pirit, pirotin, markasit ile Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Hg, Sb, Bi' un sülfürlü mineralleri bulunur. Bu mineraller cevher yataklarında genelde %2'den daha düşük bakır içerirler. Bu yüzden saf bakır üretmek için cevherler bir dizi işlemde geçirilir (Bide, 2007). Sülfürlü minerallerin gerek yan taştan gerek birbirlerinden ayrılmasında en etkin yöntem flotasyondur. Sülfürlü bakır mineralleri kolay yüzme davranışı göstermektedirler. Cevher karmaşık bir yapıya sahipse öncelikle sülfürlü olmayan minerallerden ayrılmaktadır. Daha sonra ortam alkali yapılarak piritin bastırılması sağlanmaktadır (Atak, 1990).

Çizelge 2.1. Başlıca bakır mineralleri (Aşık, 2018)

Mineral	Kimyasal Formülü	Bakır İçeriği (%)
Kuprit	$\text{Cu}_2\text{O}$	88.82
Tenorit	$\text{CuO}$	79.89
Kalkosit	$\text{Cu}_2\text{S}$	79.85
Kovellit	$\text{CuS}$	64.46
Bornit	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63.31
Malahit	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	57.48
Azurit	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55.31
Tennantit	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	47.51
Tetrahedrit	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	34.8
Kalkopirit	$\text{CuFeS}_2$	34.63

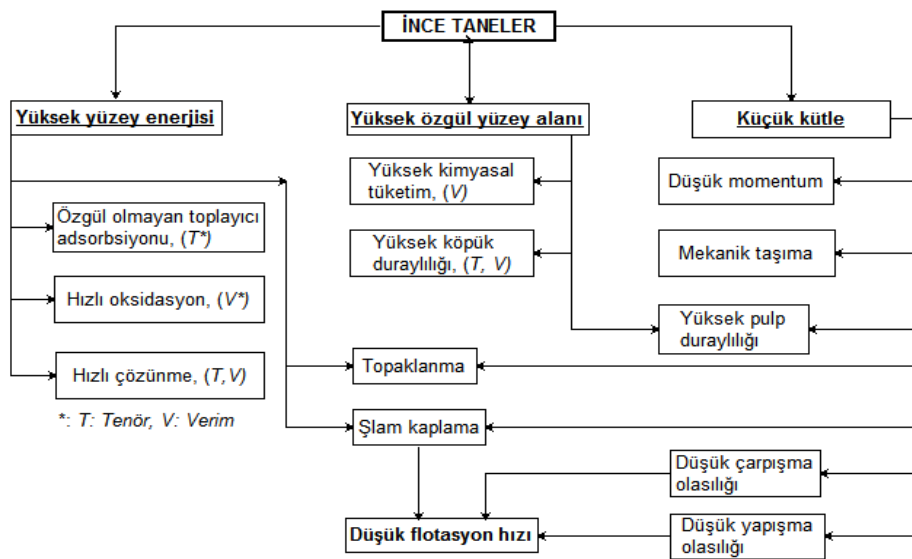
Bakır konsantrelerinin bakır bakımından zenginlikleri, kazanılan mineralin cinsine göre değişmektedir. Kalkosit ihtiva eden konsantrelerde tenör % 70 Cu, kalkopirit ihtiva eden konsantrelerde tenör % 15- 30 Cu civarında mümkün olmaktadır.

Zenginleştirme oranı ve verimi cevherin serbestleşme derecesine bağlıdır. Serbestlik derecesi çok ince olan cevherlerde ön konsantrelerin veya ara ürünün (bulk konsantre) tekrar öğütülmesi söz konusudur (MTA, 2016).

Cevherin çok fazla pirit, az miktarda bakır minerali ihtiva etmesi durumunda yüksek tenörlü bakır konsantresi elde etmek güçleşmektedir. Bu durumda, temizleme devreleri arttırılarak sağlanabilmektedir. Pirit ve bakır minerallerinin farklı boyutta serbestleşiyor olması ve oksitlenme etkisiyle piritin canlanması da flotasyonu güçleştirmektedir. Bu durumda siyanür kullanılmaktadır (Atak, 1990). Son yıllarda farklı sülfür minerallerinin selektif flotasyonu ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır (Bulatovic vd., 1999; Laskowski ve Liu, 1999; Bıçak vd., 2007; Laskowski vd., 2007).

## 2.2. İnce Tanelerin Flotasyonu

Flotasyonda zenginleştirilmek durumunda olan, çoğunluğu düşük tenörlü ve karmaşık yapıları cevherlerde yeterli serbestleşme elde edebilmek için çok ince boyutlara ufalama gerekmektedir. Bu durumda ise, öğütülmüş cevherler içerisinde şlam boyutlu ( $<0.02$  mm) tanelerin oranı oldukça artmaktadır. İnce tanelerin flotasyonu konusu, standart flotasyon süreci için çok küçük (ya da şlam) olarak kabul edilen tane boyutlarına sahip malzemelerin flotasyonunu kapsar (Trahar, 1981; Subrahmanyam ve Forsberg, 1988; Sivamohan, 1990; Çilek, 2013).

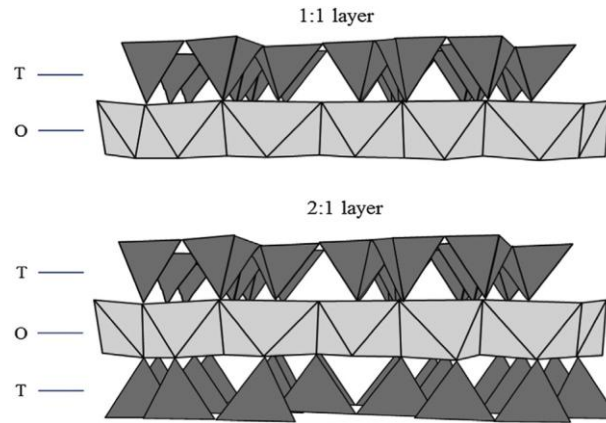


Şekil 2.1. İnce boyutlu tanelerin flotasyona etkileri (Çilek, 2013)

İnce taneler aynı malzemeden olsalar da, iri tanelerden değişik yüzey ve elektrokimyasal özellikler taşırlar. İnce tanelerde daha fazla sayıda köşe, kenar ve kristal hataları bulunduğu için bunlar, iri tanelerden daha büyük özgül yüzey enerjisine sahiptir. Flotasyonda, mineralleri su sevmez yapmak için kullanılan toplayıcılar, ilgili minerallerin yüzeylerine adsorblanarak onları su sevmez yapacaklarından, tanelerin küçülmesiyle büyüyen yüzey alanı ile kullanılması gereken toplayıcı ve düzenleyici kimyasal miktarının artırılmasını gerektirir (Çilek, 2013). Bununla birlikte adsorblanma, yüzeyin kimyasal özelliklerine veya elektriksel çift tabakaya dayanmaksızın rastgele olmakta ve istenmeyen minerallerin yüzmesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak flotasyon işleminde şlam kaplama, pulp viskozitesinde artış meydana gelmesi, köpük kararlılığının (Şekil 2.1) değişmesi ve mekanik taşıma gibi problemlerle karşılaşmaktadır (Taner ve Önen, 2016).

### 2.3. Bakır Cevherlerinin Flotasyonu Üzerine Kil Minerallerinin Etkisi

Nikel, bakır, platinyum ve potasyum içeren birçok maden yatağı killer gibi kompleks gang mineralleri içerir. Kil mineralleri, anizotropik bir yapıya sahip olan ve genellikle kolloidal boyutları kapsayan filozilikatlardır. Killer, tetrahedral silika (T) ve oktahedral alümina (O) tabakalarının, 1: 1 (TO) and 2: 1 (TOT) şeklinde tabakalanması ile oluşurlar (Şekil 2.2). Genellikle kil yüzeyleri negatif yük taşıırken, köşeler ortam pH'ına bağlı olarak negatif ya da pozitif şarj sergileyebilirler. Kil mineralleri su absorpsiyon yeteneklerine bağlı olarak şişen ve şişmeyen killer olarak sınıflandırılabilirler. Kaolinit, 1:1 tabakalı yapısıyla genel formülü  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  olan şişmeyen bir kil mineralidir. İzomorfik yapısı  $Mg^{+2}, Fe^{+3}, T^{+4}$  ve  $V^{+3}$  den oluşan oktahedral sitelerinde  $Al^{+3}$ 'ün baskın olması ile karakterizedir. Montmorillonit ise,  $(M_y^{+x} nH_2O)(Al_2-y^{+3}Mg_y^{+2})Si_4^{+4}O_{10}(OH)_2$  genel formülü ile ifade edilen 2:1 tabakalı yapıya sahip şişen bir kil mineralidir (Jeldres vd., 2019).



**Şekil 2.2.** Kil minerallerinin 1:1 ve 2:1 tabakalı yapısının şematik gösterimi Tetrahedral tabaka (T) ve oktahedral tabaka (O) (Jeldres vd., 2019)

Flotasyonda yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesinde genellikle önemli olumsuz etkiler söz konusudur. Operasyon için engelleyici koşullar oluşturan kil kaynaklı problemler genel olarak, köpük stabilitesinin değişmesi, aşırı reaktif tüketimi, mekanik taşıma ya da pulp reolojik özelliklerinin değişmesidir (Jeldres vd., 2019).

Bakır flotasyonunda, kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), kalkozit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), kovellit ( $\text{CuS}$ ) ve enarjit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) gibi çeşitli mineraller bulunabilir. Farrokhpay ve Ndlovu (2013), kalkopirit veriminin sırasıyla talk > montmorillonit > muskovit > kaolinit > illit şeklinde fillosilikatlar tarafından etkilendiğini belirlemiştir. Talk ve montmorillonit, kristal yapılarındaki farklılıklar, yüksek kation değişim kapasiteleri ve şişme derecelerinden dolayı en güçlü negatif etkilere sahiptir (Farrokhpay ve Ndlovu, 2013). Uribe vd. (2016), kollektör olarak PAX kullanarak kalkopiritin yüzebilirliği üzerine kil minerallerinin bastırıcı etkisini flotasyon deneyleri, çökeltme-bulanıklık ölçümleri ve indüksiyon süresi ile çalışmışlardır. Kil minerallerinin bastırıcı etkisinin, kil mineralleri ve kalkopirit arasında heterokoagülasyon prosesi üzerine kireçten gelen  $\text{Ca}^{+2}$  etkileri ile ilişkili olması muhtemel olan pH 10'da daha güçlü etkilere sahip olduğunu bulmuşlardır. Aynı zamanda kabarcıkların kil mineralleri ile kaplandığını da belirleyerek kalkopiritin yüzebilirliği üzerine killerin bastırıcı etkisini açıklayabilecek bir mekanizma önermişlerdir. Ancak bu olguyu açıklayan bir mekanizma önermek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Kil minerallerinin varlığı, genellikle flotasyon proseslerinde önemli bir problem olan reolojik değişikliklere neden olurlar (Schubert vd, 2008; Ndlovu vd., 2011; Farrokhpay, 2012). Mineral pulpları nonnewton davranış sergilediği zaman, vizkozite ve yield stress gibi özellikler pulp hidrodinamiğinde ve sonuç olarak prosesin verimliliğini kontrol eden flotasyon selülü içerisindeki tüm fiziksel alt proseslerde

önemli etkilere sahiptir. Bakker vd. (2009) ve Shabalala vd. (2011), hem kabarcık büyüklüğünün hem de gaz tutma miktarının, pulp katı konsantrasyonu ile önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Yazarlar, bu duruma pervanenin etrafında bir çeşit “pulp boşluğu” oluşumuna sebep olan yüksek yield stres değerinin kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu, hücre içerisinde zayıf bir kabarcık dağılımı meydana getirmektedir. Kil içeren pulpların reolojik davranışı, tiksotropi, viskoelastisite ve yield stresine göre değişir ve temel olarak kilin tipine, değiştirilebilir katyonun doğasına ve ortam şartlarına bağlıdır (Paineau, vd., 2011; Jeldres vd., 2017). Örneğin bazı makalelerde, pH ve tuzların varlığının, montmorillonit ve kaolinit gibi killerde diğerlerine göre pulpların reolojik davranışlarını önemli ölçüde değiştirdiği ifade edilmektedir (Brandenburg ve Lagaly 1988; Tombacz ve Szekeres 2004; Cruz vd., 2013; Basnayaka vd., 2017; Jeldres vd. 2017). Zhang ve Peng (2015), bentonit ve iki tür kaolinit olmak üzere üç farklı tip kil mineraline sahip bakır mineralleri (kalkopirit) karışımları için reogramlar yapmıştır. Beklendiği gibi ilk sonuç, kaolinitten (1: 1 yapı) daha yüksek bir viskozite üreten 2: 1 tabakalı yapıya sahip olan bentonit ile pulp vizkozitesinde en yüksek artışın elde edilmesi olmuştur. İki farklı kaolinit türünden daha az kristalli yapıya sahip olan daha yüksek reoloji meydana getirmiştir. Yazarlar, en fazla zararlı etkiye sahip olan bentonitle, flotasyon deneylerinde bakır kazanımı ve pulp vizkozitesi (100 s<sup>-1</sup>'de) arasında direk ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

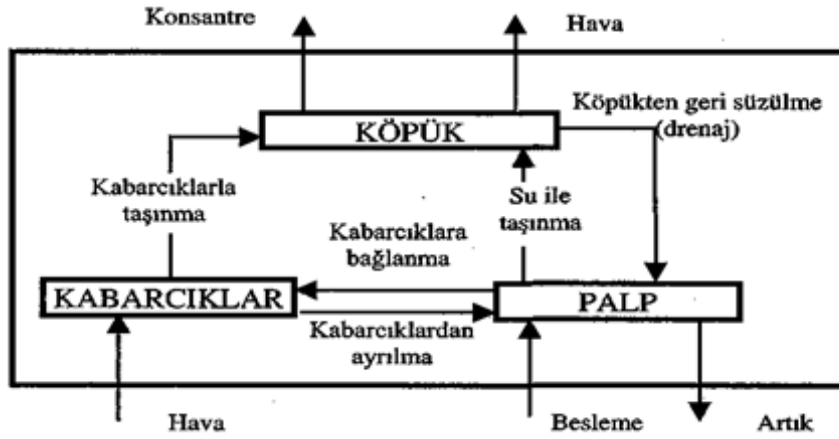
Farrokhpay vd. (2016), killer arasındaki farklılığı değerlendiren ana parametrenin “şişme özellikleri” olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, flotasyon aşamasında etkinliği azaltan sebeplerden birisinin, daha yüksek su absorpsiyon kapasitesine sahip olan killerin boyutlarının büyümesi olduğunu ve kaolinit gibi bu özelliğe sahip olmayan killerin de reoloji, köpük stabilitesi ya da değerli mineralin kazanımında daha küçük etkilere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, bu sonuçlar genel bir trend değildir, çünkü bazı yazarlar kaolinitin önemli etkilere neden olduğunu ifade etmektedirler. Örneğin, Forbes vd. (2014), kuvars, kalkopirit ve kaolinit den oluşan sentetik mineral karışımları ile değişken olarak kaolinit konsantrasyonunu alarak bakır flotasyonu çalışmaları gerçekleştirmişler ve kaolinit oranındaki artışın, kalkopirit kazanımında belirgin bir azalmaya neden olurken aynı zamanda Newton davranışından uzaklaşarak vizkozitede de yoğun artışa sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Flotasyon prosesi üzerine kil minerallerinin negatif etkilerini azaltmak için; reoloji modifiye ediciler ve/veya kil minerallerinin yüzeyine adsorbe olarak onların değerli minerallerle temasını engelleyen reaktiflerin kullanılması gibi bazı stratejiler

uygulanmaktadır. Düşük vizkozite ve yield stress elde etmek için daha düşük pulp katı konsantrasyonunda çalışmak bir alternatif çözümdür. Bununla birlikte bu yöntem, metal üretimini azaltabilir. Flotasyondan önce fiziksel yöntemlerle kil minerallerinin uzaklaştırılması bir diğer çözüm olabilir. Kömürle yapılan son çalışmalarda, kaolinit varlığında kondisyonlama boyunca yüksek şiddetli karıştırmanın performansı artırdığı belirlenmiştir (Yu vd., 2017). Diğer taraftan, Oats vd. (2010) ve Quast vd. (2008), hidrosiklon ile şlam uzaklaştırmanın dispersant ilavesinden daha efektif olabileceğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, bu durumda önemli miktarda değerli mineral şlam ile birlikte kaybedilebilir. Bu nedenle bu metod, kaybedilen değerli mineral miktarının ihmal edilebilir düzeyde olması halinde uygulanabilir. Celik vd. (1998), yüksek konsantrasyonda kil minerallerinin varlığında bor flotasyonu için ultrasonik ön işlemin ümit verici faydalar sağladığını göstermiştir. Ancak bu tekniğin endüstriyel ölçekte uygulanmasının, hızlı karıştırma ve hidrosiklon ile şlam giderme ile kıyaslandığı zaman zor olabileceğini ifade etmişlerdir (Jeldres vd., 2019).

#### **2.4. Mekanik Taşıma**

İnce tanelerin flotasyonundaki zorluklardan biri düşük tenörlü yüksek gang taşınmasının olmasıdır. Flotasyon sistemlerinde hidrofobik malzemelerin konsantreye taşınmaları, gerçek flotasyon olarak tanımlanan, hava kabarcıklarına yapışarak konsantreye taşınma ve hava kabarcıkları arasındaki su ile taşınma olmak üzere temel iki yolla gerçekleşmektedir. İdeal flotasyon süreçlerinde konsantreye ulaşmaması gereken serbest hidrofilik malzemeler için konsantreye taşınmada gerçek flotasyon olarak tanımlanan hava kabarcıklarına bağlanma söz konusu değildir. Serbest hidrofilik malzemelerin konsantreye taşınmalarında ise su ile taşınım en önemli mekanizma olduğu kabul edilmektedir. Bu mekanizma ile flotasyon hücresi içindeki kabarcıklar, köpük bölgesine yükselirken su sevmeyen minerallerle birlikte ince taneler de kabarcıklar arasındaki sıvı filmi ile konsantreye ulaşmaktadır (Şekil 2.3). Bu mekanizma mekanik taşıma olarak tanımlanır (Gülsoy, 1999).

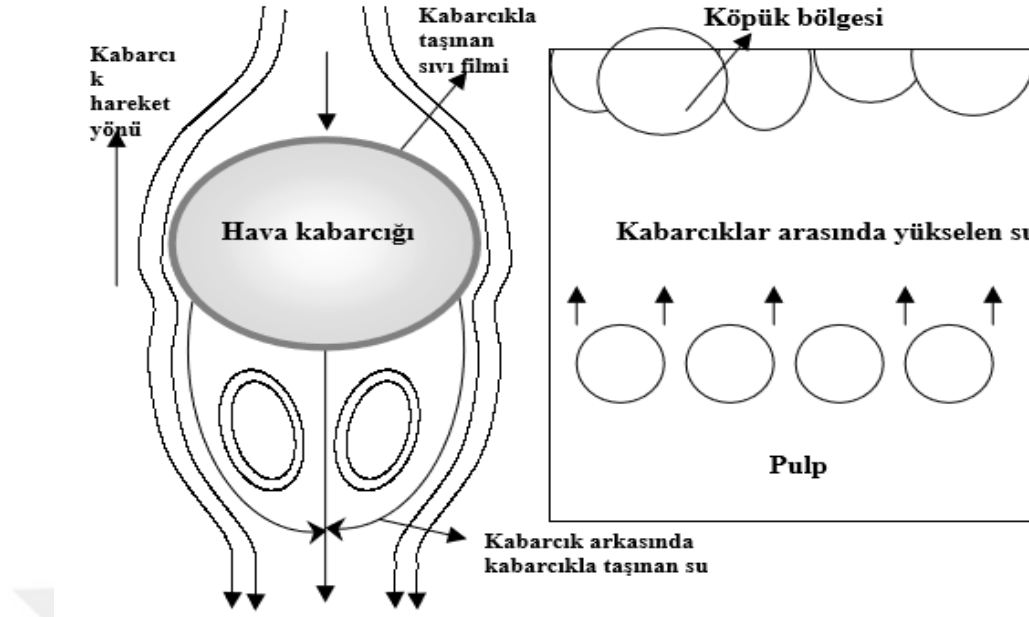


Şekil 2.3. Flotasyonda malzeme taşınım yolları (Flint, 1973; Gülsoy, 1999).

Flotasyonda hidrofilik gang mineralleri, köpüğe birkaç taşınma mekanizması ile geçer (Şekil 2.4). Bunlar:

- Kabarcıklar arasında mekanik taşınması,
- Serbest olmayan tanelerin hidrofobik olan yüzeyleri sayesinde kabarcığa tutunması,
- Şlam kaplama ve zıt yüklü ince boyutlu tanelerin hetero-koagülasyonudur (Cilek ve Umucu, 2001).





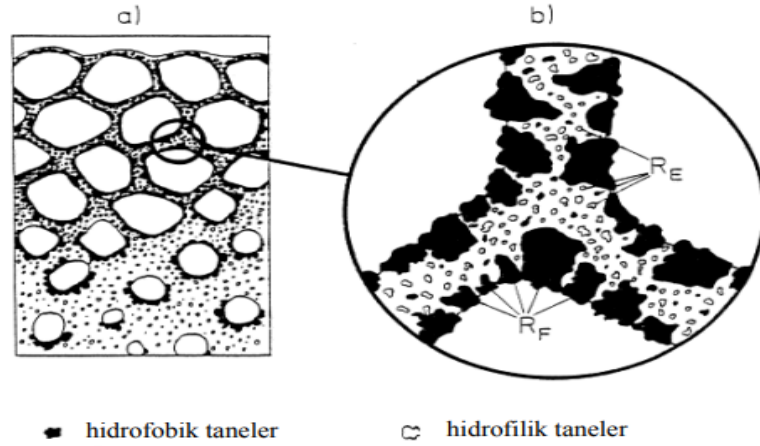
Şekil 2.4. Mekanik taşıma mekanizmaları (Laplante vd., 1989; Yılmaz vd., 2002)

Mekanik taşınma iki aşamalı bir proses olup ilkinde tane pülp-köpük arayüzeyine taşınır, ikincisinde köpükten konsantreye taşınma gerçekleşir. Köpük drenajı ise birleşme ve kabarcığın sönmesi sonucu suyun ve tanelerin pülpe geri dönmesi durumudur. Bu durum filmler stabil olmayıp deforme olduklarında (küresellikten elipsoid geometriye geçtiklerinde) gerçekleşir (Banford vd., 1998).

Köpük zonundaki taneler:

- Kabarcıklar arası filmlere tutunmuş olan hidrofob taneler
- Plateau sınırları içinde tutunmadan duran hidrofob veya hidrofil taneler (mekanik taşınmaya uğramış gang minerali veya birleşme ve kabarcıkların patlaması sonucu tutunduğu filmde kopan hidrofobik taneler)

olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.5). Köpük zonuna su ve tanecik taşınmasını sağlayan kabarcıklar arası sıvı filmler, Plateau sınırı (3 kabarcık arası boşluk) ve verteksler (4 adet Plateau sınırlarının birleşme noktası) şekilde gösterilmektedir (Yeşilyurt, 2014).



**Şekil 2.5.** Flotasyonda kazanım (gerçek flotasyon RF + mekanik taşınma RE) a) flotasyon köpük zonu b) kabarcıklar arası zon (Yeşilyurt, 2014).

Birçok araştırmacı mekanik gang taşınımını en aza indirmek için tane boyutu, köpük stabilitesi ve boyutu, köpürtücü cinsi ve miktarı, köpük yüksekliği, karıştırma hızı, hava miktarı, pülpte katı oranı gibi operasyon parametrelerinin etkilerini incelemiştir (Savassi vd., 1998; Zheng vd., 2005; Çilek, 2009; Neethling ve Cilliers, 2009). Mekanik taşıma ile ilgili daha önceki yapılan araştırmalar konsantreye ne kadar su gelirse mekanik taşınımın da o ölçüde değişeceğini göstermiştir. Konsantreye gelen besleme suyunun azaltılması için, kabarcıklar arasındaki sıvı filminin (besleme suyunun) pülp bölgesine geri akışının sağlanması gerekmektedir. Kabarcıklar arasındaki besleme suyunun pülp içine yeterince akabilmesi ise yeterli bir süre köpüğün bekletilmesi, yani köpük derinliğinin artırılması ile sağlanabilir (Özer, 2007).

Bakır ve kurşun flotasyonunda, metalik olmayan gang kazanımının, 40  $\mu\text{m}$ 'luk partiküllerde %20-30 iken 10  $\mu\text{m}$ 'luk tanelerde % 5 oranında arttığı bulunmuştur (Liu vd., 2006; Wang ve Peng, 2013; Jeldres vd., 2019). Flotasyonda mekanik taşıma tane boyutuna bağlı olduğu kadar, köpük kararlılığına da bağlıdır. Daha küçük ve kararlı kabarcık yüksek gang taşınmasına sebep olur (Subrahmanyam ve Forssberg, 1988; Taner ve Önen, 2016). Toklu ve Çilek (2007), barit cevherini flotasyonla zenginleştirdikleri bir çalışmada, barit için %10 katı oranında optimum flotasyon şartlarında tane boyutu–köpük derinliği ile mekanik taşıma arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, tane boyutu küçüldükçe mekanik taşınımın arttığı ve buna bağlı olarak konsantre tenörünün azaldığı, köpük derinliği arttıkça ise mekanik taşınımın azaldığı,

konsantreye istenmeyen değersiz minerallerin taşınmasının engellendiği ve konsantre tenörünün arttığını belirlenmiştir.

Mekanik taşımının en aza indirilmesi için dağıtma, şlam uzaklaştırma, yıkama suyu verilmesi gibi uygulamalar yapılmaktadır. Köpüğün üst kısmından verilen yıkama suyu ile kabarcıklar arasında mekanik taşıma yolu ile taşınan ince tanelerin pulp içine akması sağlanmaktadır (Laplante vd., 1989; Taner ve Önen, 2016). Cao ve Liu (2006) ve Liu vd. (2006), yerçekimi etkisiyle çöken daha büyük yapılar oluşturan, inorganik bastırıcılar veya ince gang partiküllerinin aglomerasyonunu sağlayan yüksek moleküler ağırlıklı polimerler kullanılarak, flotasyonda mekanik taşımayı azaltmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir. Bu amaçla Gong vd. (2010), bakır-altın cevherlerinin flotasyonunda PEO kullanarak daha az kuvars taşınması sağlanabileceğini ve aynı zamanda değerli mimeral veriminin artırıldığını göstermiştir. Bu durum, sıvının direncini yenecek kadar büyük flok üretimine izin veren PEO'nun kuvars yüzeyinde selektif adsorpsiyonu ile ilişkilidir (Jeldres vd., 2019).

### 2.3.1. Mekanik Taşıma Modelleri ve Mekanik Taşımanın Belirlenmesi

Değersiz minerallerin yanı sıra değerli minerallerde mekanik taşıma mekanizması ile konsantreye taşındıklarından, yani mekanik taşıma seçimli bir süreç olmadığından, mekanik taşımının çok etkin olduğu ince taneler içeren bir cevherin flotasyonu sonrasında üretilen konsantre veriminde artış olmaktadır. Bu nedenle, pulp içindeki su sevmez yapılan minerallerin toplam flotasyon verimi ( $R_T$ ) eşitlikle verilebilir (1):

$$R_T = R_G + R_M \quad (1)$$

Burada  $R_G$  su sevmez mineralin gerçek flotasyon verimi,  $R_M$  ise susevmez mineralin mekanik taşıma verimidir. Bu verimlerin değerleri deneysel olarak belirlenebilir.

Trahar ve Warren (1976) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, toplayıcılı ve toplayıcısız yapılan iki flotasyon deneyi arasındaki farktan yola çıkılarak; toplayıcısız flotasyon deneyleri ile konsantreye taşınan tanelerin mekanik taşıma ile taşındığı, toplayıcılı deneylerde kazanılan konsantre miktarlarından bu değerlerin çıkarılması ile gerçek flotasyon değerlerinin bulunabileceği belirtilmektedir (Yılmaz vd., 2002).

İnce tanelerin mekanik taşınması üzerine etkisi ile ilgili birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve mekanik taşınmayı açıklamak amacıyla ilk olarak Jowett (1966) tarafından mekanik taşıma mekanizması incelenmiştir. Johnson vd. (1974), endüstriyel ölçekte kalkopirit kullanarak yapmış oldukları çalışmalarda konsantride kazanılan gangin serbest gang olduğunu kabul ederek, su ve hidrofilik katı kazanımı arasında direkt bir ilişki olduğunu belirtmektedirler. Johnson, su kazanımı ve katı kazanımı arasındaki ilişkinin yalnızca pülp yoğunluğuna değil, aynı zamanda tane boyuna göre de değiştiğini belirterek aşağıdaki sınıflanma fonksiyonunu tanımlamıştır.

$CF = \frac{\text{(konsantrideki birim su kütleindeki serbest gang)}}{\text{(palptaki birim su kütleindeki serbest gang)}}$

Thorne ve ark. (1976), selül derişiminin artmasına bağlı olarak mekanik taşınan malzeme miktarında da artış olduğunu ve ağır minerallerin mekanik taşınmasının hafif minerallere göre daha zor olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca bu çalışmada Thorne çok ince taneler için su kazanımı ve su ile taşınan malzeme arasında doğrusal ilişki gözlenmesine rağmen, farklı su ile taşınım hızlarına sahip olan iri ve ince hidrofobik taneler için genel ilişkinin aslında doğrusal değil parabolik olduğunu ileri sürmektedir. Köpükte durma zamanının artmasının da su ile taşınımı azalttığı vurgulanmıştır (Gülsoy, 1999; Yılmaz vd., 2002).

Kirjavainen (1989), çeşitli minerallerle yaptığı çalışmalarda tane kütlelerine bağlı bir transfer faktörü tanımlamaktadır. Bu transfer faktörü;

$$P = 1 - D^i \log(m) \quad (2)$$

Burada;

$D^i$ : Sabit(%2-20 ağırlıkça katı içeren pulp için 0.17 civarında) ,

$m$ : Dar bir boyut aralığındaki tanelerin ortalama kütlesi (nanogram)

Warren (1985), kasiterit ve kömür kullanarak yaptığı bir çalışmada, su verimi ile mineral verimi arasındaki ilişkiyi, sabit bir flotasyon zamanı için formül 3' teki şekilde tanımlamıştır;

$$R_g = e_g R_w \quad (3)$$

Burada;

$R_w$ : Su verimi

$R_g$ : Gang verimi

$e_g$ : Mekanik taşıma faktörü 'dür.

Sınıflama fonksiyonunun yerine aynı nitelikteki mekanik taşıma faktörü kullanılmaktadır. Önceden belirlenmiş olan bir "t" zamanı için çeşitli flotasyon parametreleri değiştirilerek elde edilen su ve katı kazanımlarından yararlanılarak, katı veriminin, su verimine karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğimi,  $e_g$ , su ile taşınım oranı olarak tanımlanmaktadır. Hidrofilik taneler için çizilen doğru orijinden geçerken, hidrofobik taneler için mineral verimi eksenini su veriminin sıfır olduğu anda kestiği belirtilmektedir. Doğrunun mineral verimi eksenini kestiği bu nokta gerçek flotasyonla kazanım olarak kabul edilmektedir (Subrahmanyam ve Forssberg, 1988; Gülsoy, 1999). Warren (1985) bu yaklaşımı ise formül 4' teki gibidir.

$$R_t = R_h + e_g R_w \quad (4)$$

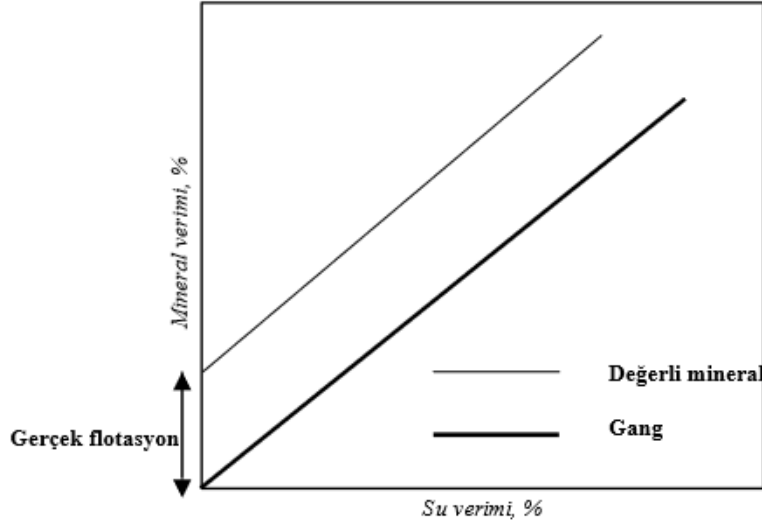
Burada;

$R_w$ : Su verimi

$R_t$ : Toplam verim

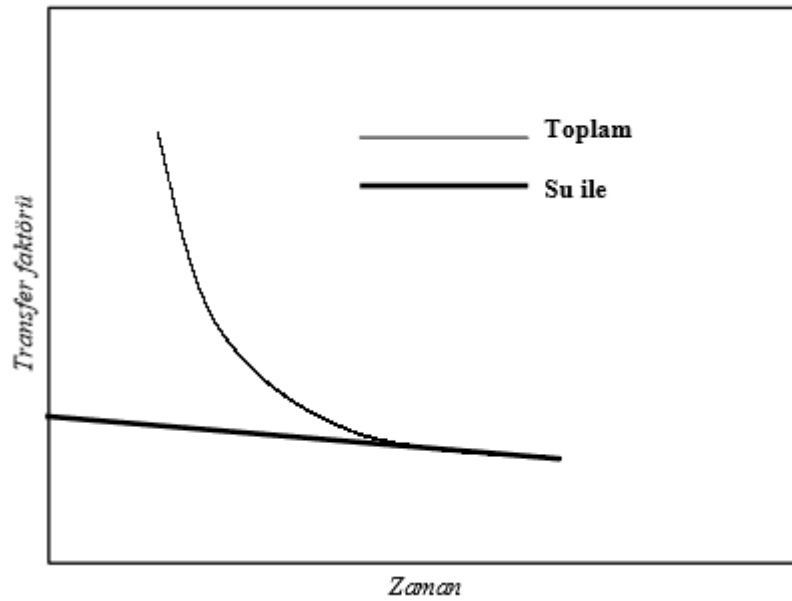
$R_h$ : Gerçek flotasyonla ince tane kazanımı

Bu olay şematik olarak Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Flotasyon koşulları değiştirilerek mekanik taşımının belirlenmesi (Warren, 1985; Yılmaz vd., 2002)

Ross (1990) tarafından farklı bir yaklaşım getirilmiştir. Bu yaklaşımda uzun süreli bir flotasyonun sonlarına doğru elde edilen malzemenin mekanik taşıma mekanizmasıyla kazanılabileceğini belirtmiştir. Ross bu olayı ifade etmek amacıyla transfer faktörü tanımlamıştır. Zamanın transfer faktörüne karşı çizilen grafiğinde, eğrinin sonunda teğet çizilerek, bütün flotasyon zamanı boyunca mekanik taşıma ile taşınan malzeme miktarının belirlenebileceği ifade edilmektedir. Bu tanımlama Şekil 2.7' de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Ross (1990) tarafından önerilen yöntemle gerçek flotasyon ve mekanik taşıma miktarlarının hesaplanması (Gülsoy, 1999; Yılmaz vd., 2002)

Ross (1990)'a göre mekanik taşıma ile taşınan malzemeler için transfer faktörü;

$$X_t = \frac{M_e C_t}{W_t C_{m,t}} \quad (5)$$

Burada,

$M_e$ : Mekanik taşıma ile kazanılan katı miktarı

$W_t$ : Konsantreye gelen su miktarı

$C_{m,t}$  : Katı derişimi

Gülsoy (1995), ince tanelerin mekanik taşınımı için önerdiği modelin bir kinetik modele ilave edilerek hidrofilik mineraller için de kullanılabileceğini önermektedir. Bu amaçla mekanik taşıma faktörü ( $C_j$ )=1 kabul edilerek su ile taşınacak hidrofobik malzemeler için  $R_t+At$  değerleri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak kümülatif  $Re$  değerleri hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, bir flotasyon sistemi için sonsuz zamanda kazanılacak malzeme miktarı sistemde mekanik taşıma varsa mutlaka %100'e ulaşacaktır varsayımını yaparak, birinci dereceden bir kinetik modelin ifade edilmesi ile mekanik taşımının da içinde yer alacağı bir toplam kazanım modeli kurulabileceğini belirtmiştir.

Savassi vd. (1998) tarafından önerilen denklem 6'da gösterilmektedir:

$$ENT_i = \frac{2}{\exp \left[ 2.292 \left( \frac{d_{p,i}}{\bar{r}} \right)^{adj} \right] + \exp \left[ -2.292 \left( \frac{d_{p,i}}{\bar{r}} \right)^{adj} \right]} \quad (6)$$

Yianatos ve Contreras (2010), mekanik taşıma ile taşınan malzemeler için bir sürüklenme faktörü kullanarak endüstriyel yüzdürme hücreleri için model geliştirmiştir:

$$EF_i = \frac{R_{g,i}}{R_w} = \exp \left[ -0.693 \left( \frac{d_{p,i}}{d_{p,0.5}} \right)^\varphi \right] \quad (7)$$

Burada,

$R_{g,i}$  : sınıf  $i$  büyüklüğünün gang geri kazanımı,  $R_w$  ise su geri kazanımıdır.  $d_{p,i}$   $d_p$  0.5 sınıfının ortalama parçacık büyüklüğüdür. Her veri seti için  $E_{Fi} = 0.5$  ortalama partikül büyüklüğü ( $d_{50}$  veya kesime benzer boy) mineral karakterine bağlı olarak bir drenaj parametresidir (Hoang vd., 2019).

Hidrofobik ve hidrofilik minerallerin flotasyonda mekanik taşımının açıklanması amacıyla geliştirilmiş olan bütün modeller, belirli varsayımlar doğrultusunda geçerli olabilmektedirler. Bu modellerden yola çıkarak su ve katı verimi arasındaki ilişkinin tane boyutunun yanı sıra katı oranına da bağlı olduğu ve katı oranının artmasına bağlı olarak mekanik taşınan malzeme miktarında da artış olduğu, ayrıca mekanik taşımının zamanın bir fonksiyonu olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte hava akış hızı ve köpük yüksekliği değişiminin, mekanik taşımayı etkilediği de vurgulanmaktadır. Bu nedenle, flotasyonda verim ve tenör değerlerinin daha etkili ve geniş sınırlar içinde kontrol edilebilmesi için, mekanik taşıma mekanizmasını tanımlayabilecek güvenilir modellerin oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Özellikle hidrofobik minerallerin mekanik taşımının belirlenmesi ve kontrol edilmesi tesis bazında yapılacak ölçümler ve kurulacak ampirik modeller yardımıyla daha kesin ve doğru sonuçlar elde edilmesine imkan sağlayacağı düşünülmektedir (Kaya vd., 1986; Kaya ve Laplante, 1990; Gülsoy, 1999; Yılmaz vd., 2002).



### 3. MATERYAL VE METOD

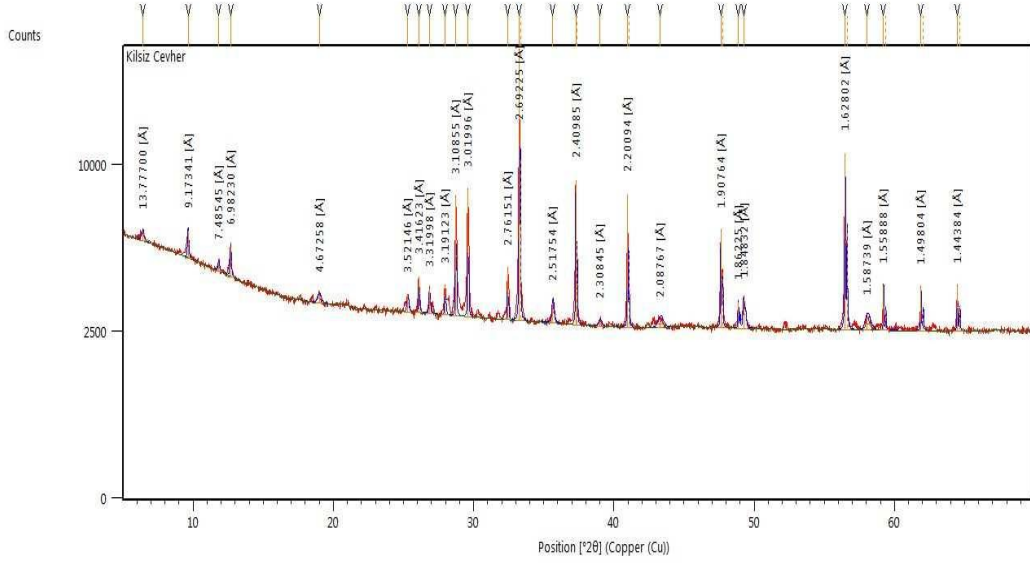
#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Cevher Özellikleri

Deneysel çalışmalarda Siirt Madenköy civarında bulunan Park Elektrik Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen zenginleştirme tesisinden elle toplama yöntemiyle seçilen yüksek tenörlü Cu cevheri kullanılmıştır. Parça boyutlu numune Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında çeneli kırıcıda -1 mm boyutuna kırılarak daha sonra flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere öğütülmüştür. Cevherin Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile belirlenen  $D_{80}$  tane boyutu  $80 \mu\text{m}$ 'dir. ICP analiz sonuçları Çizelge 3.1'de verilen tüvenan cevherin Cu tenörü % 2.63'tür. Cevherin Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi araştırma laboratuvarında yaptırılan XRD analiz sonuçları Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

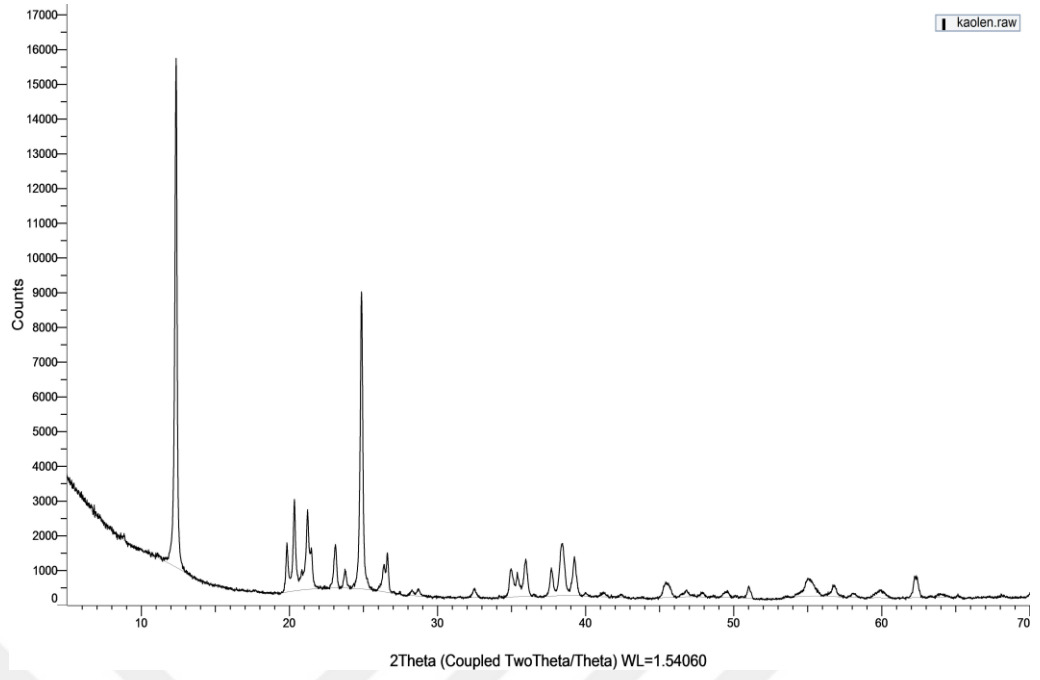
Çizelge 3.1. Bakır cevherine ait ICP analiz sonucu

Element	İçerik (%)	Element	İçerik (g/t)
Cu	2,63	Se	71,0
Fe	38,38	Sr	53,0
S	>30	V	43,0
Zn	0,65	Cd	36,7
Pb	0,21	Bi	33,9
Al	1,21	Zr	23,3
Mg	0,79	Ag	22,6
Ca	0,52	Rb	7,6
Na	0,24	W	5,4
K	0,16	Sn	4,6
Ti	0,13	Y	3,9
As	0,08	Li	2,7
Co	0,05	Sc	2,0
Mn	0,02	Nb	1,9
Ba	0,02	U	0,7
Cr	0,02	La	0,5
Ni	0,02	Be	<0,5
Mo	0,01	Ta	<0,5
Sb	0,01	Ce	<0,5
P	0,01	Th	<0,5

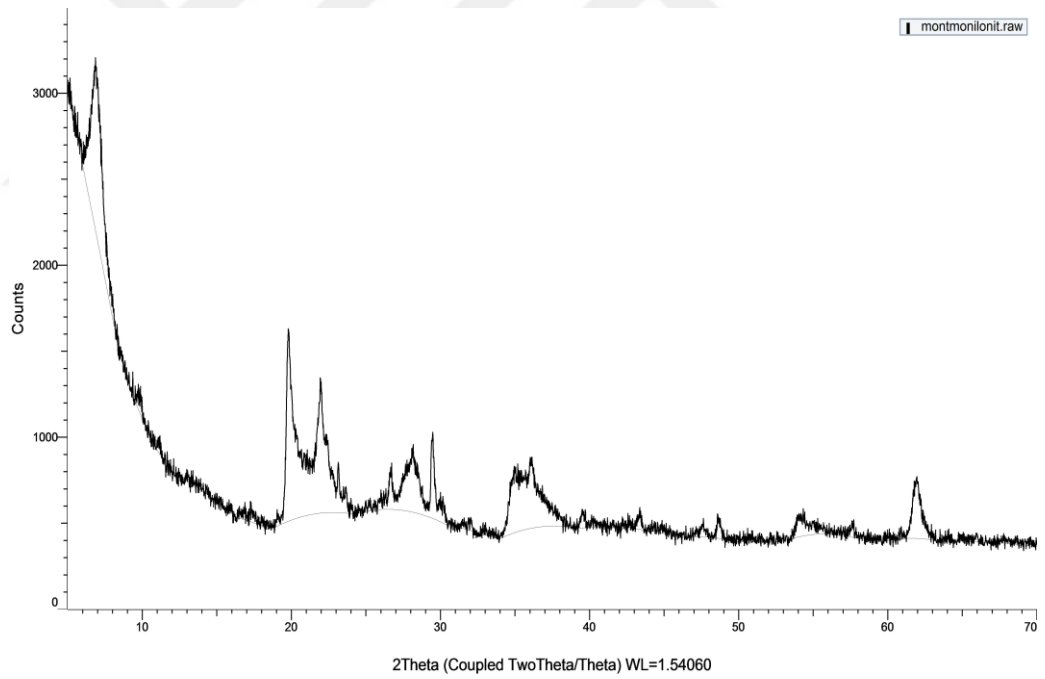


Şekil 3.1. Siirt-Madenköy cevherinin XRD analizi

Deneyler Cu cevheri numunelerine belirli oranda kil karıştırılarak hazırlanan yapay karışımlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapay cevher karışımlarının oluşturulmasında Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen kaolen ve Karakaya Bentonit Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen montmorillonit kil mineralleri kullanılmıştır. Düşük şişme potansiyeline sahip iki tabakalı bir kil minerali olan kaolen, tesise ait düşük tenörlü Cu cevherinin Hacettepe Üniversitesinde gerçekleştirilen yarı nicel XRD analizleri sonucunda cevherin baskın kil minerali olarak kaolinit minerali içerdiği tesbit edildiği için tercih edilmiştir. Üç tabakalı bir kil minerali olan Montmorillonit ise sülfürlü metal cevherlerinde yaygın bulunan ve yüksek şişme potansiyelinden dolayı pulp vizkozitesini etkileyerek flotasyonda önemli miktarda problem teşkil etmesinden ve kaolenden yapısal olarak farklı olmasından dolayı seçilmiştir. Kaolen ve montmorillonit örneklerine ait XRD analizlerinin sonuçları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te sunulmaktadır. Kaolen mineralinin  $D_{80}$  tane boyutu 28  $\mu\text{m}$ , montmorillonitin ise 60  $\mu\text{m}$  olarak daha önceki bir çalışmada tesbit edilmiştir (Taner, 2019).



Şekil 3.2. Kaolen örneğinin XRD analizi



Şekil 3.3. Montmorillonit Örneğinin XRD analizi

### 3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar

Flotasyon deneylerinde bastırıcı olarak sodyum silikat (TET), toplayıcı olarak Aerophine 3418A (sodyum diizobütil ditiyofosfinat) (Cytec), köpürtücü olarak MIBC (metil izobütil karbinol) (Arkema) ve pH ayarlayıcı olarak sönmüş kireç (CaOH)<sub>2</sub> kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasalların genel özellikleri

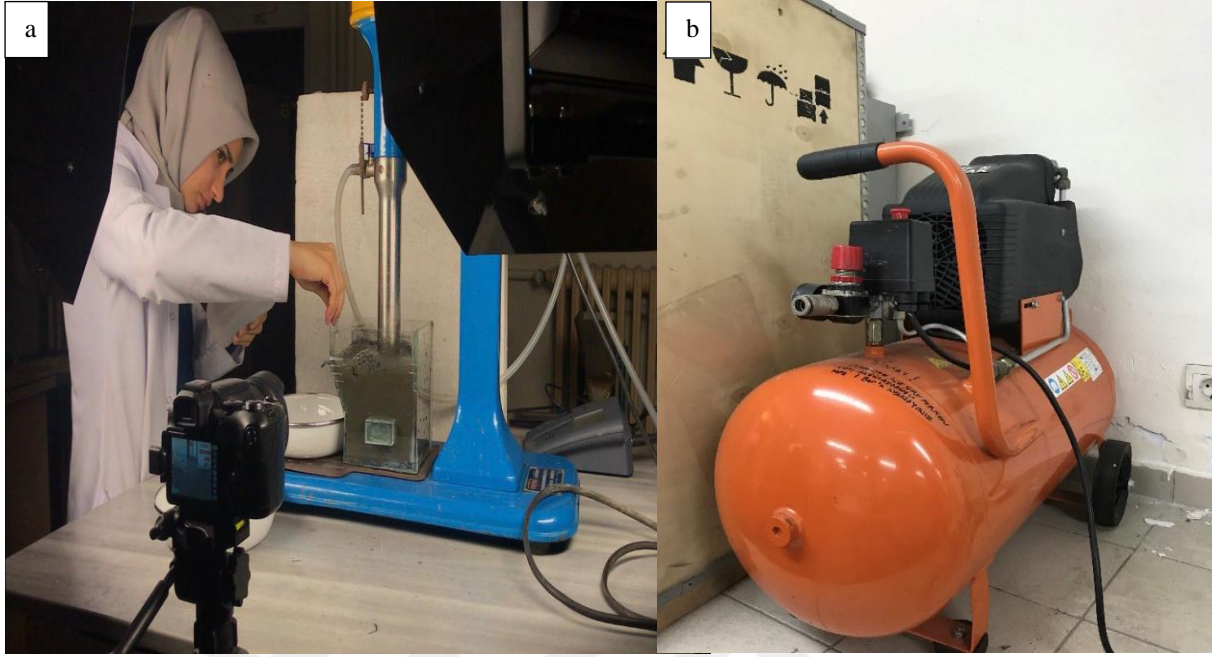
	Toplayıcı 3418 A	Köpürtücü MIBC	Bastırıcı Sodyum silikat
<b>Kimyasal Formülü</b>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> PS <sub>2</sub> .Na	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	Na <sub>2</sub> O .nSiO <sub>2</sub>
<b>Saflık Derecesi (%)</b>	%50	>%98	≥%99
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.06	0.81	2.4
<b>Molekül Ağırlığı (g/mol)</b>	232	102.18	122.06
<b>Viskozite (cP)</b>	-	5.2	-
<b>Yüzey Gerilimi (dyn/cm)</b>	-	23	-

## 3.2. Yöntem

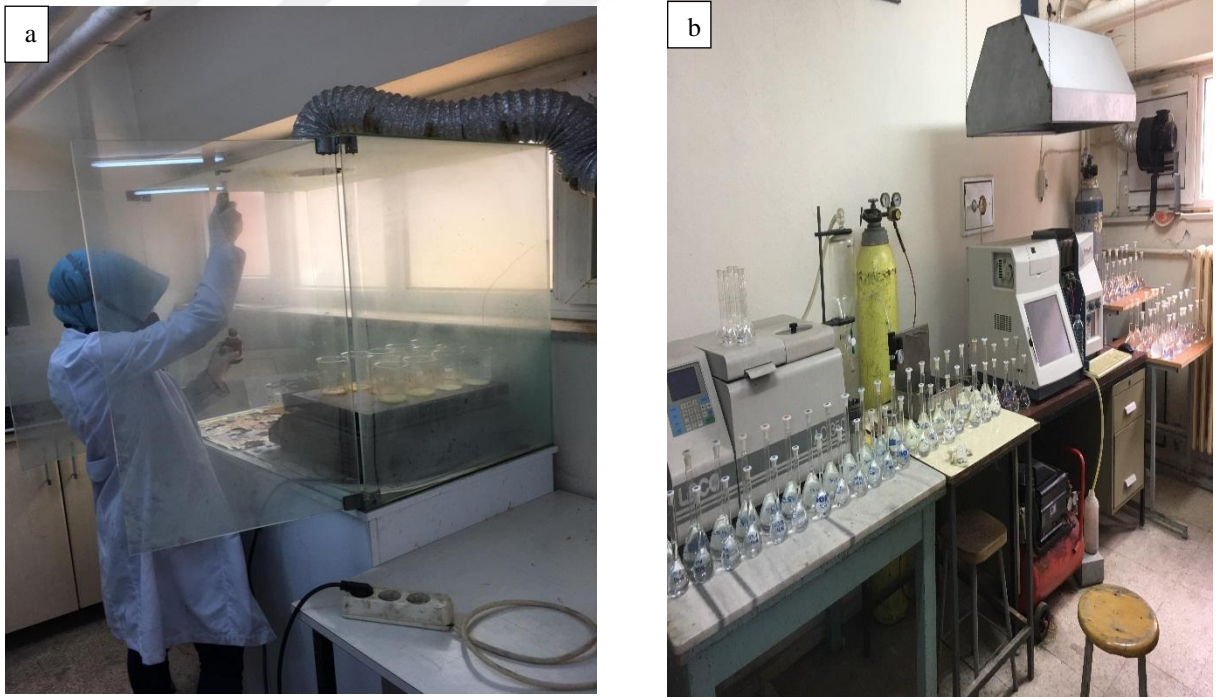
### 3.2.1. Flotasyon Deneyleri

Flotasyon deneyleri, Denver SubA tipi flotasyon makinasında gerçekleştirilmiştir (Resim 3.1a). Flotasyon makinesinin, pervane dönüş hızı ayarlanabilir olup, kompresör yardımıyla farklı hava akış hızlarında çalışabilmesi sağlanmıştır (Resim 3.1b). Deneysel çalışmalar %10 katı oranında ve 1350 dev/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan pulp homojen bir karışım elde etmek için uygun bir süre karıştırıldıktan sonra ortam pH' ı 11.5'a ayarlanmış daha sonra sırasıyla bastırıcı (Sodyum silikat-100 g/t), toplayıcı (3418A-50 g/t) ve köpürtücü (MIBC-80 g/t) ilave edilmiştir. Kondisyonlama süresi bastırıcı ve toplayıcı için 3 dk, köpürtücü için 1 dakikadır. Köpük alma süresi 3 dakika olarak belirlenmiştir. Elde edilen konsantreler süzülerek 105°C'de etüvde kurutulmuş ve eritişleri yapılarak (Resim 3.2a) SensAA Atomik Absorpsiyon spektrofotometresinde Cu ve Fe ölçümleri yapılmıştır (Resim 3.2b). pH kontrolünde inolab wtw serisi dijital pH metre kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda doğal pH değeri 7.5, iletkenlik değeri 293 µS/cm,

Ca içeriği 57.24 mg/L ve Mg içeriği 8.92 mg/L olarak belirlenen eĐme suyu kullanılmıştır.

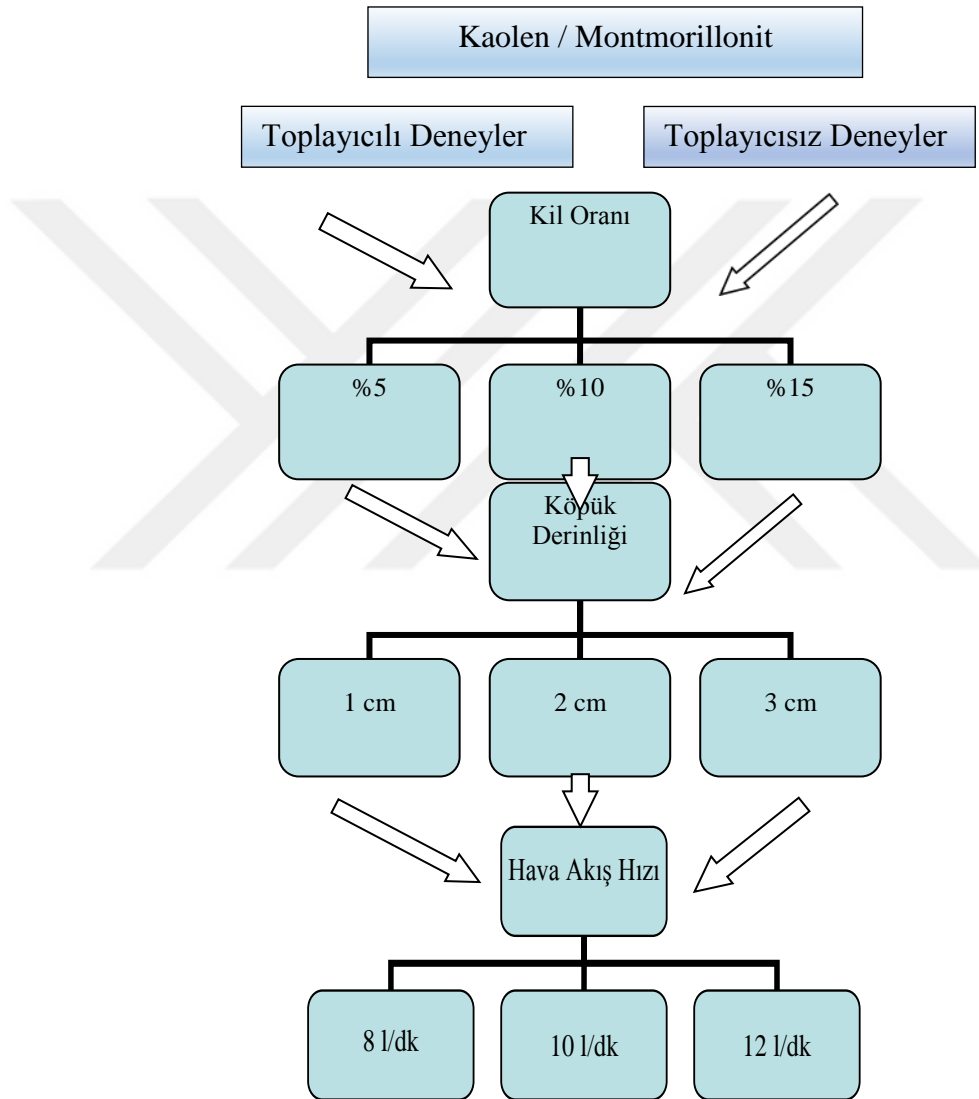


Resim 3.1. (a) Flotasyon makinası (b) Kompresör



Resim 3.2 Konsantre Eritişleri (a) AAS okumaları (b)

Tez kapsamında çalışılan deneysel parametreler, kil tipi (kaolen-montmorillonit)-oranı (%5-10-15), köpük yüksekliği (1-2-3 cm) ve hava akış hızı (8-10-12 l/dk) dır. Kil türü ve miktarının çalışılan deneysel parametrelere bağlı olarak flotasyon performansı ve mekanik taşımaya etkileri aşağıda sunulan deney programı çerçevesinde araştırılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Deney Akım Şeması

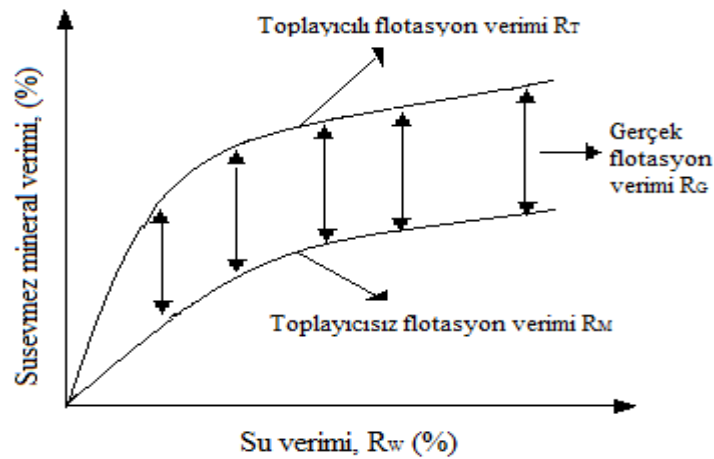
### 3.2.2. Mekanik Taşımanın Belirlenmesi

Konsantreye, gang minerallerinin mekanik taşınmasını tanımlamayı amaçlayan çok sayıda ampirik modeller bulunmaktadır. Bu çalışmada, endüstride mekanik taşımının modellenmesinde yaygın kullanılan Trahar ve Warren (1976) tarafından geliştirilen model laboratuvar ölçekli flotasyon deney verilerine uygulanmıştır.

Trahar ve Warren (1976) tarafından geliştirilen modelde, toplayıcılı ve toplayıcısız yapılan iki flotasyon deneyi arasındaki farktan yola çıkılarak; toplayıcısız flotasyon deneyleri ile konsantreye taşınan tanelerin mekanik taşıma ile taşındığı, toplayıcılı deneylerde kazanılan konsantre miktarlarından bu değerlerin çıkarılması ile gerçek flotasyon değerlerinin bulunabileceği belirtilmektedir (Yılmaz vd., 2002). Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, toplayıcı kullanılmadan yapılacak bir flotasyon işleminde, konsantrede elde edilecek su sevmez mineraller sadece mekanik taşıma yolu ile konsantreye taşınabilirler. Buna karşılık, gerçek flotasyon ise, su sevmez hale getirilmiş minerallerin kabarcıklara yapışarak konsantreye taşınması ile gerçekleşir.

Kil minerallerinin mekanik taşımaya etkisinin belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar da toplayıcı kullanılmadan ve toplayıcı kullanılarak deneyler gerçekleştirilerek toplam flotasyon verimi ( $R_T$ ) ve mekanik taşıma verimi ( $R_M$ ) farkından gerçek verim ( $R_G$ ) değerleri belirlenmiştir.

$$R_T = R_G + R_M \quad (8)$$



Şekil 3.5. Mekanik taşıma ve gerçek flotasyon verimlerinin belirlenmesi (Çilek, 2013).

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez kapsamında çalışılan iki farklı kil türü (kaolen-montmorillonit) için üç farklı kil oranı (%5-10-15), üç farklı hava akış hızı (8,10,12 l/ dk) ve üç farklı köpük derinliği (1-2-3 cm) ile toplayıcılı ve toplayıcısız olarak ikişer set halinde flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar kil minerallerinin flotasyon performansı ve mekanik taşımaya etkileri açısından değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Kalkopirit Flotasyonuna Montmorillonitin Etkisi

Kalkopirit cevheri içerisine değişen oranda montmorillonit ilave edilerek gerçekleştirilen toplayıcılı ve toplayıcısız deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1-4.2 ile Şekil 4.1-4.2’de toplu olarak sunulmuştur. %5 kil oranında yapılan toplayıcılı deney sonuçları incelendiğinde köpük derinliği 1 cm iken hava akış hızı arttıkça kalkopirit tenörü artmış, verimi azalmıştır. Köpük derinliği 2 cm olduğunda hava akış hızı arttıkça kalkopirit tenörü hava akış hızının 10 l/dk dan 12 l/dk ya artırılmasıyla %40.27’ den % 34.69’a düşerken verimde %54.64’ten %58.2’ye artmıştır. Köpük derinliği 3 cm olduğunda ise en yüksek verim değerine (%68) 10 l/dk’ da %31.54 CuFeS<sub>2</sub> tenör değerine sahip konsantre ile ulaşılmıştır. %5 montmorillonit içerikli numune ile optimum flotasyon sonuçları %40 CuFeS<sub>2</sub> tenör ve %54.64 verim ile 2 cm köpük derinliği ve 10 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir.

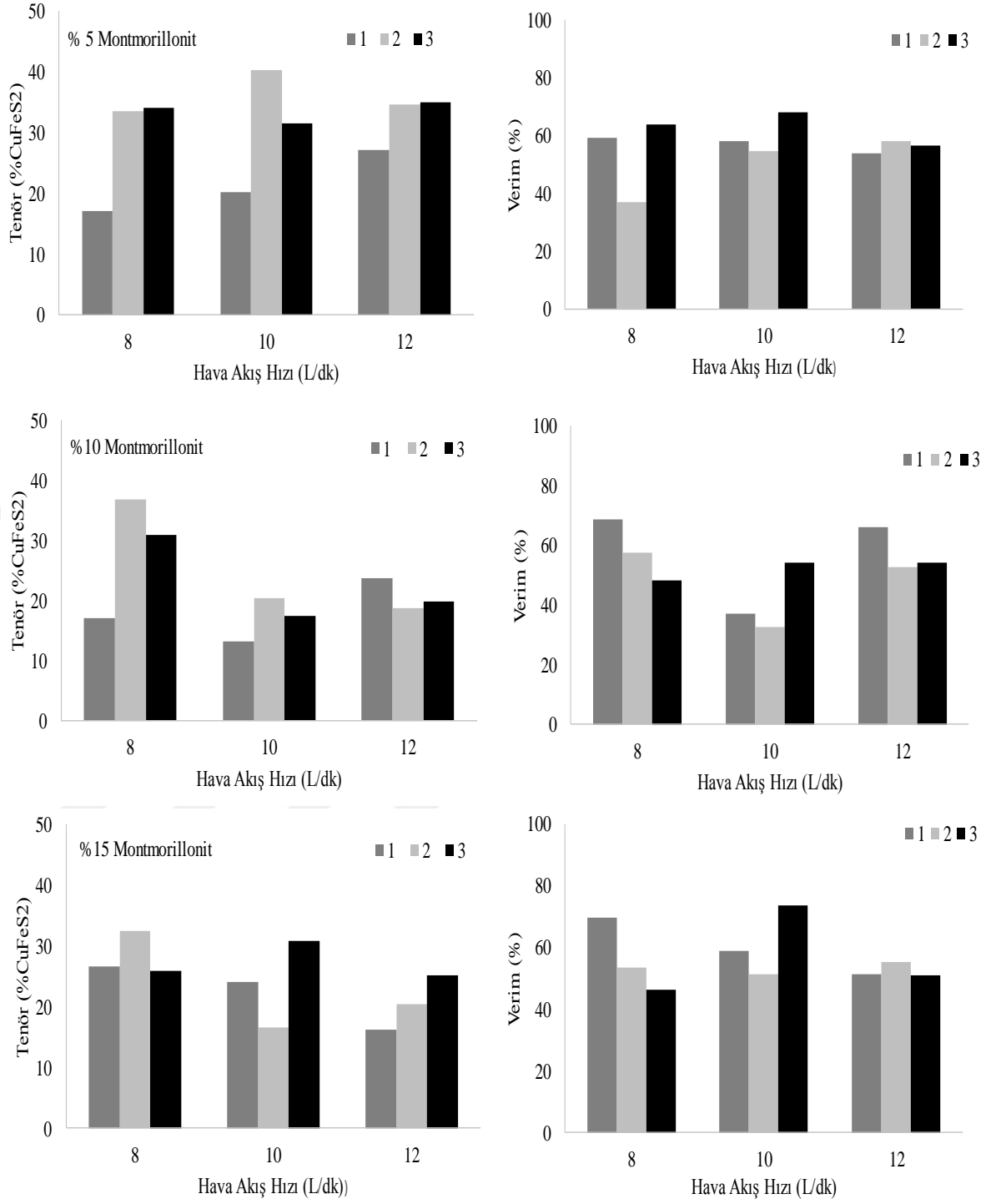
%10 montmorillonit içerikli numune ile toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, 1 cm köpük derinliğinde en düşük verim (%37) ve tenör (%13.2 CuFeS<sub>2</sub>) 10 l/dk hava akış hızında, en yüksek verim (%66)- tenör (%23.8 CuFeS<sub>2</sub>) ise 12 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir. Çalışılan bu kil oranında artan köpük yüksekliğinde hava akış hızının artması tenör’ ün düşmesine neden olmuş ve en yüksek kalkopirit verimi (%36.83) ve tenörü (%57.34) 2 cm köpük derinliğine sahip, hava akış hızı 8 l/dk da yapılan flotasyondan elde edilmiştir.

%15 montmorillonit içerikli numunede, 1cm köpük derinliğinde tenör ve verim değerleri artan hava akış hızı ile düşmüş, 2cm köpük derinliğinde çalışıldığında optimum sonuçlar yine 8 l/dk hava akış hızında elde edilirken 3 cm köpük derinliğinde optimum sonuçlar (%30.7 CuFeS<sub>2</sub> tenör-%73.4 verim) 10 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir (Çizelge 4.1-Şekil 4.1).



**Çizelge 4.1.** Toplayıcı flotasyon deneylerinde hava akış hızı, köpük derinliği ve montmorillonit içeriğinin bakır flotasyonuna etkisi

Kil Oranı (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı	Cu	Fe	TOPLAYICILI					
					TENÖR (%)			VERİM (%)		
					CuFeS <sub>2</sub>	Artık		CuFeS <sub>2</sub>	Artık	
						FeS <sub>2</sub>	Gang		FeS <sub>2</sub>	Gang
5	1	8	5.90	42.80	17.04	80.81	2.15	59.17	27.16	2.95
		10	6.98	42.12	20.15	77.32	2.53	58.09	21.59	2.89
		12	9.38	44.59	27.09	78.09	5.18	53.85	11.07	3.00
	2	8	11.62	34.99	33.57	53.22	13.21	36.89	5.66	5.74
		10	13.94	40.28	40.27	60.21	2.48	54.64	7.91	0.26
		12	12.01	40.07	34.69	63.42	1.89	58.20	10.30	1.26
	3	8	11.79	38.24	34.04	59.89	6.07	63.75	10.86	4.49
		10	10.92	40.63	31.54	66.67	1.79	67.98	13.91	1.52
		12	12.15	36.11	35.08	54.64	10.28	56.58	8.53	6.56
10	1	8	5.95	41.86	17.18	78.71	4.11	68.68	30.47	4.98
		10	4.58	35.38	13.24	67.35	19.41	37.16	18.30	16.51
		12	8.25	38.20	23.82	66.50	9.67	65.96	17.82	8.12
	2	8	12.75	38.55	36.83	58.74	4.43	57.34	8.85	2.09
		10	7.09	37.76	20.48	67.73	11.78	32.68	10.46	5.70
		12	6.48	42.43	18.72	78.91	2.37	52.72	21.51	2.02
	3	8	10.71	34.67	30.93	54.26	14.81	48.34	8.21	7.01
		10	6.04	42.38	17.44	79.66	2.91	54.15	23.95	2.74
		12	6.88	41.27	19.88	75.67	4.45	53.98	19.89	3.66
15	1	8	9.21	36.52	26.59	61.08	12.33	69.55	15.47	7.75
		10	8.30	41.62	23.97	73.74	2.29	58.79	17.52	1.35
		12	5.60	41.93	16.17	79.50	4.33	51.05	24.30	3.28
	2	8	11.24	33.29	32.46	50.30	17.24	53.26	7.99	6.80
		10	5.75	42.18	16.61	79.76	3.63	51.16	23.79	2.69
		12	7.06	41.34	20.38	75.49	4.14	55.09	19.76	2.69
	3	8	8.97	39.95	25.90	68.89	5.21	46.31	11.93	2.24
		10	10.65	41.22	30.77	68.43	0.80	73.43	15.82	0.46
		12	8.69	41.24	25.10	72.19	2.70	50.74	14.13	1.31



**Şekil 4.1.** Hava akış hızı, köpük derinliği ve kil miktarına bağlı olarak konsantre tenör ve veriminin değişimi (montmorillonit ilaveli-toplayıcı deneyler)

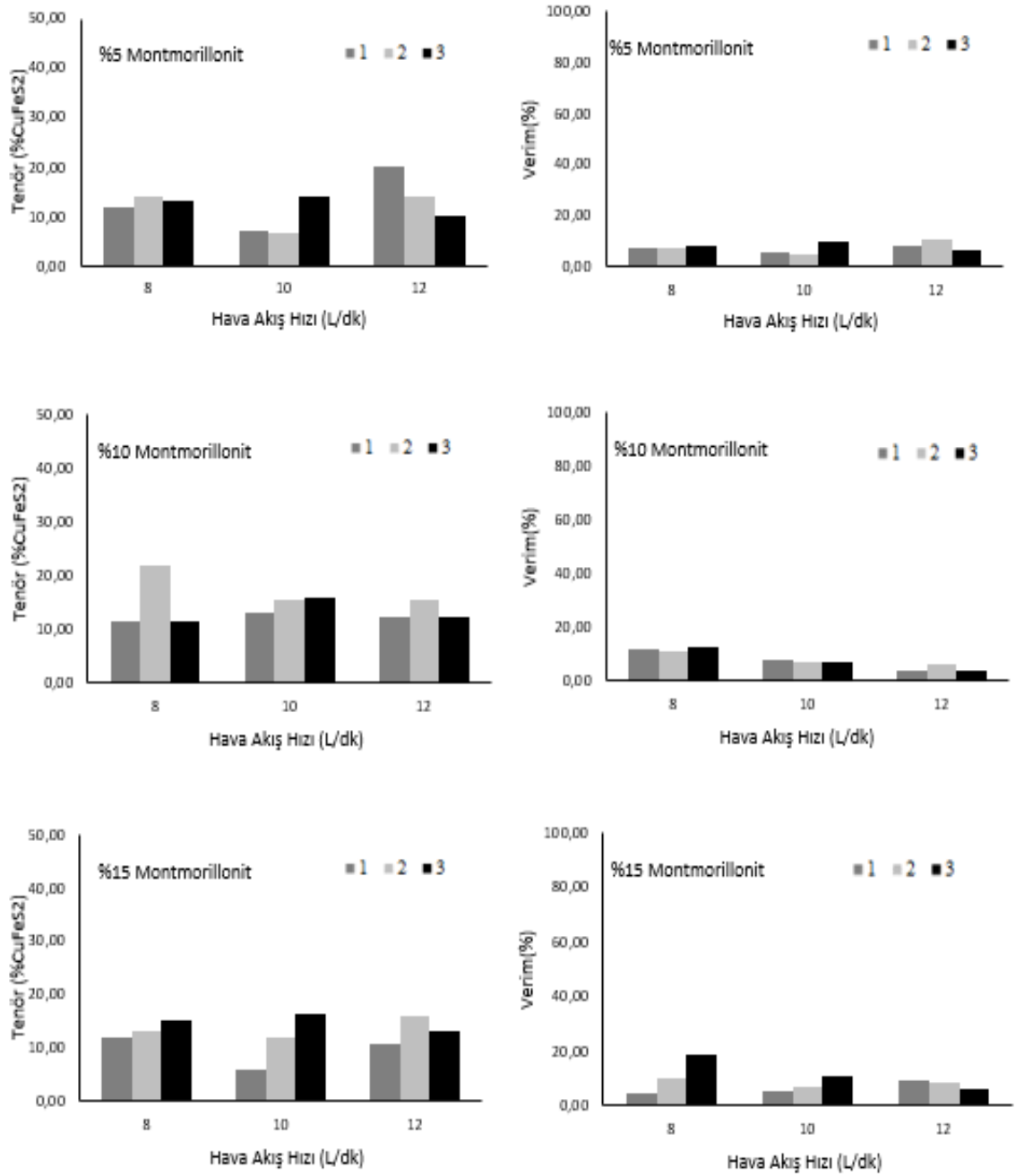
Flotasyonda, cevher içerisinde kazanılmak istenen, hedef mineral toplayıcı adı verilen organik bileşikler ile hidrofob hale getirilerek yüzdürülürken (gerçek flotasyon), hidrofilik gang mineralleri mekanik taşıma, şlam kaplama ve bağlı tanelerin hidrofobik yüzeyleri ile kabarcığa tutunma mekanizmaları ile köpüğe taşınabilirler. Mekanik taşıma, gerçek flotasyonun aksine seçimli değildir, yani hem değerli mineral taneleri hem de gang mineralleri mekanik taşımaya maruz kalmaktadır. Tez çalışmasının bu aşamasında mekanik taşıma miktarının belirlenmesi amacıyla montmorillonit içerikli numune ile toplayıcı kullanılmadan aynı çalışma koşullarında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.2-Şekil 4.2' de topluca sunulmuştur.

Toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçlarından, konsantrede  $CuFeS_2$  veriminin %32-73; toplam artık veriminin (pirit+gang) ise %8-30 aralığında değiştiği (Çizelge 4.1); toplayıcısız gerçekleştirilen deney sonuçlarından ise konsantrede  $CuFeS_2$  veriminin %4-18.5; toplam artık veriminin (pirit+gang) ise %8-14 aralığında değiştiği (Çizelge 4.2) tespit edilmiştir. Toplayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen %5 kil içerikli deneylerde köpük derinliği 1 cm iken hava akış hızı konsantre tenör ve verimini etkilememiş, 2 cm köpük derinliğinde hava akış hızı 12 l/dk' da kalkopirit tenör ve verimi yükselmiş, 3 cm köpük derinliğinde çalışıldığında ise artan hava akış hızı ile tenör düşmüştür. %10 kil içerikli deneylerde hava akış hızı ve köpük derinliğinin kalkopirit tenör ve verimine belirgin bir etkisi olmamıştır. %15 kil içerikli deneylerde ise 1 ve 2 cm köpük derinliği ile çalışıldığında artan hava akış hızı ile konsantredeki kalkopirit tenör-verimi artarken 3 cm köpük derinliği ile çalışıldığında düşmüştür. Konsantredeki artık miktarı ise %5-10 kil içerikli deneylerde artan hava akış hızından genel olarak fazla etkilenmezken, kil oranı %15'e çıktığında 1 cm köpük derinliğinde artan hava akış hızı ile artarken köpük derinliği 2-3 cm olduğunda artan hava akış hızı ile azalmıştır (Şekil 4.2).

Toplayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen bir flotasyon işleminde mineral tanelerinin konsantreye mekanik taşıma yolu ile alındığı ve toplayıcılı deneylerde kazanılan konsantre miktarlarından bu değerlerin çıkarılması ile gerçek flotasyon değerlerinin bulunabileceği bilinmektedir. Bu nedenle kil tipi/miktarı, köpük yüksekliği ve hava akış hızının kalkopirit flotasyonunda mekanik taşımaya etkisi bu deneylerin birlikte değerlendirilmesi ile tezde ayrıca incelenmiştir (Bölüm 4.3).

**Çizelge 4.2.** Toplayıcısız flotasyon deneylerinde hava akış hızı, köpük derinliği ve montmorillonit içeriğinin bakır flotasyonuna etkisi

Kil Oranı (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı	Cu	Fe	TOPLAYICISIZ					
					TENÖR (%)			VERİM (%)		
					CuFeS <sub>2</sub>	Artık		CuFeS <sub>2</sub>	Artık	
						FeS <sub>2</sub>	Gang		FeS <sub>2</sub>	Gang
5	1	8	4.15	35.11	11.99	67.58	20.43	6.76	3.69	4.56
		10	4.81	38.00	13.90	72.55	13.56	7.50	3.79	2.89
		12	4.47	35.93	12.92	68.75	18.33	7.72	3.98	4.33
	2	8	2.36	35.61	6.80	72.06	21.14	5.17	5.30	6.35
		10	2.25	34.18	6.51	69.19	24.31	4.59	4.73	6.78
		12	4.85	33.57	14.00	62.96	23.04	10.09	4.39	6.56
	3	8	6.95	33.72	20.08	59.31	20.60	7.77	2.22	3.15
		10	4.83	33.38	13.95	62.60	23.45	10.28	4.46	6.83
		12	3.47	43.63	10.03	87.18	2.80	6.07	5.11	0.67
10	1	8	3.96	42.21	11.44	83.22	5.35	11.90	8.38	1.69
		10	7.52	40.15	21.72	72.07	6.21	11.36	3.65	0.98
		12	4.01	32.64	11.59	62.55	25.86	12.39	6.47	8.37
	2	8	4.51	34.54	13.04	65.67	21.29	7.75	3.78	3.83
		10	5.34	38.66	15.42	72.99	11.60	6.93	3.18	1.58
		12	5.51	25.99	15.90	45.44	38.66	7.18	1.99	5.29
	3	8	4.22	33.06	12.20	63.05	24.75	4.07	2.04	2.50
		10	5.33	32.80	15.39	60.40	24.22	6.15	2.34	2.93
		12	4.19	25.15	12.11	46.12	41.77	4.22	1.56	4.42
15	1	8	4.07	29.34	11.75	55.36	32.89	4.62	2.11	3.11
		10	4.51	28.92	13.02	53.62	33.36	9.88	3.94	6.09
		12	5.29	32.95	15.26	60.82	23.92	18.58	7.17	7.00
	2	8	2.01	34.03	5.81	69.32	24.87	4.79	5.53	4.93
		10	4.12	28.77	11.90	54.03	34.07	7.02	3.09	4.83
		12	5.63	38.09	16.26	71.20	12.54	10.52	4.46	1.95
	3	8	3.73	42.30	10.76	83.85	5.39	9.12	6.88	1.10
		10	5.46	39.15	15.76	73.80	10.43	8.54	3.87	1.36
		12	4.52	40.11	13.07	77.64	9.30	5.79	3.33	0.99



**Şekil 4.2.** Hava akış hızı, köpük derinliği ve kil miktarına bağlı olarak konsantre tenör ve veriminin değişimi (montmorillonit ilaveli-toplayıcısız deneyler)

#### 4.2. Kalkopirit Flotasyonuna Kaolenin Etkisi

Kalkopirit cevheri içerisinde değişen oranda kaolen ilave edilerek gerçekleştirilen toplayıcı ve toplayıcısız deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3-4.4 ile şekil 4.3-4.4'te toplu olarak sunulmuştur.

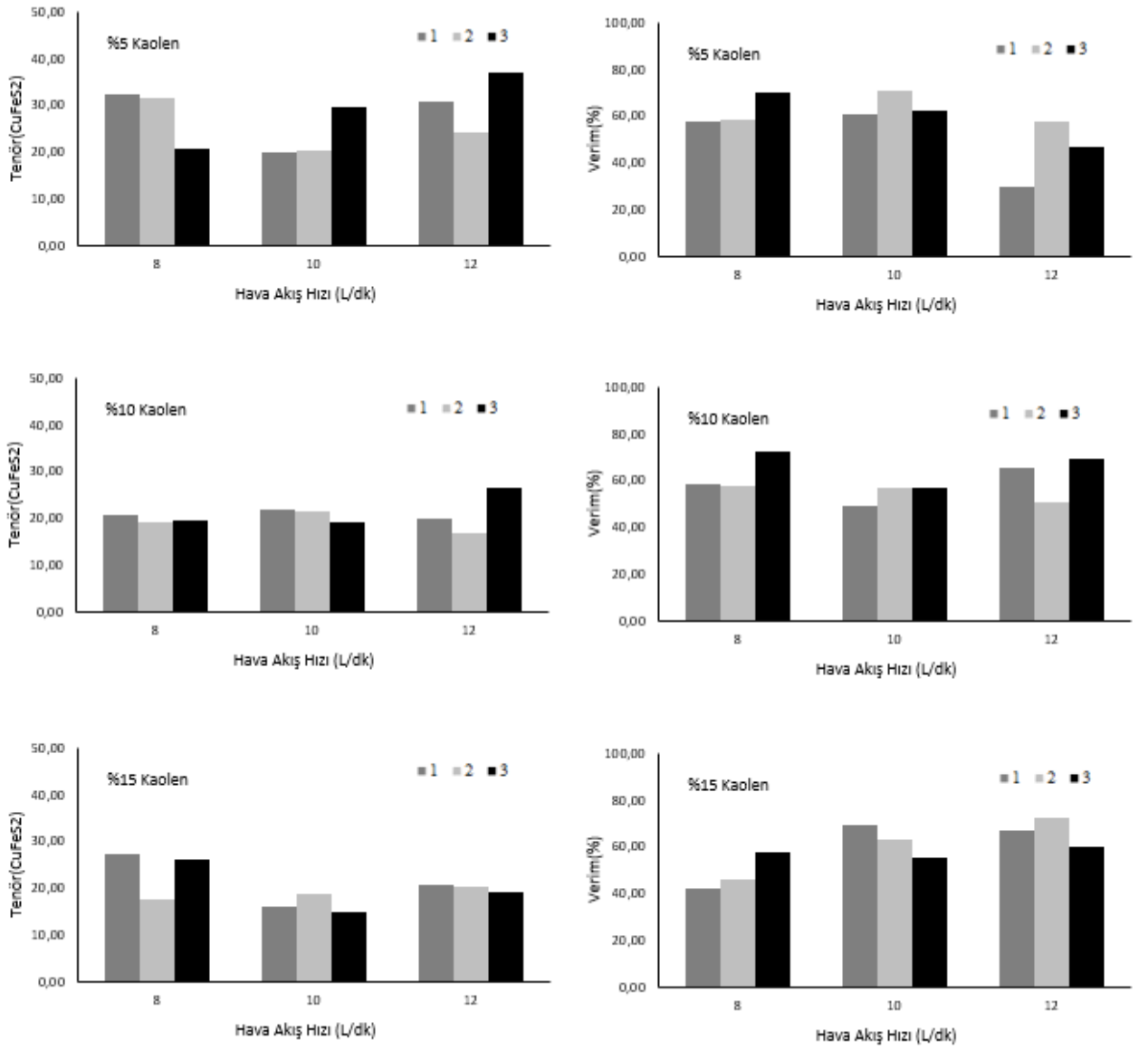
%5 kil oranında yapılan toplayıcı deney sonuçları incelendiğinde, köpük derinliği 1 cm iken hava akış hızı arttıkça elde edilen konsantride kalkopirit tenörünün azaldığı veriminin ise arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.3) . Aynı koşullarda montmorillonit içerikli numunede tam tersi bir şekilde artan hava akış hızı ile konsantride kalkopirit tenörü artarken verim düşmüştür (Çizelge 4.1). Köpük derinliği 2 cm olduğunda ise artan hava akış hızı ile birlikte konsantride kalkopirit tenörü artarken 12 l/dk hava akış hızında verimde yaklaşık %10'luk bir düşüş gözlenmiştir. Köpük derinliği 3 cm olduğunda optimum verim (%47.07) – tenör (%36.92 CuFeS<sub>2</sub>) değerine sahip konsantride 12 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir. %5 kaolen içerikli numune ile optimum flotasyon sonuçları 8-10 l/dk hava akış hızı ve 1 cm köpük derinliğinde %32 Cu FeS<sub>2</sub> tenör- %58 verim değeri ile elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

%10 kaolen içerikli numune ile toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, hava akış hızı ve köpük derinliğinin kalkopirit tenörü üzerine genel olarak belirgin bir etkisi olmamış, kalkopirit verimi ise 1-2 cm köpük derinliklerinde çalışıldığında artan hava akış hızı ile birlikte artarken 3 cm köpük derinliğinde en düşük verim 10 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir. Bu koşullarda optimum verim (%69.25)- tenör (%26.36 CuFeS<sub>2</sub>) 12 l/dk hava akış hızında 3 cm köpük derinliğine yapılan flotasyondan elde edilmiştir (Çizelge 4.3-Şekil 4.3).

%15 kaolen içerikli numune ile toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, artan hava akış hızı ile birlikte kalkopirit verimi, 1 cm köpük derinliğinde artarken 2 cm köpük derinliğinde azalmış, 3 cm köpük derinliğinde ise en yüksek verim (%72.42) 10 l/dk' da elde edilmiştir. Bu kil oranında çalışılan tüm köpük derinliklerinde hava akış hızının konsantride tenörü üzerine belirgin bir etkisi olmamış, optimum flotasyon sonuçları (%20.26 CuFeS<sub>2</sub> tenör-%72.42 verim) 3cm köpük derinliği 10 l/dk hava akış hızında elde edilmiştir (Bölüm 4.3).

**Çizelge 4.3.** Toplayıcılı flotasyon deneylerinde hava akış hızı, köpük derinliği ve kaolen içeriğinin bakır flotasyonuna etkisi

Kil Oranı (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/dk)	Cu	Fe	TOPLAYICILI					
					TENÖR (%)			VERİM(%)		
					CuFeS <sub>2</sub>	Artık		CuFeS <sub>2</sub>	Artık	
						FeS <sub>2</sub>	Gang		FeS <sub>2</sub>	Gang
5	1	8	11.18	39.21	32.30	63.12	4.59	57.45	10.87	14.10
		10	10.99	35.99	31.73	56.59	11.68	58.31	10.07	18.56
		12	7.14	42.50	20.63	77.81	1.56	70.09	25.59	27.69
	2	8	6.85	42.14	19.77	77.60	2.62	60.70	23.07	26.25
		10	6.99	42.10	20.19	77.25	2.56	71.14	26.35	29.92
		12	10.24	41.29	29.56	69.38	1.05	62.13	14.12	14.99
	3	8	10.69	33.86	30.88	52.56	16.55	30.04	4.95	11.32
		10	8.38	41.64	24.19	73.66	2.16	57.30	16.90	18.92
		12	12.78	36.27	36.92	53.79	9.29	47.07	6.64	11.32
10	1	8	7.12	41.94	20.55	76.68	2.77	58.68	21.20	23.60
		10	6.66	42.95	19.23	79.70	1.08	57.68	23.15	24.13
		12	6.75	42.35	19.50	78.23	2.27	72.18	28.03	30.58
	2	8	7.60	42.95	21.94	77.94	0.12	49.10	16.89	16.97
		10	7.43	41.60	21.47	75.35	3.18	56.54	19.21	21.75
		12	6.69	41.42	19.31	76.37	4.32	56.70	21.70	25.54
	3	8	6.89	42.30	19.89	77.87	2.24	65.19	24.71	26.93
		10	5.79	41.73	16.72	78.73	4.55	50.59	23.06	27.24
		12	9.13	39.10	26.36	66.76	6.88	69.25	16.98	22.45
15	1	8	9.41	32.69	27.17	52.48	20.36	42.39	7.93	15.57
		10	6.05	40.99	17.48	76.63	5.89	45.74	19.41	23.11
		12	8.99	31.50	25.98	50.68	23.34	57.54	10.87	23.30
	2	8	5.54	41.68	15.99	79.10	4.91	68.99	33.05	38.14
		10	6.46	39.60	18.67	72.88	8.46	62.81	23.74	30.59
		12	5.12	40.74	14.79	77.85	7.36	55.20	28.14	34.75
	3	8	7.11	41.42	20.52	75.57	3.90	66.91	23.86	26.92
		10	7.01	38.98	20.26	70.50	9.24	72.42	24.40	32.34
		12	6.64	41.25	19.17	76.09	4.75	59.89	23.02	26.59



**Şekil 4.3.** Hava akış hızı, köpük derinliği ve kil miktarına bağlı olarak konsantrasyon tenör ve veriminin değişimi (kaolen ilaveli-toplayıcı deneyler)

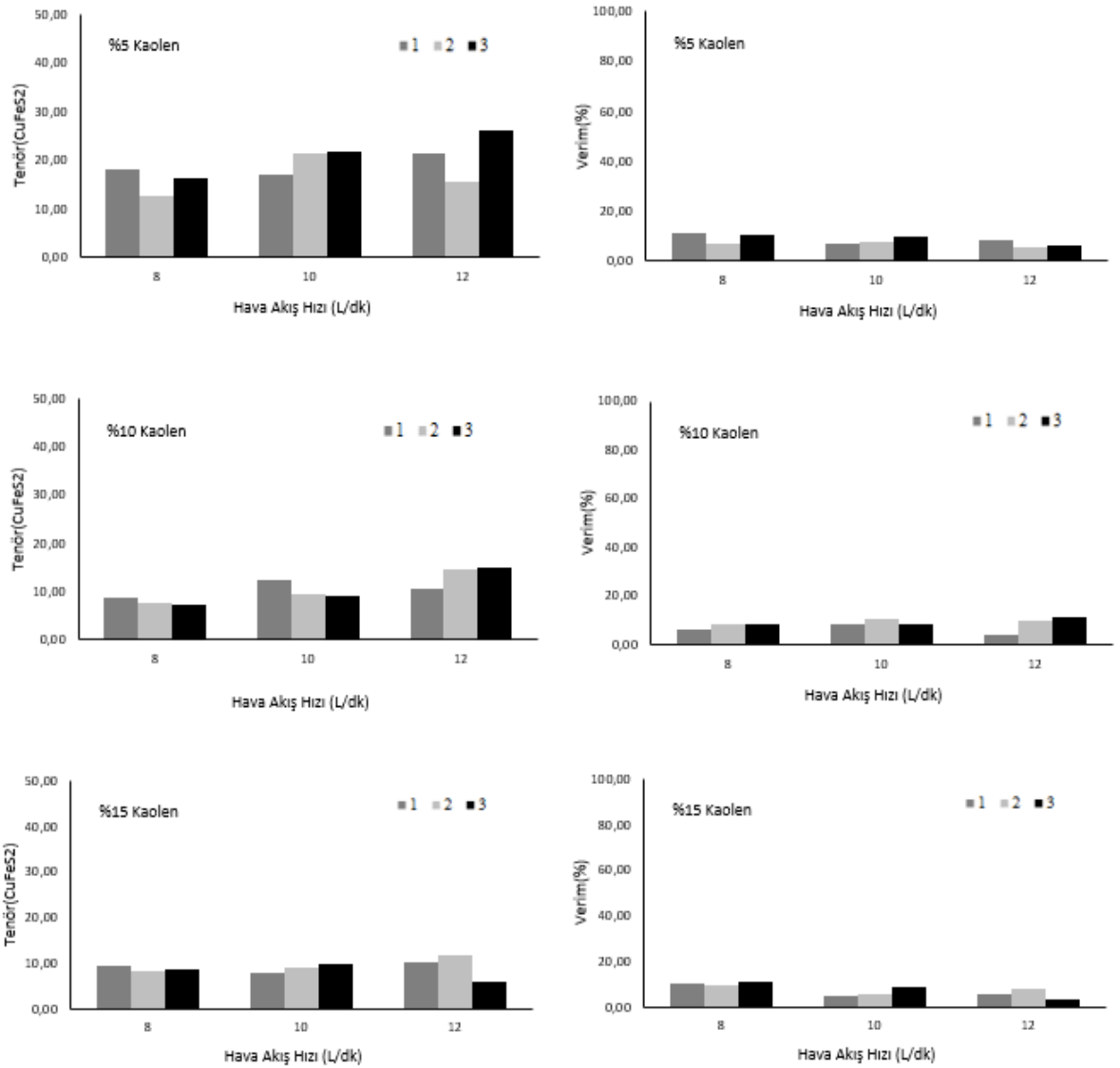


Tez çalışmasının bu aşamasında mekanik taşıma miktarının belirlenmesi amacıyla kaolen içerikli numune ile toplayıcı kullanılmadan aynı çalışma koşullarında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.4- Şekil 4.4 de topluca sunulmuştur.

Toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçlarından, konsantrede  $\text{CuFeS}_2$  veriminin %36-73; toplam artık veriminin (pirit+gang) ise %16-73 aralığında değiştiği (Çizelge 4.3); toplayıcısız gerçekleştirilen deney sonuçlarından ise konsantrede  $\text{CuFeS}_2$  veriminin %4-11.5; toplam artık veriminin (pirit+gang) ise %2-15 aralığında değiştiği (Çizelge 4.4) tespit edilmiştir. Toplayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda cevherde artan kil içeriği ile birlikte konsantredeki artık miktarının arttığı belirlenmiştir. Çalışılan tüm kil oranları için konsantredeki artık miktarı hava akış hızı değişiminden etkilenmezken artan köpük derinliği ile konsantreye gang taşınımının azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.4-Şekil 4.4).

**Çizelge 4.4.** Toplayıcısız flotasyon deneylerinde hava akış hızı, köpük derinliği ve kaolen içeriğinin bakır flotasyonuna etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	HAVA AKIŞ HIZI	Cu	Fe	TOPLAYICISIZ					
					TENÖR (%)			VERİM(%)		
					CuFeS <sub>2</sub>	Artık		CuFeS <sub>2</sub>	Artık	
						FeS <sub>2</sub>	Gang		FeS <sub>2</sub>	Gang
5	1	8	6.30	41.04	18.19	76.28	5.53	10.81	4.39	1.30
		10	4.31	38.12	12.46	73.76	13.78	6.90	3.95	3.02
		12	5.64	42.36	16.28	80.37	3.35	10.03	4.80	0.82
	2	8	5.84	43.41	16.85	82.25	0.90	6.52	3.08	0.14
		10	7.35	40.74	21.23	73.66	5.11	7.51	2.52	0.72
		12	7.58	41.83	21.88	75.57	2.55	9.57	3.20	0.44
	3	8	7.40	41.73	21.38	75.66	2.95	7.94	2.72	0.43
		10	5.39	41.71	15.58	79.42	5.00	5.53	2.73	0.70
		12	8.97	39.29	25.91	67.47	6.62	6.35	1.60	0.64
10	1	8	3.03	34.64	8.75	68.70	22.55	6.13	4.66	4.79
		10	2.66	42.22	7.70	85.68	6.62	8.11	8.74	2.11
		12	2.52	36.40	7.26	73.44	19.29	8.23	8.05	6.62
	2	8	4.33	41.98	12.49	82.03	5.48	8.41	5.34	1.12
		10	3.23	36.53	9.34	72.39	18.28	10.27	7.71	6.10
		12	3.19	34.46	9.20	68.01	22.79	8.30	5.94	6.23
	3	8	3.70	34.28	10.68	66.67	22.65	4.09	2.47	2.63
		10	5.09	39.70	14.69	75.69	9.62	9.86	4.92	1.96
		12	5.15	42.82	14.86	82.28	2.85	11.55	6.19	0.67
15	1	8	3.29	31.08	9.50	60.55	29.94	10.09	6.23	7.65
		10	2.87	27.41	8.29	53.48	38.23	9.07	5.67	10.07
		12	3.01	29.95	8.68	58.66	32.66	11.02	7.21	9.97
	2	8	2.75	28.10	7.94	55.19	36.88	5.04	3.39	5.63
		10	3.16	28.10	9.14	54.39	36.47	5.94	3.42	5.70
		12	3.32	25.97	9.60	49.51	40.89	8.38	4.18	8.58
	3	8	3.52	22.85	10.16	42.45	47.39	5.19	2.10	5.82
		10	4.06	26.23	11.72	48.69	39.58	7.60	3.06	6.17
		12	2.04	24.33	5.90	48.42	45.68	3.57	2.84	6.65



**Şekil 4.4.** Hava akış hızı, köpük derinliği ve kil miktarına bağlı olarak konsantrasyon tenör ve veriminin değişimi (kaolen ilaveli - toplayıcısız deneyler)

### 4.3. Mekanik Taşınmanın Belirlenmesi

Kil mineralleri, köpük yüksekliği ve hava akış hızının kalkopirit flotasyonunda mekanik taşımaya etkisinin değerlendirilmesi amacıyla toplayıcılı ve toplayıcısız gerçekleştirilen deney verileri kullanılarak toplam flotasyon verimi ( $R_T$ ) ve mekanik taşıma verimi ( $R_M$ ) farkından gerçek verim ( $R_G$ ) değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5- 4.10'da topluca sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** %5 montmorillonit içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
				CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
		Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
1	8	25.06	4.07	17.04	11.99	82.96	88.01	59.17	6.76	52.41
	10	20.81	3.89	20.15	13.90	79.85	86.10	58.09	7.50	50.59
	12	10.57	4.31	27.09	12.92	72.91	87.08	53.85	7.72	46.13
2	8	7.93	5.48	33.57	6.80	66.43	93.20	36.89	5.17	31.73
	10	9.79	5.09	40.27	6.51	59.73	93.49	54.64	4.59	50.05
	12	12.11	5.20	34.69	14.00	65.31	86.00	58.20	10.09	48.11
3	8	13.52	2.79	34.04	20.08	65.96	79.92	63.75	7.77	55.98
	10	15.55	5.31	31.54	13.95	68.46	86.05	67.98	10.28	57.70
	12	11.64	4.37	35.08	10.03	64.92	89.97	56.58	6.07	50.50

Çizelge 4.6. %10 montmorillonit içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
					CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
			Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
10	1	8	27.33	7.114	17.18	11.44	82.823	88.564	68.68	11.90	56.7806
		10	19.19	3.575	13.24	21.72	86.760	78.282	37.16	11.36	25.8003
		12	18.93	7.303	23.82	11.59	76.176	88.406	65.96	12.39	53.5698
	2	8	10.64	4.061	36.83	13.04	63.171	86.963	57.34	7.75	49.5946
		10	10.91	3.074	20.48	15.42	79.517	84.584	32.68	6.93	25.7472
		12	19.25	3.088	18.72	15.90	81.276	84.100	52.72	7.18	45.5363
	3	8	10.68	2.281	30.93	12.20	69.066	87.800	48.34	4.07	44.2637
		10	21.23	2.731	17.44	15.39	82.563	84.614	54.15	6.15	48.0071
		12	18.56	2.385	19.88	12.11	80.120	87.892	53.98	4.22	49.757

Çizelge 4.7. %15 montmorillonit içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
					CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
			Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
15	1	8	16.89	2.54	26.59	11.75	73.41	88.25	69.55	4.62	64.93
		10	15.84	4.90	23.97	13.02	76.03	86.98	58.79	9.88	48.91
		12	20.39	7.86	16.17	15.26	83.83	84.74	51.05	18.58	32.47
	2	8	10.60	5.32	32.46	5.81	67.54	94.19	53.26	4.79	48.47
		10	19.89	3.81	16.61	11.90	83.39	88.10	51.16	7.02	44.14
		12	17.46	4.18	20.38	16.26	79.62	83.74	55.09	10.52	44.57
	3	8	11.55	5.47	25.90	10.76	74.10	89.24	46.31	9.12	37.19
		10	15.41	3.50	30.77	15.76	69.23	84.24	73.43	8.54	64.90
		12	13.05	2.86	25.10	13.07	74.90	86.93	50.74	5.79	44.96

**Çizelge 4.8.** %5 kaolen içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
					CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
			Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	Toplayıcı	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
5	1	8	12.84	4.291	32.30	18.19	67.70	81.81	57.45	10.81	46.64
		10	13.26	3.995	31.73	12.46	68.27	87.54	58.31	6.90	51.41
		12	24.52	4.448	20.63	16.28	79.37	83.72	70.09	10.03	60.06
	2	8	22.16	2.792	19.77	16.85	80.23	83.15	60.70	6.52	54.18
		10	25.43	2.554	20.19	21.23	79.81	78.77	71.14	7.51	63.63
		12	15.17	3.158	29.56	21.88	70.44	78.12	62.13	9.57	52.55
	3	8	7.02	2.680	30.88	21.38	69.12	78.62	30.04	7.94	22.10
		10	17.10	2.564	24.19	15.58	75.81	84.42	57.30	5.53	51.77
		12	9.20	1.770	36.92	25.91	63.08	74.09	47.07	6.35	40.71

Çizelge 4.9. %10 kaolen içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/ dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
					CuFeS <sub>2</sub>		Değersiz				
			Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
10	1	8	19.52	4.79	20.55	8.75	79.45	91.25	58.68	6.13	52.55
		10	20.51	7.20	19.23	7.70	80.77	92.30	57.68	8.11	49.57
		12	25.30	7.74	19.50	7.26	80.50	92.74	72.18	8.23	63.95
	2	8	15.30	4.60	21.94	12.49	78.06	87.51	49.10	8.41	40.69
		10	18.01	7.52	21.47	9.34	78.53	90.66	56.54	10.27	46.27
		12	20.07	6.17	19.31	9.20	80.69	90.80	56.70	8.30	48.40
	3	8	22.40	2.62	19.89	10.68	80.11	89.32	65.19	4.09	61.10
		10	20.68	4.59	16.72	14.69	83.28	85.31	50.59	9.86	40.72
		12	17.96	5.31	26.36	14.86	73.64	85.14	69.25	11.55	57.71



**Çizelge 4.10.** %15 kaolen içeren cevherde hava akış hızı ve köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi

KİL ORANI (%)	Köpük Derinliği (cm)	Hava Akış Hızı (l/ dk)	Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
					CuFeS <sub>2</sub>		Değersiz				
			Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
15	1	8	10.08	6.86	27.17	9.50	72.83	90.50	42.39	10.09	32.29
		10	16.89	7.07	17.48	8.29	82.52	91.71	45.74	9.07	36.67
		12	14.30	8.20	25.98	8.68	74.02	91.32	57.54	11.02	46.52
	2	8	27.86	4.10	15.99	7.94	84.01	92.06	68.99	5.04	63.95
		10	21.73	4.20	18.67	9.14	81.33	90.86	62.81	5.94	56.87
		12	24.11	5.64	14.79	9.60	85.21	90.40	55.20	8.38	46.82
	3	8	21.05	3.30	20.52	10.16	79.48	89.84	66.91	5.19	61.72
		10	23.08	4.19	20.26	11.72	79.74	88.28	72.42	7.60	64.81
		12	20.18	3.91	19.17	5.90	80.83	94.10	59.89	3.57	56.32

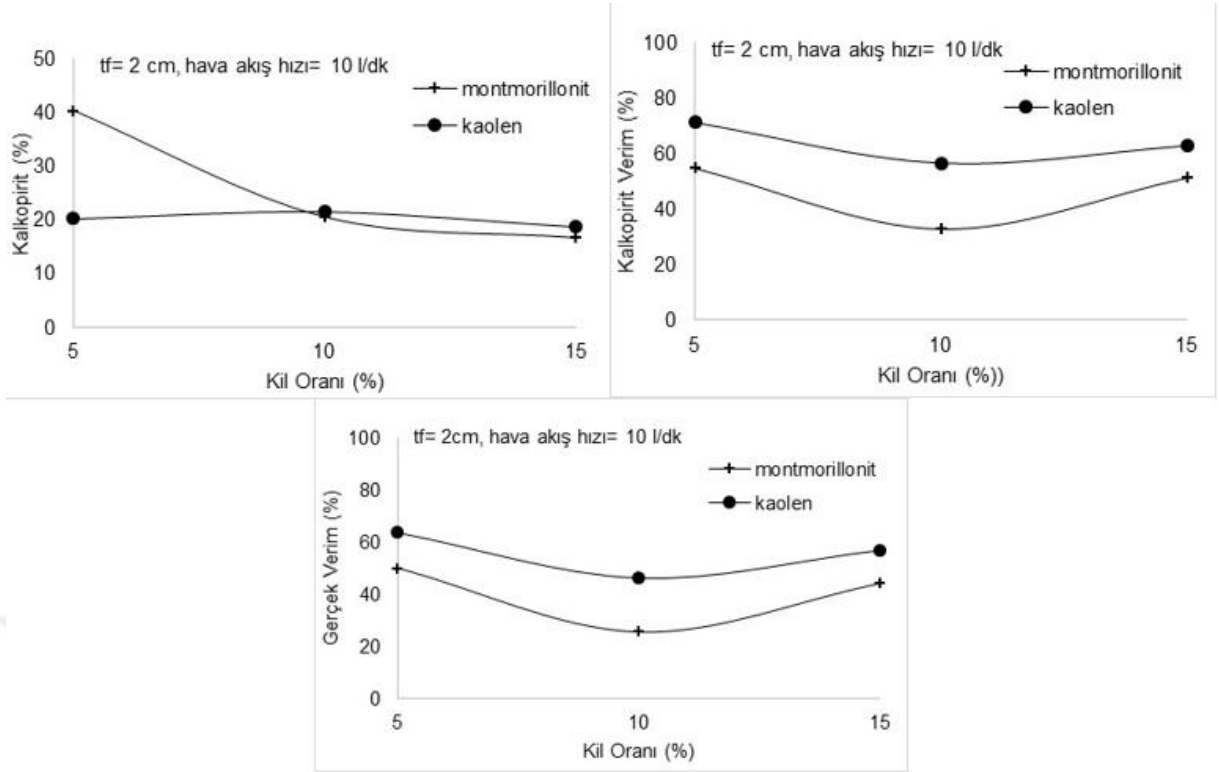
#### 4.3.1. Kil Türü ve Miktarının Mekanik Taşımaya Etkisi

Kaolen ve montmorillonit kil minerallerinin kalkopirit flotasyonunda mekanik taşımaya etkisi 2cm köpük derinliği ve 10 l/dk hava akış hızı ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler esas alınarak değerlendirildiğinde; kalkopirit tenörünün artan kil oranı ile montmorillonitte düşerken kaolende belirgin bir değişiklik göstermediği, gerçek verim ve kalkopirit verim değerlerinin ise %10 kil oranından sonra artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.5). Bunun nedeni kil fraksiyonunun çok ince tane boyutta olmasından dolayı, köpüğe “gerçek” flotasyon ile değil, mekanik taşıma ile gelmesidir. İnce tanelerin küçük kütle ve dolayısıyla küçük momentuma sahip olmaları, onların ya su ile birlikte ya da yüzdürülen taneler arasında mekanik olarak köpüğe taşınmasına neden olmaktadır. Mekanik taşıma verimi değerlendirildiğinde; mekanik taşımanın cevherde montmorillonit içeriğinin artmasıyla arttığı, kaolen içeriğinin %15’ e kadar artmasıyla ise azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4.11). Montmorillonit içerikli cevherle kaolen içerikli cevhere göre daha düşük verimle konsantre elde edilmiştir (Şekil 4.5).

Kil minerallerinin flotasyon davranışları genellikle onların özelliklerine bağlıdır. Şlam kaplamada kil tipi önemli bir rol oynar (Xing vd., 2019). Xu vd. (2003), kömür flotasyonunda montmorillonit ilave edildiği zaman kömürün bastırıldığını kaolen ilave edildiği zaman ise bastırılmadığını belirlemişlerdir. Xing (2016; 2017) ile Gui vd.(2016), deiyonize suda kömür ve kaolen / montmorillonit arasındaki etkileşim kuvvetini ölçmek için atomik kuvvet mikroskopisini kullanmışlar ve kaolen- kömür arasında zayıf bir itme kuvveti olduğu buna karşın, montmorillonit -kömür arasında bir çekim kuvveti olduğunu belirlemişlerdir. Kömür / montmorillonit arasında meydana gelen şlam kaplama, flotasyon veriminin azalmasına neden olmuştur. Wang (2015), bentonit ve kaolinitin bakır flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır ve bentonitin pulp vizkozitesini artırarak köpük stabilitesini bozduğunu ve flotasyon verimini azalttığını belirlemişlerdir.

**Çizelge 4.11.** Kil Cinsi ve miktarının mekanik taşımaya etkisi (Hava akış hızı 10 l/ dk, Köpük Derinliği 2 cm)

Değişken		Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
				CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
Kil Türü	Kil Oranı (%)	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
Montmorillonit	5	9.79	5.09	40.27	6.51	59.73	93.49	54.64	4.59	50.05
	10	10.91	3.07	20.48	15.42	79.52	84.58	32.68	6.93	25.75
	15	19.89	3.81	16.61	11.90	83.39	88.10	51.16	7.02	44.14
Kaolen	5	25.43	2,55	20.19	21.23	79.81	78.77	71.14	10.27	63.63
	10	18.01	7.52	21.47	9.34	78.53	90.66	56.54	10.27	46.27
	15	21.73	4.20	18.67	9.14	81.33	90.86	62.81	5.94	56.87



Şekil 4.5. Kil cinsi ve miktarının kalkopirit tenör ve verimine etkisi

Sonuç olarak; flotasyon işlemi sırasında farklı kil mineralleri, benzersiz özelliklerinden dolayı temel olarak farklı problemlere neden olabilmektedirler. Montmorillonit hem yapısal özellikleri hem de şişme özellikleri ile pulp'ın görünür viskozitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Mineral flotasyonu hem pulp hem de köpüğün yer aldığı kompleks bir süreçtir ve pulp reolojisindeki değişiklikler mineral taneleri ile kabarcıkların çarpışmasını ve tane-kabarcık agregatlarının hareketlerini etkileyebilir. 2:1 tabakalı yapısıyla bentonit 1:1 tabakalı yapıya sahip olan kaolenden daha reaktifdir. Montmorillonitin daha büyük ara katman mesafesine sahip olması su moleküllerinin katmanlar arasında nüfuz etmesini kolaylaştırarak montmorillonit yapısında şişmeye neden olur. Flotasyonda, yüksek pulp viskozitesi, kabarcıklar ve partiküller arasındaki çarpışmayı ve kabarcık-partikül agregatlarının hareketliliğini engelleyerek, flotasyon hücresinin üstünde üretilen köpük miktarını daha da azaltarak bakırın daha az kazanılmasına neden olur. Zhang ve Peng (2015), bakır kazanımı ve görünür viskozite arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında pulp'ın görünür viskozitesindeki artışla bakır kazanımının düştüğünü belirlemişlerdir. Kaolene gelince, montmorillonitin tersine kaolen içeriğinin artması pulp viskozitesini daha az etkilemekte ve bu yüzden bakır kazanımı üzerine etkisi daha az

olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, reolojik ölçümler kaolen varlığında pulp vizkozitesinde ihmal edilebilir değişiklikler meydana geldiğini gösterdiğinden Wang vd. (2015), kaolen içerikli bakır cevherinde mekanik taşıma kaolen partikülleri dispersiyonuna bağlanabilir. Flotasyon sırasında düşük konsantrasyonda ince kaolen partikülleri su içerisinde ve kabarcıkları çevreleyen su filminin üzerinde askıda kalırlar ve bu durum onların pulp fazından köpük fazına transfer ihtimalini artırmaktadır (Wang, 2015).

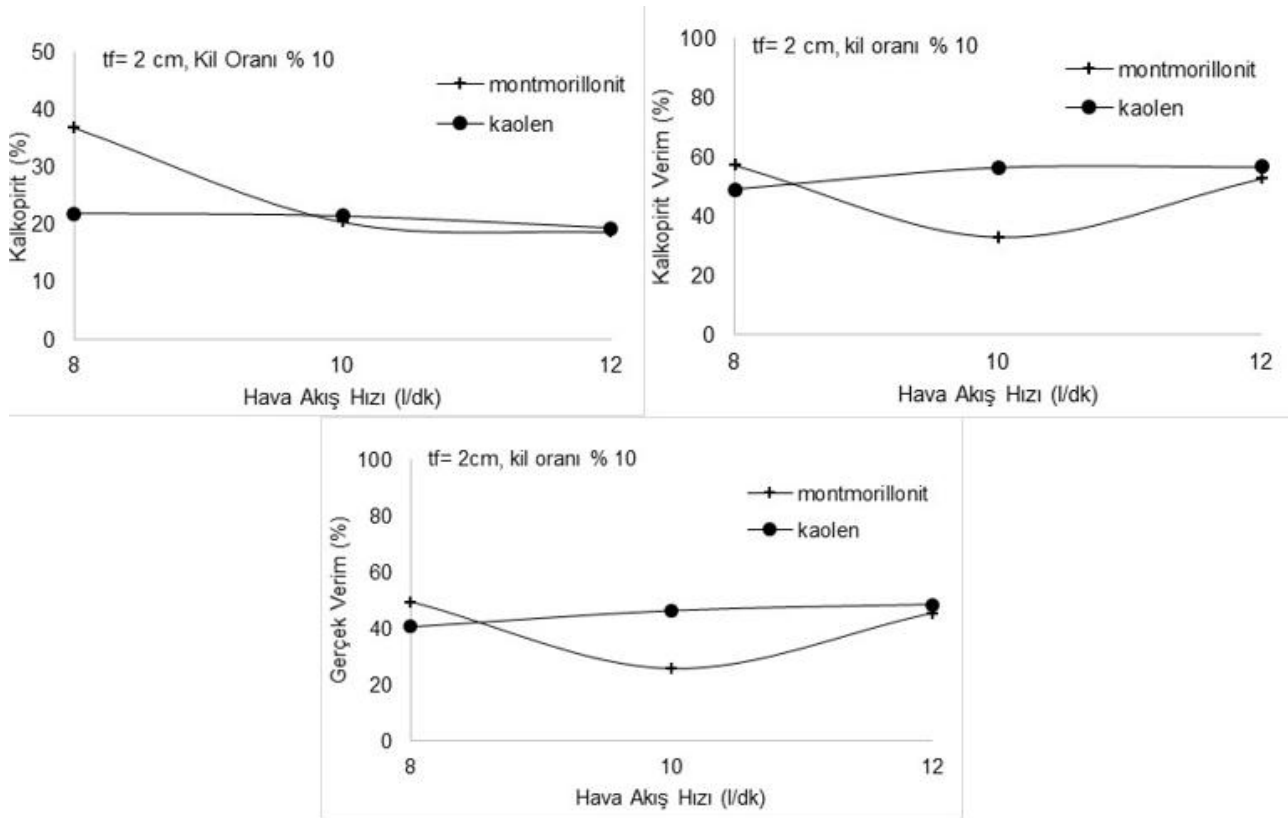
Farklı kil minerallerinin varlığından dolayı pulpta küçük bir değişiklik bile olsa köpük performansının tamamen değişmesi mümkündür. Flotasyon proseslerinde kil minerallerinin varlığı aynı zamanda köpük performansını da etkilemektedir. Köpük yapısı ve stabilitesi mineral flotasyonunda verim ve selektivite açısından önemli rol oynar. (Wang vd., 2015), bentonitte kil içeriğinin artması ile büyük kabarcıkların sayısı azalır orta boyutlu kabarcıkların sayısı artarken kaolende artan kil içeriği ile birlikte kabarcık boyutlarının hızlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir ve bu durumu bakır tenöründeki azalma ile ilişkilendirmişlerdir. Flotasyonda, kabarcık boyutu ve verim arasında bir ilişki bulunduğu ve küresel küçük boyutlu kabarcıklar ile daha düşük tenörlü konsantrelerde elde edildiği bilinmektedir. Wang vd. (2015), bakır cevherinde bentonit oranının artması ile köpük stabilitesinin azaldığını ama kaolen oranı arttıkça arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada, bentonit varlığında bakır verimindeki azalma konsantrere oluşuna flotasyon selülünden mineral tanelerinin geçişinin zorlaşmasına bağlanmıştır.

#### **4.3.2. Hava Akış Hızının Mekanik Taşımaya Etkisi**

Flotasyonu etkileyen diğer parametrelerle kıyaslandığında hava akış hızı ve köpük yüksekliğinin önemi hala tam olarak anlaşılmamasına rağmen mekanik taşıma ile gang kazanımının bu iki faktörden önemli ölçüde etkilendiği bilinmektedir. Bu iki parametrenin köpükte kalma süresi ile su ve partikül drenajı için gerekli süreyi değiştirerek mekanik taşımayı etkiledikleri düşünülmektedir (Wang vd., 2015).

**Çizelge 4.12.** Hava akış hızının mekanik taşımaya etkisi (Kil Oranı %10, Köpük Derinliği 2 cm)

Değişken		Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
				CuFeS <sub>2</sub>		Değersiz				
Kil Türü	Hava Akış Hızı (l/dk)	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
Montmorillonit	8	10.64	4.06	36.83	13.04	63.17	86.96	57.34	7.75	49.59
	10	10.91	3.07	20.48	15.42	79.52	84.58	32.68	6.93	25.75
	12	19.25	3.09	18.72	15.90	81.28	84.10	52.72	7.18	45.54
Kaolen	8	15.30	4.60	21.94	12.49	78.06	87.51	49.10	8.41	40.69
	10	18.01	7.52	21.47	9.34	78.53	90.66	56.54	10.27	46.27
	12	20.07	6.17	19.31	9.20	80.69	90.80	56.70	8.30	48.40



Şekil 4.6. Hava akış hızının kalkopirit tenör ve verimine etkisi

DeneySEL çalışmalar sonucunda kalkopirit tenörü açısından artan hava akış hızının kaolen içerikli cevherde belirgin bir değişime sebep olmazken montmorillonit içerikli cevherde düşüşe neden olduğu; kaolen içerikli cevherde artan hava akış hızı ile verim değerleri artarken montmorillonit içerikli cevherde 10 l/dk' da bir verim düşüşü olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12-Şekil 4.6). Yapılan deneylerde hava akış hızı arttıkça flotasyon sırasında pulp' un karışmasını artırdığını bu sebeple ince tanelerin köpüğe yapışarak konsantreye taşınmasını kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple yüksek hava akış hızı ile çalışıldığında tenörün düşüp verimin arttığı tespit edilmiştir. Hava miktarının artması köpük yükselme ve terk etme hızını artırarak konsantreye kabarcıklar arasındaki su ile taşınan ince tane miktarını artmakta ve buna paralel olarak mekanik taşıma oranı artmakta ve değerli mineral tenörü azalmaktadır.

Hava miktarının flotasyon üzerindeki etkisi oluşturulan kabarcıkların yüzey alanları ve çarpışma olasılığı ile ilişkilendirilmektedir. Artan hava miktarının flotasyon hızında artışa neden olduğu bilinmekle birlikte flotasyon kinetiğinin kontrolünün mekanizması henüz netlik kazanmamıştır. Flotasyon hızında belli bir hava miktarına kadar gözlenen artış, artan hava miktarına paralel olarak toplam kabarcık yüzey alanındaki artışla, optimum değerden sonra flotasyon hızının düşmesi ise bu hava hızından sonra oluşan kabarcık boyutunun artışı ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca sabit bir hızda çalışan karıştırıcının, hücrede havayı homojen bir şekilde karıştıramaması sonucu çarpışma olasılığının azalacağı ve pulpun içinde türbülans akış koşulunun oluşması ile kabarcığa bağlı tanelerin ayrılacakları belirtilmektedir (Saklara vd., 1998).

### **3.1.1. Köpük Derinliğinin Mekanik Taşımaya Etkisi**

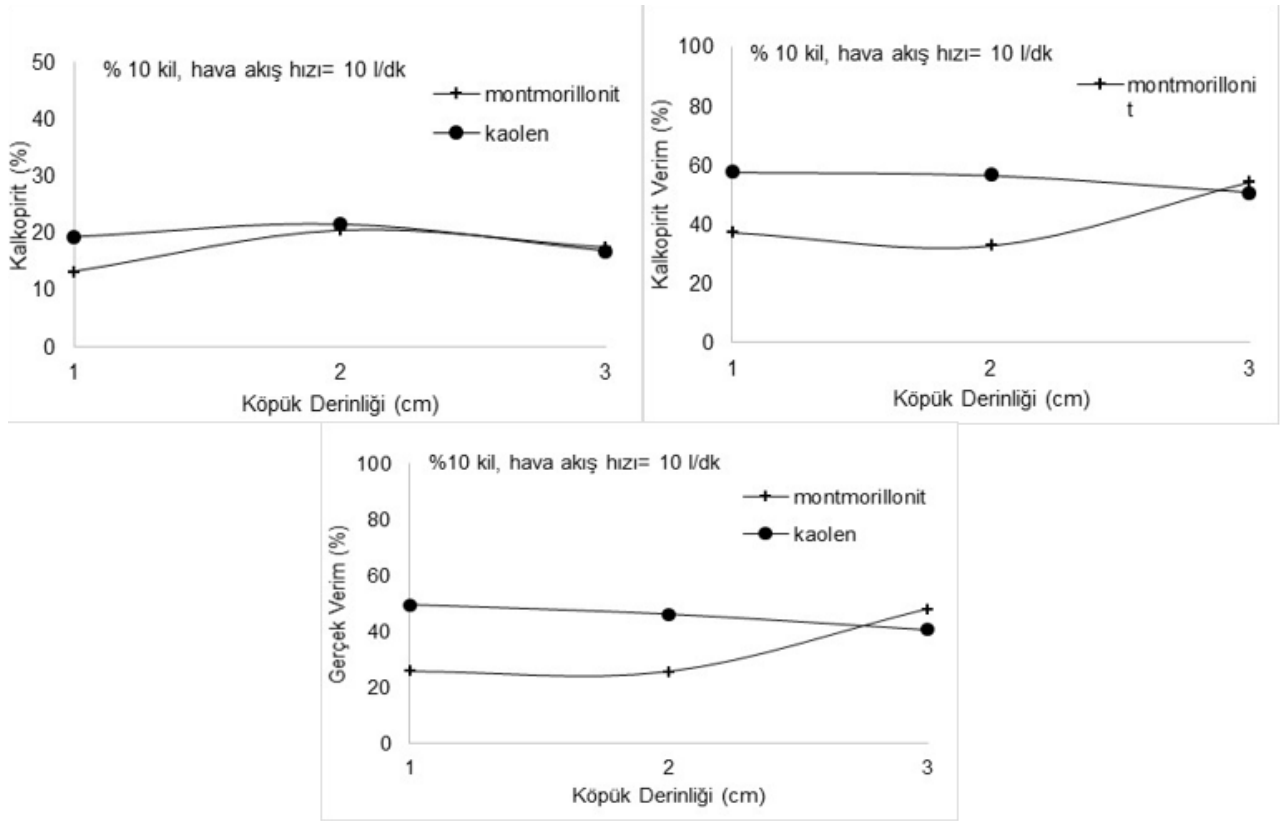
Köpük zonu yüksekliğinin artışı kabarcığın daha uzun süre köpük zonunda kalmasına ve drenaj olasılığını arttırarak kabarcıklar arasında konsantreye taşınan ince tane miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Mekanik taşınmanın derin köpük zonuna sahip kolon flotasyonunda daha az olmasının sebebi de budur (Sağol, 2015). Köpük derinliği arttığında; selül içerisindeki pulp derinliği azalmaktadır. Buna bağlı olarak pulp yoğunluğu artmaktadır. Pulp içindeki ince tane miktarı arttığı için konsantre katı oranı ve konsantreye taşınan birim suya düşen ince tane miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak, mekanik taşıma oranı azalmaktadır. Toklu ve Çilek (2007), barit cevherini flotasyonla zenginleştirdikleri bir çalışmada, barit için %10 katı oranında optimum flotasyon şartlarında tane boyutu-köpük derinliği ile mekanik taşıma arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Köpük derinliği arttıkça ise mekanik taşınmanın azaldığı, konsantreye istenmeyen değersiz minerallerin taşınmasının engellendiği ve konsantre tenörünün arttığı belirlemişlerdir.

Köpük derinliğinin kil içerikli cevherde mekanik taşımaya etkisinin belirlendiği deneysel çalışmalarda, artan köpük yüksekliği ile montmorillonitte gerçek verim değerleri artarken kaolende düşmüştür. Mekanik taşıma verimi açısından köpük yüksekliği kaolen içerikli cevherde belirgin bir değişiklik göstermezken montmorillonitte artan köpük yüksekliği ile düşmüştür. Kaolende artan köpük yüksekliği ile tenörde düşüş ve verimde artış ince boyutlu kaolen tanelerinin askıda kalmasıyla ilişkilendirilebilir.



**Çizelge 4.13.** Köpük derinliğinin mekanik taşımaya etkisi (Hava akış hızı 10 l/ dk, Kil Oranı %10)

Değişken		Ağırlık (%)		Mineral (%)				Toplam Verim (RT, %)	Mekanik Taşıma Verimi (RM, %)	Gerçek Verim (RG, %)
				CuFeS <sub>2</sub>		Artık				
Kil Türü	Köpük Derinliği	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	Toplayıcı	Toplayıcısız	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	
Montmorillonit	1	19.19	3.58	13.24	21.72	86.76	78.28	37.16	11.36	25.80
	2	10.91	3.07	20.48	15.42	79.52	84.58	32.68	6.93	25.75
	3	21.23	2.73	20.48	15.39	82.56	84.58	54.15	6.15	48.01
Kaolen	1	20.51	7.20	19.23	7.70	80.77	92.30	57.68	8.11	49.57
	2	18.01	7.52	21.47	9.34	78.53	90.66	56.54	10.27	46.27
	3	20.68	4.59	16.72	14.69	83.28	85.31	50.59	9.86	40.72



Şekil 4.7. Köpük derinliğinin kalkopirit tenör ve verimine etkisi

Wang vd. (2016) mekanik taşımının, hava akış hızı ve köpük yüksekliği arasındaki etkileşimden önemli ölçüde etkilendiğini belirlemiş ve mekanik taşımının artan hava akış hızı ile sığ köpük derinliğinde artarken derin köpük yüksekliklerinde düştüğü sonucuna varmışlardır. Bu nispeten beklenmedik bir sonuçtur çünkü teorik olarak köpük yüksekliği ya da hava akış hızındaki artış drenaj için daha az zamana neden olacağından mekanik taşımının, su kazanımının ve sonuç olarak gang kazanımının düşmesi beklenmektedir. Hava akış hızındaki artışın derin köpük yüksekliklerinde mekanik taşımayı azaltabileceğini ve düşük hava akış hızlarında köpük derinliğindeki artışla mekanik taşımının artabileceği ifade eden farklı çalışmalar da bulunmaktadır.

Düşük hava akış hızında, köpük fazındaki su içeriğinin, köpük yüksekliğinin artması ile hızla azaldığı bilinmektedir. Wang vd. (2016) tarafından düşük su içeriğinin plato sınırlarının daralmasından dolayı birim hacim su başına daha az katı maddenin drene olmasından kaynaklanabileceği ve düşük köpük derinliklerinde, bu incelmenin gerçekleşmeyebileceğinden dolayı daha fazla miktarda katı drenajı meydana gelebileceği ve bu durumun gang minerallerinin mekanik taşınmasını azaltabileceği ifade edilmektedir.

Daha yüksek hava akış hızlarında, plato sınırlarının incelmesini ve dolayısıyla katı drenajını engelleyen “ıslak köpük” söz konusudur. Suda asılı olan katılar daha serbest şekilde hareket edebilir ve bu durum eğilimin tersine dönmesine neden olur. Bu durumda köpük derinliği arttıkça, drenaj için daha fazla zaman olabilir ve bu nedenle mekanik taşıma azalır. Buna ek olarak, üst köpükte birim sudaki katıların azalması, köpük içinde daha fazla miktarda kabarcık patlaması ile ilişkilendirilebilir. Ekmekçi vd. derin köpüklerde düşük köpük stabilitesi ve kırılmalı köpük yapısı gözlemlemiştir. Bu durum da köpük fazı içindeki katı drenajın artmasına neden olabilmektedir (Wang vd., 2016).



## 5. SONUÇLAR

Yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesiyle birlikte, yüksek miktarda kil minerali içeren düşük tenörlü cevher yataklarının işlenmesi zorunlu hale gelmiştir. Bununla birlikte bu yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesi, ince tane boyutu, tabaka yapısı ve kil minerallerinin anizotropik yükü nedeniyle yaygın sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Kil minerallerinin varlığı flotasyonda şlam kaplama, mekanik taşıma, şişme davranışı kaynaklı problemler, pülpün viskozitesinde artış meydana gelmesi, köpük kararlılığının değişmesi gibi birtakım problemlere neden olmaktadır. Hidrofilik mineral tanelerinin hava kabarcığına bağlanmadan, sıvı film içinde konsantreye taşınması olarak tanımlanan mekanik taşıma, esas olarak su geri kazanımı, pulp yoğunluğu, tane boyutu, karıştırma hızı, mineral özgül ağırlığı, tane hidrofobikliği, yüzeysel gaz hacmi, köpük yüksekliği, köpük tutma süresi, köpük reolojisi ve köpük yapısı gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Bu tez çalışmasında, Cu cevherlerinde yaygın olarak bulunan kil türlerinin (Kaolen-Montmorillonit) flotasyon performansı ve mekanik taşıma üzerine etkileri incelenmiştir. Kil türü/miktarı (%5-10-15), köpük yüksekliği (1,2,3 cm), hava akış hızı (8,10,12 l/dk) çalışılan deneysel parametrelerdir. Kil mineralleri, köpük yüksekliği ve hava akış hızının Park Elektrik Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (Siirt-Madenköy)'den temin edilen kalkopirit cevherinin flotasyonunda mekanik taşımaya etkisinin değerlendirilmesi amacıyla toplayıcı ve toplayıcısız gerçekleştirilen deney verileri kullanılarak toplam flotasyon verimi ( $R_T$ ) ve mekanik taşıma verimi ( $R_M$ ) farkından gerçek verim ( $R_G$ ) değerleri belirlenmiştir.

Kalkopirit tenörünün artan kil oranı ile montmorillonitte düşerken kaolende belirgin bir değişiklik göstermediği, verim değerlerinin ise %10 kil oranından sonra artış gösterdiği belirlenmiştir. Bunun nedeni kil fraksiyonunun çok ince tane boyutta olmasından dolayı, köpüğe “gerçek” flotasyon ile değil, mekanik taşıma ile gelmesidir. Montmorillonit içerikli cevherle kaolen içerikli cevhere göre daha düşük verimle konsantre elde edilmiştir. Flotasyon işlemi sırasında kil mineralleri farklı yapısal özelliklerinden dolayı farklı problemlere neden olabilmektedirler. Montmorillonit hem yapısal özellikleri hem de şişme özellikleri ile pulp’ın görünür viskozitesini önemli ölçüde artırmaktadır ve sonuç olarak kabarcık- tane çarpışmasını ve kabarcık-tane agregalarının hareketliliğini engelleyerek, köpük miktarını azaltmakta ve tenör düşüşüne neden olmaktadır. Kaolen içerikli cevherde ise kaolen içeriğinin artması pulp viskozitesini daha az etkilemekte ve bu yüzden bakır kazanımı üzerine etkisi daha az

olmaktadır. Kaolen içerikli bakır cevherinde mekanik taşıma su içerisinde askıda kalan ince boyutlu kaolen tanelerinin köpük fazına transferi ile ilişkilendirilmiştir.

Hava akış hızı değişiminin kalkopirit tenörü açısından, kaolen içerikli cevherde belirgin bir değişime sebep olmazken montmorillonit içerikli cevherde düşüşe neden olduğu; kaolen içerikli cevherde artan hava akış hızı ile verim değerleri artarken montmorillonit içerikli cevherde 10 l/dk' da bir verim düşüşü olduğu belirlenmiştir. Flotasyon da belli bir hava miktarına kadar gözlenen verim de artış, artan hava miktarına paralel olarak toplam kabarcık yüzey alanındaki artışla, optimum değerden sonra düşüş ise bu hava hızından sonra oluşan kabarcık boyutunun artışı ile ilişkilendirilmiştir. Yüksek hava akış hızı ile çalışıldığında tenörün düşüp verimin arttığı tespit edilmiştir. Hava akış hızı artışı flotasyon sırasında karıştırmanın etkinliğini artırarak ince tanelerin köpüğe yapışmasını kolaylaştırmakta ve gangın konsantreye taşınmasına neden olmaktadır. Hava miktarının artması köpük yükselme ve terk etme hızını artırarak konsantreye kabarcıklar arasındaki su ile taşınan ince tane miktarını artmakta ve buna paralel olarak mekanik taşıma oranı artmakta ve değerli mineral tenörü azalmaktadır.

Köpük derinliğinin kil içerikli cevherde mekanik taşımaya etkisinin belirlendiği deneysel çalışmalarda, artan köpük yüksekliği ile montmorillonitte gerçek verim değerleri artarken kaolende düşmüştür. Mekanik taşıma verimi açısından köpük yüksekliği kaolen içerikli cevherde belirgin bir değişiklik göstermezken montmorillonitte artan köpük yüksekliği ile düşmüştür. Kaolende artan köpük yüksekliği ile tenörde düşüş ve verimde artış ince boyutlu kaolen tanelerinin askıda kalmasıyla ilişkilendirilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Arbiter, N. ve C. C. Harris 1962, Flotation kinetics. Froth flotation-50th anniversary volume. DW Fuerstenau, *American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers*.
- Aşık, S., 2018, Farklı Toplayıcı Türleri ve Karışımlarının Bir Sülfürlü Cevherlerin Flotasyon Performansına Etkisi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Atak, S., 1990, Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı*, Kitap Yayın No: 34.
- Atak, S. ve R. Tolun, 1994, Flotasyon-Cevher Hazırlama El Kitabı, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul
- Bakker vd.,2009, Numerical modelling of non-Newtonian slurry in a mechanical flotation cell, *Minerals Engineering* 22(11): 944-950.
- Banford, A, vd., 1998, Interpretation of the effect of froth structure on the performance of froth flotation using image analysis, *Powder Technology* 98(1): 61-73.
- Basnayaka, L. vs., 2017, Influence of clays on the slurry rheology and flotation of a pyritic gold ore, *Applied Clay Science* 136: 230-238.
- Bicak, O. vd., 2007, Adsorption of guar gum and CMC on pyrite, *Minerals engineering* 20(10): 996-1002.
- Bide, T., 2007. Copper, *British Geological Survey*.
- Brandenburg, U. ve G. Lagaly, 1988, Rheological properties of sodium montmorillonite dispersions, *Applied Clay Science* 3(3): 263-279.
- Brooks, M. ve I. Fleming, 1989, Modernization of the Nchanga flotation plant: a comparison of flotation cells and columns, *Mining Magazine* 160(7): 34-35.
- Bulatovic, S., vd., 1999, Effect of clay slimes on copper, molybdenum flotation from porphyry ores, *Proceedings of Copper*.
- Cao, M. ve Q. Liu, 2006, Reexamining the functions of zinc sulfate as a selective depressant in differential sulfide flotation—The role of coagulation, *Journal of colloid and interface science* 301(2): 523-531.
- Celik, M. vd. 1998, Effect of in-situ ultrasonic treatment on the floatability of slime coated colemanite, *Innovations in Mineral and Coal Processing*: 153-157.
- Cilek, E. ve Y. Umucu, 2001, A statistical model for gangue entrainment into froths in flotation of sulphide ores, *Minerals Engineering* 14(9): 1055-1066.

- Cilek, E. C., 2009, The effect of hydrodynamic conditions on true flotation and entrainment in flotation of a complex sulphide ore, *International Journal of Mineral Processing* 90(1): 35-44.
- Cruz, N., vd., 2013, Interactions of clay minerals in copper–gold flotation: Part 1–Rheological properties of clay mineral suspensions in the presence of flotation reagents, *Minerals Engineering* 50: 30-37.
- Çilek, E. C., 2013, Mineral Flotasyonu., *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*. Isparta
- Engelbrecht, J. ve E. Woodburn,1975, The effects of froth height, aeration rate, and gas precipitation on flotation, *Mintek*.
- Farrokhpay, S., 2012, The importance of rheology in mineral flotation: A review, *Minerals Engineering* 36: 272-278.
- Farrokhpay, S. ve B. Ndlovu, 2013, Effect of Phyllosilicate Minerals on the Rheology, Colloidal and Flotation Behaviour of Chalcopyrite Mineral, *Chemeca 2013*
- Farrokhpay, S. vd., 2016, Behaviour of swelling clays versus non-swelling clays in flotation, *Minerals Engineering* 96: 59-66.
- Flint, L., 1973, Factors influencing the design of flotation equipment, *Minerals Science Engineering* 5(3): 232-241.
- Forbes, E., vd., 2014, Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp, *Minerals Engineering* 56: 136-144.
- Gong, J. vd., 2010, Reducing quartz gangue entrainment in sulphide ore flotation by high molecular weight polyethylene oxide, *International Journal of Mineral Processing* 97(1-4): 44-51.
- Gui, X. vd., 2016, Interaction forces between coal and kaolinite particles measured by atomic force microscopy, *Powder technology* 301: 349-355.
- Gülsoy, Ö., 1995, Hidrofobik ve Hidrofilik Mineral Flotasyonu Üzerine Su Kazanımının Etkisinin Araştırılması, *Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, S 183*.
- Gülsoy, Ö. Y., 1999, Flotasyonda Su İle Taşınım Modelleme Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi, *Bilimsel Madencilik Dergisi* 38(1): 13-30.
- Hoang, D. H., vd., 2019, Froth properties and entrainment in lab-scale flotation: A case of carbonaceous sedimentary phosphate ore, *Chemical Engineering Research and Design* 142: 100-110.
- Jeldres, R. vd., 2017, Viscoelasticity and yielding properties of flocculated kaolinite sediments in saline water, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 529: 1009-1015.

- Jeldres, R. I. vd., 2019, The effect of clay minerals on the process of flotation of copper ores-A critical review, *Applied Clay Science* 170: 57-69.
- Johnson, vd., 1974, Flotation Rates of Non-sulphide Minerals in Chalcopyrite Processes, *Trans. Am. Ins. Min. Metali. Pet. Eng.*, 256, 204226
- Jowett, A., 1966, Flotation Kinetics. Gangue Mineral Contamination Of Froth, *Brit Chem Eng* 11(5): 330-333.
- Kaya, M., 1991, Flotasyon el-kitabı, *Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*
- Kaya, M. ve A. Laplante, 1986, Investigation of batch and continuous flotation kinetics in a modified Denver laboratory cell, *Canadian Metallurgical Quarterly* 25(1): 1-8.
- Kaya, M. ve A. Laplante, 1990, Froth washing and froth vibration in mechanical flotation machines, *Soc Of Mining Engineers Of Aime, Littleton, Co,(USA). 11 p 30: 1990.*
- Kirjavainen, V., 1989, Application of a probability model for the entrainment of hydrophilic particles in froth flotation, *International Journal of Mineral Processing* 27(1-2): 63-74.
- Laplante, A. vd., 1989, The effect of froth on flotation kinetics-A mass transfer approach, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 5(1-4): 147-168.
- Laskowski, J. S. ve Q. Liu, 1999, On the adsorption mechanism of carboxymethyl cellulose, *Polymers Mineral Processing. MetSoc of 1101: 357-373.*
- Laskowski, R. vd., 2007, Single-layer model of the hexagonal boron nitride nanomesh on the Rh (111) surface, *Physical review letters* 98(10): 106802.
- Liu, Q. vd., 2006, Exploiting the dual functions of polymer depressants in fine particle flotation, *International Journal of Mineral Processing* 80(2-4): 244-254.
- MTA, 2016, Türkiye ve Dünyada Bakır, *Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Eylül 2016*
- Ndlovu, B., vd., 2011, The effects of chrysotile mineralogical properties on the rheology of chrysotile suspensions, *Minerals Engineering* 24(9): 1004-1009.
- Neethling, S. ve J. Cilliers, 2009, The entrainment factor in froth flotation: Model for particle size and other operating parameter effects, *International Journal of Mineral Processing* 93(2): 141-148.
- Oats, W. J. vd., 2010, Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation, *Minerals Engineering* 23(5): 413-419.
- Özer, H., 2007, Oksit flotasyonunda tane boyutu, hidrofobiklik, köpük yapısı ve mekanik taşıma arasındaki ilişki, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Paineau, E., 2011, Aqueous suspensions of natural swelling clay minerals. 2. Rheological characterization, *Langmuir* 27(12): 7806-7819.



- Quast, K. vd., 2008, Effect of slime clay particles on coal flotation, *Chemeca 2008: towards a Sustainable Australasia*: 130.
- Ross, V., 1990, Flotation and entrainment of particles during batch flotation tests, *Minerals Engineering* 3(3-4): 245-256.
- Sağol, E., 2015, İstatistiksel deney tasarımının Çayırhan bölgesi linyitlerinin flotasyonunda uygulanması, *ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Saklara, S. vd., 1998, Flotasyon Modelleri, *Bilimsel Madencilik Dergisi* 37(2): 3-20.
- Savassi, O. vd., 1998, An empirical model for entrainment in industrial flotation plants, *Minerals Engineering* 11(3): 243-256.
- Schubert, M. vd., 2008, Using stable and radioactive isotopes for the investigation of contaminant metal mobilization in a metal mining district, *Applied Geochemistry* 23(10): 2945-2954.
- Shabalala, N. vd., 2011, Effect of slurry rheology on gas dispersion in a pilot-scale mechanical flotation cell, *Minerals Engineering* 24(13): 1448-1453.
- Sivamohan, R., 1990, The problem of recovering very fine particles in mineral processing—a review, *International Journal of Mineral Processing* 28(3-4): 247-288.
- Subrahmanyam, T. ve E. Forssberg, 1988, Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation—a review, *International Journal of Mineral Processing* 23(1-2): 33-53.
- Taner, H. A., 2019, Kil Minerallerinin Yapısal Özelliklerinin Metal Sülfürlerin Flotasyon Performansına Etkisi, *Master*: 172.
- Taner, H. A. ve V. Önen, 2016, Killerin pulp ortamındaki davranışı ve flotasyona etkileri,
- Thorne, G. vd., 1976, Modelling of industrial sulphide flotation circuits, Flotation--A. M. *Gaudin Memorial*.
- Toklu, H. Ö. ve E. C. Çilek, 2007, Kuyucak yöresine ait barit cevherinin flotasyonla zenginleştirilmesi
- Tombacz, E. ve M. Szekeres, 2004, Colloidal behavior of aqueous montmorillonite suspensions: the specific role of pH in the presence of indifferent electrolytes, *Applied Clay Science* 27(1-2): 75-94.
- Trahar, W. (1981). "A rational interpretation of the role of particle size in flotation." *International Journal of Mineral Processing* 8(4): 289-327.
- Trahar, W. ve L. Warren, 1976, The flotability of very fine particles—a review, *International Journal of Mineral Processing* 3(2): 103-131.

- Uribe, L. vdd., 2016, The depressing effect of clay minerals on the floatability of chalcopyrite, *Mineral processing and extractive metallurgy review* 37(4): 227-235.
- Wang, B. ve Y. Peng, 2013, The behaviour of mineral matter in fine coal flotation using saline water, *Fuel* 109: 309-315.
- Wang, J. vd., 2016, Flotation separation of scheelite from calcite using mixed cationic/anionic collectors, *Minerals Engineering* 98: 261-263.
- Wang, Y. vd., 2015, The different effects of bentonite and kaolin on copper flotation, *Applied Clay Science* 114: 48-52.
- Warren, L. J. ,1985, Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests, *International Journal of Mineral Processing* 14(1): 33-44.
- Xing, Y. vd., 2016, Effect of calcium ion on coal flotation in the presence of kaolinite clay, *Energy & Fuels* 30(2): 1517-1523.
- Xing, Y. vd., 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.
- Xing, Y. vd. 2017, Effect of kaolinite and montmorillonite on fine coal flotation, *Fuel* 195: 284-289.
- Xu, Z. vd., 2003, Electrokinetic study of clay interactions with coal in flotation, *International Journal of Mineral Processing* 68(1-4): 183-196.
- Yeşilyurt, Z., 2014, Farklı Yapıdaki Non-iyonik Sürfaktanların Bitümlü Kömür Şlamı Üzerinde Flotasyon Ve Gang Taşıma Davranışları İle Filtrasyon Performanslarının İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Yianatos, J. ve F. Contreras, 2010, Particle entrainment model for industrial flotation cells, *Powder technology* 197(3): 260-267.
- Yılmaz, B. Z. vd., 2002, Küre flotasyon tesisi kaba konsantresinin flotasyonunda selül hidrodinamik parametrelerinin mekanik taşımaya etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi*.
- Yu, Y. vd., 2017, Effect of agitation on the interaction of coal and kaolinite in flotation, *Powder technology* 313: 122-128.
- Yu, Y. vd., 2017, The role of surface cleaning in high intensity conditioning, *Powder technology* 319: 26-33.
- Zhang, M. ve Y. Peng, 2015, Effect of clay minerals on pulp rheology and the flotation of copper and gold minerals, *Minerals Engineering* 70: 8-13.
- Zheng, X. vd., 2005, Modelling of entrainment in industrial flotation cells: the effect of solids suspension., *Minerals Engineering* 18(1): 51-58.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Sevdanur OTARAN  
**Uyruğu** : Türk  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ERZURUM – 09.01.1993  
**Telefon** : 0539 666 6479  
**e-mail** : [sevdanurmaden@gmail.com](mailto:sevdanurmaden@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Erzurum Anadolu Lisesi	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği	2016
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Koçkaya İnşaat- Narman Beton	Maden Mühendisliği

### YAYINLAR

Otaran, S., Onen, V., Taner, H.A. 2019. The Effect of Some Physical Variables in Copper Flotation, MAS European International Congress on Mathematics-Engineering and Natural & Medical Sciences- V, May 2-5, Erzurum, TURKEY, 41.