



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KİL İÇERİKLİ BAKIR CEVHERİNİN
FLOTASYONUNDA ELEKTROLİTLERİN
ETKİSİ

Shafika KHALIDOVA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Shafika Khalidova tarafından hazırlanan “Kil içerikli bakır cevherinin flotasyonunda elektrolitlerin etkisi” adlı tez çalışması 30/07/2019 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

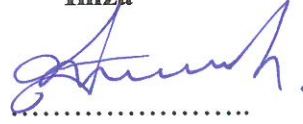
Danışman

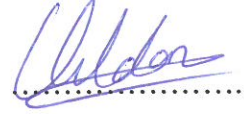
Doç. Dr. Vildan ÖNEN

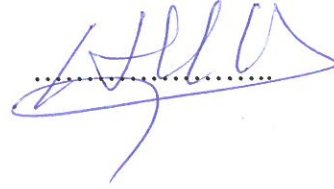
Üye

Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

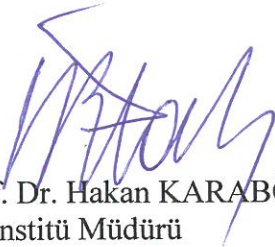
İmza


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Shafika KHALIDOVA

30/07/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİL İÇERİKLİ BAKIR CEVHERİNİN FLOTASYONUNDA ELEKTROLİTLERİN ETKİSİ

Shafika KHALIDOVA

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

Danışman: Doç. Dr. Vildan ÖNEN

2019, 68 Sayfa

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

İnorganik iyonların ara yüzeyleri etkileyerek kabarcıklarla taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirdiği ve minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada toplayıcı-köpürtücü kullanımıyla, inorganik tuzlarla killerin varlığındaki kalkopirit flotasyonu araştırılmıştır. Tuz tipi (NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, Al₂(SO₄)₃, konsantrasyonu, ortam pH'ı, flotasyon süresi, kil tipi (kaolen-montmorillonit) miktarı (%5-10-15) çalışılan deneysel parametrelerdir. Kilsiz cevherle, farklı tuz tipi ve konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde, optimum sonuç 0.001 M NaCl konsantrasyonunda %51.89 CuFeS₂ tenör, %72.40 verim değeriyle elde edilmiştir. Tuzlarla gerçekleştirilen deneylerde ortak bulgu, yüksek tuz konsantrasyonlarında tenörde düşüşün, verimdeyse artışın gözlemlenmesidir. Tuz tipi-konsantrasyonunun köpük yüksekliğine etkisinin belirlendiği deneylerde köpük yüksekliğinin artışıyla en iyi tenör-verim değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Artan kil miktarı köpük yüksekliğinde genel olarak bir değişime sebep olmamış, fakat %15 montmorillonitin ilavesi köpük yüksekliğinde düşüşe neden olmuştur. Bu durum yüksek şişme potansiyeline sahip olan montmorillonitin pülp vizkozitesini değiştirmesine bağlanmıştır. 0.001 M NaCl ortamında cevhere eklenen kil miktarının artmasıyla; kaolen eklenen deneylerde tenör düşerken verim artmış, montmorillonit eklenen deneylerde ise artan kil oranı hem konsantre tenörünü hem de verimini daha da düşürmüştür. Kaolenle yapılan deneylerde montmorillonite göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çeşme suyu-deniz suyu-0.001 M NaCl ortamındaki % 10 kil içerikli deneylerde en düşük verim deniz suyunda elde edilmiş, sebebi tuz içeriğinin yüksekliğiyle ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrolit, flotasyon, kalkopirit, kil, köpük yüksekliği

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF ELECTROLYTES ON THE FLOTATION OF COPPER ORE CONTAINING CLAY

Shafika KHALIDOVA

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖNEN

2019, 68 Pages

Jury

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖNEN

Assoc. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

It is known that inorganic ions affect interfaces, altering colloidal interactions between bubbles-particles and affect flotation. In this study, flotation of clayey chalcopyrite was investigated in the presence of inorganic salts by using collector and frother. Parameters as salt type (NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, Al₂(SO₄), concentration, pH medium, flotation time, clay type (kaolinite-montmorillonite) amount (5-10-15%) were studied. In experiments with different salt types-concentrations with clayless ore, optimum result was obtained in 0.001 M NaCl, with 51.89% CuFeS₂ grade and 72.40% yield. The common finding was decrease in grades and increase in yield values at high salt concentrations. Salt type-concentration effects investigations on froth height showed, that the best grade-yield were obtained by increasing of the froth height. Generally this parameter doesn't affect results, but addition of 15% montmorillonit decreased froth height sharply because of changes in montmorillonite's pulp viscosity, which has high swelling potential. With increasing amount of added clay in 0.001 M NaCl solution; with added kaolinite concentrate's grade decreased, recovery increased; as for montmorillonite both of them were decreased. Generally kaolinite's results were better. In flotation with 10% clay in tap-sea water-0.001 M NaCl, the lowest yield was obtained in sea water because of it's high salt content.

Keywords: Electrolyte, chalcopyrite, clay, flotation, froth height

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında beni yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan ve deneysel çalışmalarımın her aşamasında katkılarını esirgemeyen Danışmanım Sayın Doç. Dr. Vildan ÖNEN'e, deneysel çalışma ortamının hazırlanmasında yardımcı olan Sayın Arş. Gör. Hasan Ali TANER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan arkadaşlarım Fatma GÖKÇÜL, Mehmet Emin TEKELİOĞLU'na teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde bana her zaman yardımcı olan her zaman destekleyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Shafika KHALIDOVA
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Flotasyonda Kil Minerallerinden Kaynaklanan Problemlere Elektrolitlerin Etkisi	3
2.2. Tuz Flotasyonu	7
2.2.1. Tuz flotasyonunun gerekliliği.....	7
2.2.2. Tuz flotasyonu mekanizması	9
2.3. Bakır Flotasyonu.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Cevherin özellikleri.....	18
3.1.2. Çeşme suyunun analizi.....	19
3.1.3. Deniz suyunun analizi	20
3.1.4. Kullanılan kimyasallar	20
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Flotasyon deneyleri	21
3.2.2. Köpük yüksekliğini belirleme deneyleri	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	25
4.1. Tuzların Kalkopirit Flotasyonuna Etkisi.....	25
4.1.1. Tuzların köpük yüksekliğine etkisi.....	32
4.2. pH'ın Kalkopirit Flotasyonuna Etkisi	35
4.3. Kil Mineralleri Varlığında Kalkopirit Flotasyonuna Tuzların Etkisi	37
4.3.1. Kalkopirit cevheri flotasyonuna kaolen miktarı ve tuz konsantrasyonunun etkisi.....	39
4.3.2. Kalkopirit cevheri flotasyonuna montmorillonit miktarı ve tuz konsantrasyonunun etkisi	41
4.4. Deniz suyu, çeşme suyu ve 0,001 M NaCl'deki killi kalkopiritin flotasyonu.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
5.1 Sonuçlar	48
5.2. Öneriler	49
KAYNAKLAR	51



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm: Santimetre
dk: Dakika
L: Litre
 μ m: Mikrometre
mg: Miligram
mm: Milimetre
mol/L: Mol/litre
mV: Milivolt
M: Molarite
cP: Santipoiz

Kısaltmalar

AFM: Atomik kuvvet mikroskobu
BMA: Billiton Mitsubishi Birliği
DF250: Dowfroth 250
ICP: İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma
MIBC: Metil izobütil karbinol
PAC: Polialüminyum klorür
PEO: Polietilen glikol
SEM: Taramalı elektron mikroskobu
XRD: X-Işını Difraktometresi

1. GİRİŞ

Yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesi ile birlikte, düşük tenörlü, yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesi zorunlu hale gelmiştir. Fakat yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesi, ince tane büyüklüğü, tabaka yapısı ve kil minerallerinin anizotropik yükü nedeniyle yaygın sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Buna ek olarak flotasyon sırasında köpük kararlılığı, reaktiflerin aşırı tüketimi, mekanik taşıma ve hatta pülpün reolojik özelliklerinin değişmesi gibi kil kaynaklı sorunlar da meydana gelebilmektedir (Bulatovic, 2007).

Flotasyon işleminde yüksek konsantrasyonlardaki çözünmüş iyonların çözelti ve ara yüzeyleri etkileyerek, hava kabarcıkları ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir (Hancer ve ark., 2001; Özdemir ve ark., 2013). Li ve Somasundaran (1992) bitümlü kömürün flotasyon kimyasalları kullanılmadan düşük NaCl elektroliti konsantrasyonlarında (<0.1 M) elektrolit konsantrasyondaki artış ile yüzebilirliğinin azaldığını, yüksek elektrolit konsantrasyonda (> 0.1 M) ise elektrolit konsantrasyondaki artış ile yüzebilirliğinin arttığını ifade etmişlerdir. Özdemir ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ elektrolitleri içerisinde linyit ve taşkömürünün flotasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı

Temiz su kaynaklarının azalması ve temiz su kullanımı konusundaki düzenlemeler, flotasyon tesislerinde tuzlu suların kullanılmasına neden olmuştur. Temiz su kullanılmasını düşürmek için neredeyse bütün cevher hazırlama tesislerinde suyun tekrar kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca, deniz suyu çoğu kıyısal bölgelerde temiz suyu korumak için kullanılmaktadır (Wei ve ark., 2016). Genel olarak, tuzlu su temiz suya göre flotasyon kinetiğini arttırmaktadır (Wang ve ark., 2014). Bu nedenle araştırmacılar tuzlu suyun ve proses suyunun tekrar kullanılmasının flotasyon performansı üzerine yarattığı etkiye odaklanmışlardır (Peng ve ark., 2012). Bu çalışmanın amacı kil mineralleri varlığında kalkopiritin tuzlu su (NaCl, Al₂(SO₄)₃, MgCl₂, CaCl₂ ve KCl) ortamında toplayıcı ve köpürtücü kullanımıyla flotasyon davranışını ortaya çıkarmaktır.

Günümüzdeki killi minerallerin işlenmesini iyileştirmek için kullanılan stratejiler, optimum operasyonel sonuçların elde edilmesinde yetersiz kalmıştır; bu nedenle, flotasyon performansını iyileştirmeye izin veren yeni uygulamaların geliştirilmesini teşvik etme açısından önemlidir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Flotasyonda Kil Minerallerinden Kaynaklanan Problemlere Elektrolitlerin Etkisi

Kil şamlarının flotasyon üzerinde ters etki yarattığı bilinmektedir. Kil minerallerinin varlığı flotasyonda köpük kararlılığını değiştirmesi, şişme davranışı kaynaklı problemler, pülpün viskozitesinde artış meydana gelmesi, fazla reaktif tüketimi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden olmaktadır (Taner ve Önen, 2016). Cevher içerisinde killerin bulunması halinde onları giderme ve etkilerini azaltma amaçlı farklı yöntemlere başvurulmaktadır. Bunlar; selektif toplanma yoluyla gang kirlenmesinin azaltılması, farklı konsantrasyonlardaki elektrolitlerin kullanımı, uygun pH ortamını sağlayarak kille değerli mineral arasında elektrostatik çekme kuvvetinin azaltılması, farklı kimyasallar kullanarak killerin tane boyutlarının büyütülmesi gibi sıralanabilir. Cevher içerisinde kil gibi doğal olarak çok ince boyutlu tanelerin varlığı söz konusu ise bu durumda mümkünse şlam uzaklaştırma da denen ince boyutlu kısmın flotasyon öncesi uzaklaştırılması da tercih edilebilir (Çilek, 2013).

Flotasyon konsantresinin gang mineralleri tarafından tenörünün düşmesi, uzun zamandan beri bilinmektedir (Kirjavainen, 1996; Miettinen ve ark., 2010; Ndlovu ve ark., 2013; Wang ve ark., 2015). İnce boyutlu gang mineralleri, flotasyon konsantresini esas olarak mekanik taşıma ve şlamla kaplama mekanizmaları ile etkilemektedir (Arnold ve Aplan, 1986; Holuszko ve ark., 2008; Peng ve Zhao, 2011). Şlamla kaplama flotasyonda oldukça büyük mineral yüzeylerinin çok ince minerallerle kaplanmasıdır. İri mineral ile ince mineral arasındaki zeta potansiyeli işaretinin farklı oluşu bu olayı açıklamaktadır. Şlam uzaklaştırması ince tane boyutunda serbestleşen cevherlerde kayıplara neden olur. Şlamla kaplanmayı önlemek için şlam ya da iri mineralin elektrik yükünü değiştiren elektrolitlerin kullanılması gerekmektedir ve genellikle bu işlem için potansiyeli değiştiren iyonlar kullanılır (Bulut ve Göktepe, 2012).

Peng ve Zhao (2011) yaptıkları çalışmada bentonitin şlamla kaplamasının kalkopirit (birincil bakır sülfür minerali) ve kalkosit (ikincil bakır sülfür minerali) flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı derecelerdeki mineral yüzey oksidasyonu sonucunda kalkopirit negatif yüklü, ancak kalkositin öğütme sonrası pozitif yüklü olduğu tespit edilmiştir. Kalkositin pozitif yüklü olması bentonit parçacıklarıyla farklı etkileşimlere yol açmıştır. Kalkositin aksine, kalkopirit bentonite

karşı elektrostatik bir itme sergilemiştir. Zhao ve Peng (2012) tarafından yapılan bakır sülfür minerallerinin öğütme sırasındaki oksidasyonu ve kil parçacıkları ile etkileşimleri çalışmasında Cryo-SEM ölçümleri ile bentonitin kalkopirit üzerine değil kalkosit üzerine şlamla kaplama oluşturduğu doğrulanmıştır.

Bunlara ek olarak yapılan birtakım farklı araştırmalarda elektrostatik çekimden dolayı killerin galen, kömür ve bitüm yüzeylerini şlamla kapladığı ve dolayısıyla flotasyon veriminin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Arnold ve Aplan, 1986; Attia ve Deason 1989; Oats ve ark. 2010; Xu ve ark. 2003; Forbes ve ark. 2014; Chen ve ark. 2017b, Yu ve ark. 2017a). Örneğin pentlandit flotasyonunda da şlamla kaplamadan dolayı serpantin mineralleri flotasyon verimini düşürmüşlerdir. Edwards ve ark. (1980) pentlandit flotasyonunun da pülpte lizardit veya krizotilin olmasından dolayı pentlandit yüzme veriminin düştüğünü bulmuşlardır. Elektroforez ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ölçümleri kullanılarak, serpantin minerallerinin pentlandit yüzeylerini şlamla kapladığı dolayısıyla verimin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bu mekanizma ayrıca Bremmell ve ark. (2005) tarafından pentlandit ve lizarditlerden oluşan bir mineral sistemi üzerinde flotasyon, zeta potansiyel ölçümleri, SEM ve Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) analizlerini kullanarak belirlenmiştir.

Peng ve Bradshaw (2012) tarafından yapılan çalışmada, pentlandit-lizardit flotasyonunda yüksek iyonik güce sahip suların pentlandit flotasyon verimini arttırdığı bulunmuştur. Kuyu suyunda, parçacıklar arasındaki elektriksel çift tabaka kuvvet azalmasının lizardit taneciklerinin pentlandit yüzeylerini kaplamasını azaltmış olabileceği, sonuç olarak bunun pentlandit flotasyonunu iyileştirdiği ifade edilmiştir. Aynı sebepten dolayı bakır mineralleri yüzeyindeki kil kaynaklı şlam kaplamasının elektrolitler tarafından azaltılabileceği düşünülmüştür.

Pülp reolojisinin modifikasyonu, kil minerallerinin en önemli karakteristiklerinden bir tanesidir. Killer farklı yapıda olmalarından dolayı pülp reolojisini farklı şekillerde etkilerler. Minerallerin şişme davranışları pülpün viskozitesini artırarak reolojisini etkiler (Taner ve Önen, 2016). Bir pülpün içsel sürtünmesi veya akışkanlık direnci viskozite olarak tanımlanmaktadır. Viskozitenin farklı olmasının nedeni akışkanın akma esnasında, şekil değiştirmeye karşı kendine özgü bir direnç göstermesidir. Akışkanlığın veya sıvıya ait akma kabiliyetinin ve sıcaklığın artmasıyla viskozite azalmaktadır (Turgut ve ark., 2016). Bazı araştırmalarda pülpün reolojik özellikleri ile flotasyon performansı arasındaki güçlü ilişkiye işaret edilmiş ve mineral pülpünün reolojisindeki değişikliklerin flotasyon selül

hidrodinamiğini etkilediği ifade edilmiştir. Pülp viskozitesinin artışı, pervaneyi çevreleyen küçük türbülans boşluğunda yani flotasyon selülünün türbülans bölgesinin sınırları boyunca oluşan gaz dağılımı üzerinde zararlı etkiler göstermektedir (Bakker ve ark., 2009; Shabalala ve ark., 2011; Xu ve ark., 2012; Forbes ve ark., 2014). Shabalala ve ark. (2011) katı konsantrasyonunun artması ile gaz tutuşu ve kabarcık boyutundaki beklenmedik azalmayı pülpün akma gerilmesinin yüksekliğine bağlamıştır. Viskozitesinin artması ile hidrofobik tanelerin köpüğe tutunma ihtimalinin azalması sonucu flotasyon performansının düştüğünü ifade etmişlerdir (Forbes ve ark., 2014).

Zhang ve ark. (2015b) tarafından yapılan çalışmada % 10 bentonit içeren bakır altın cevherinin musluk suyu ve deniz suyunda flotasyonu yapılmıştır. Bentonitin musluk suyunda altın ve bakır üzerinde zararlı bir etkisi olduğu, ancak bu zararlı etkinin deniz suyunda hafifletildiği tespit edilmiştir. Musluk suyu ve deniz suyundaki farklı flotasyon davranışları pülp viskozitesindeki değişiklikten kaynaklanmıştır. Cryo-SEM incelemeleri deniz suyunun bentonitin şişme kapasitesini azalttığını ve tabaka yapısını bozduğunu ortaya çıkarmıştır.

Kil minerallerinin varlığından kaynaklanan başka bir problem de mekanik taşımadır. Mekanik taşımanın suyun geri kazanımıyla orantılı olduğu bulunmuştur (Warren, 1985; Savassi ve ark., 1998; Yianatos ve Contreras, 2010). Suyun verimi daha ince parçacıklar için daha yüksek olduğundan, parçacık büyüklüğünün azalmasıyla mekanik taşıma artmakta ve bunun tersi ile azalmaktadır.

Trahar, (1981) ve Smith ve Warren (1989) mekanik taşımanın yaklaşık 30 µm'den daha küçük parçacıklar için önemli olduğunu ve suyun geri kazanımı ile orantılı olduğunu bulmuşlardır. Pek çok flotasyon deneylerinde ince gang mineral tanelerinin şiddetli mekanik taşınması gözlemlenmiştir (Liu ve ark., 2006; Wang ve Peng, 2013). Örneğin, bakır ve kurşunun kollektif flotasyonunda, metalik olmayan gang minerallerinin tenörü 10 µm boyutundaki parçacıklar için %20–30 iken 40 µm boyutundaki parçacıklar için ise yaklaşık % 5'e düşmüştür (Liu ve ark., 2006)

Liu ve ark. (2006) tarafından yapılan araştırmada, kömür flotasyonu sırasında kaolinitle mekanik taşımanın azaltılmasında polialüminyum klorürün (PAC) önemi incelenmiştir. PAC, alüminyum tuzlarının hidroliz ve polimerizasyon ürünü olup su arıtma işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chuang ve ark., 2007; Wang ve ark., 2007; Sun ve ark., 2013). Liang ve ark. (2016) araştırmasında, düşük konsantrasyonlu PAC'ın, kaolinit parçacıklarını selektif olarak topladığı, böylece kömür flotasyonundaki

kaolinitin mekanik taşımalarının azaldığı bulunmuştur. Yük nötralizasyonunun ana toplama mekanizması olduğu tespit edilmiştir.

Flotasyonda mekanik taşıma tane boyutuna bağlı olduğu kadar, köpük kararlılığına da bağlıdır. Daha küçük ve kararlı kabarcık yüksek gang taşımalarına sebep olur (Subrahmanyam ve Forssberg, 1988). Kil mineralleri hava kabarcıklarında kaplama oluşturabilir ve geniş mineral taneleriyle birleşmesini engelleyebilir (Wen ve Sun, 1977). Oats ve ark. (2010) kabarcık-tane tutunması ile ilgili yaptıkları çalışmada, kil varlığında cevherin hücrede uzun süre kalma durumunda flotasyonun olumsuz etkilenebileceğini belirtmişlerdir. Flotasyon verimi kabarcıkların pülpden hidrofobik taneleri toplama kabiliyetine bağlı olduğu için, bu tanelerin yakalama veriminin azalması onların kabarcıktaki konsantrasyonunu ve böylelikle tüm köpük kararlılığını azaltacaktır.

Araştırmacılar gang kirlenmesini azaltmak için çeşitli yöntemler denemişlerdir. Ultrasonik işlem, gang minerallerinin değerli mineraller üzerindeki şlamla kaplamasını azaltmak için kullanılmıştır (Qi ve Aldrich, 2002; Özkan, 2012). Köpük yüksekliğinin artırılması (Tao ve ark., 2000), yıkama suyunun artırılması (Tao ve ark., 2000; Stevenson ve ark., 2007) gibi operasyonel değişikliklerin mekanik taşımayı ve mekanik sıkışmayı azaltmak için köpük bölgesinde su drenajının yoğunlaştırılmasında etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Ayrıca, gang minerallerinin flokülant veya bastırıcı tarafından toplanması da çalışılmıştır (Cao ve Liu, 2006; Liu ve ark., 2006; Gong ve ark., 2010; Huang ve ark., 2012; Liu ve Peng, 2014). Bazı bastırıcıların gang kirlenmesinin azaltılmasında hidrofiliğinin artırılması ve gang minerallerinin tane büyüklüğünün artırılması gibi ikili fonksiyonlara sahip olduğu öne sürülmektedir (Cao ve Liu, 2006; Liu ve ark., 2006).

Bununla birlikte, selektif toplanma yoluyla gang kirlenmesini azaltma araştırması, esas olarak sülfür veya oksitlenmiş minerallerin flotasyonu üzerine odaklanmıştır. Kömür flotasyonundaki gang minerallerinin seçici toplanmasında az sayıda araştırma bulunmaktadır. Kömür hidrofobik etkileşim sayesinde yüksek hidrofobik özelliklerinden dolayı kolayca floküle edilir (Song ve ark., 2004; Song, 2008; Yang ve Song, 2014).

2.2. Tuz Flotasyonu

2.2.1. Tuz flotasyonunun gerekliliği

Köpük flotasyonu ince mineral tanelerini gang minerallerinden ayırmak için en çok kullanılan flotasyon şeklidir. Tatlı su kaynaklarının azalması ve temiz su kullanımı konusundaki giderek daha sıkı olan çevre düzenlemeleri, flotasyon tesislerinde yüksek iyonik kuvvetlerdeki suların yeniden kullanılmasına neden olmuştur. Temiz su kullanılmasını düşürmek için neredeyse bütün cevher hazırlama tesislerinde suyun tekrar kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca deniz suyu çoğu kıyısız bölgelerde temiz suyu koruma amaçlı kömür temizlemede kullanılmaktadır (Wei ve ark., 2016). Bunun sonucunda flotasyon sürecine etki eden tuzlu su oranı artmaktadır. Genel olarak, tuzlu su temiz suya göre flotasyon sırasında değerli mineral verimini arttırmaktadır. Bu, flotasyon sırasında artan kabarcık-parçacık tutunmasına bağlanmıştır (Wang ve ark., 2014). Bu nedenle araştırmacılar tuzlu suyun ve proses suyunun tekrar kullanılmasının flotasyon performansı üzerine yarattığı etkiye odaklanmışlardır (Peng ve ark., 2012).

Kömür oksidasyonu, kömür flotasyonuna zararlı etkilerinden dolayı kömür endüstrisinin karşı karşıya olduğu önemli bir sorundur. Yüksek kaliteli kömürlerin tükenmesiyle, daha fazla oksitlenmiş kömürler işlenmek zorunda kalmıştır. Kömür oksidasyonu kömür yüzeylerini hidrofilik yaparak yağlı toplayıcılara karşı itici özellik kazandırarak kömür flotasyonunu engelleyen alifatik veya aromatik hidroksil (-OH), karbonil (-C=O) ve karboksil (-COO-) gibi oksijen gruplarını oluşturur. Önceki çalışmalarda oksitlenmiş karbonun yüzdesi kömür yüzey oksidasyon derecesi olarak belirlenmiş ve temiz su kullanılarak kömür flotasyonundaki yüzey oksidasyonunun kritik değerinin olup olmaması belirlenmiştir (Chang ve ark., 2017). Tuzlu suyun kömür tesislerinde sık kullanılmasına rağmen tuzlu suyun oksitlenmiş kömürlerin flotasyonuna olan etkisi hakkında sınırlı sayıda çalışmalar yapılmıştır. Temiz suyun kıtlığından dolayı flotasyon tesisleri yüksek tuz içerikli olan deniz sularını kullanmaya alışmışlardır. Kömür hazırlama tesislerinde su yeniden kullanılıp, böylece tuz oranının artmasına dolayısıyla buharlaşmaya yol açmaktadır. Avustralya kömür hazırlama tesislerinin incelemelerinde su kalitesinin tuz oranı, tipi ve iyonların konsantrasyonu, iyon minimum ve maksimum konsantrasyon değerlerinin işlem suyu içeriğini belirleyen gösterge olduğu belirtilmiştir (Ofori ve ark., 2010). Oksitlenmiş kömürlerin flotasyon

ortamına hassas olmasından dolayı tuzlu ve temiz suda farklı yüzme davranışları gösterebileceği belirtilmiştir.

Tuzlu suyun doğal hidrofobik ve oksitlenmemiş kömürlerin flotasyonuna olan etkileri konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar hidrofobik kömürlerin flotasyonunun tuzlu suda mümkün olabileceğini göstermiştir (Yoon, 1982; Yoon ve Sabey, 1982; Kurniawan ve ark., 2011; Liu ve ark., 2013; Wang ve Peng, 2014; Laskowski ve Castro, 2015). Ayrıca tuzlu suların birçok metalik cevher tesislerinde kullanıldığına dair çalışmalar da (Quinn ve ark., 2007; Moreno ve ark., 2011; Peng ve Seaman, 2011; Castro, 2012) araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Günümüzde Avustralya, Kanada, Şili ve Endonezya'da birçok sayıda sülfürlü metal içerikli flotasyon tesislerinde deniz suyu veya yüksek iyon gücü olan yeraltı suyu kullanılmaktadır (Mu ve Peng, 2019).

İnorganik tuzların ince tane flotasyonuna yarattığı etkiyi incelemek için geniş çaplı çalışmalar yapılmıştır. İnorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediği ve böylece köpük stabilitesini artırdığı belirtilmiştir (Marrucci ve Nicodemo, 1967; Craig ve ark., 1993; Henry ve Craig, 2008; Ozdemir ve ark., 2009; Castro ve ark., 2010; Kurniawan ve ark., 2011; Bournival ve ark., 2012). Genel olarak flotasyon sırasında köpürtücünün eklenmesi, kabarcık boyutunu ve köpük stabilitesinin artmasını kontrol etmek için önemli bir metottur. Köpürtücü eklenen çözeltilerin kabarcık birleşme mekanizması kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Köpürtücünün kritik birleşme konsantrasyonu olarak adlandırılan belirli bir konsantrasyonu üzerindeki konsantrasyonlarda kabarcık birleşmesi tamamen önlenemez (Laskowski ve ark., 2003; Grau ve ark., 2005; Grau ve Laskowski, 2006). Köpürtücülerin kabarcık birleşmesi üzerindeki önleyici etkisi, yüzey geriliminin azaltılmasından kaynaklanır ve bunlar da Marangoni etkisinden kaynaklanır. Diğer taraftan, yaygın kullanılan inorganik elektrolitler kabarcık birleşmesinin önlenmesini sağlarlar (Laskowski ve ark., 2003; Quinn ve ark., 2007). Yalnız bütün inorganik tuzlar kabarcık birleşmesini aynı şekilde etkilemezler. Bu da spesifik bir iyonun proseste önemli rol oynayabileceğini belirtmektedir.

Metalik cevherlerin flotasyonunda elektrolitlerin kullanımı ve onların etkileri hakkında yapılan çalışmalar ilerideki bölümlerde daha detaylı verilmektedir.

2.2.2. Tuz flotasyonu mekanizması

Elektrolitlerin mineral flotasyonuna olan etkisi farklı araştırmacılar tarafından ve farklı açılardan incelenmiştir. Paulson ve Pugh (1996) tarafından bir dizi elektrolit içerisindeki hidrofobik grafit parçacık modelinin flotasyonu incelenmiştir.

Flotasyon verimine göre;

A grubu elektrolitleri (LaCl_3 , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 vs.) yüksek verimde

B grubu elektrolitleri (NaCl , LiCl , KCl , CsCl , NH_4Cl vs.) orta derecede

C grubu elektrolitleri (NaAc , NaClO_4 , HClO_4 , HCl , H_2SO_4 , LiClO_4 vs.) düşük verimde flotasyon performansı gösteren elektrolitler olarak 3 gruba ayrılmıştır.

Paulson ve Pugh (1996), inorganik elektrolitlerin sulu czeltilerindeki grafit flotasyonundaki daha yüksek tenörlerin, grafit taneleri ile kabarcıklar arasındaki daha yüksek çarpışma olasılığına, daha kk yğun olmayan kabarcık konsantrasyonuna ve köpükte artan stabiliteye bağlandığını bildirmişlerdir. Daha yüksek flotasyon verimleri daha kk yğunlaşmamış kabarcık konsantrasyonları ve parçacıklar ile kabarcıklar arasındaki elektrostatik etkileşimlerde azalma ile çarpışma olasılığındaki artışa bağlanmıştır. Yoon (1982) ve Paulson ve Pugh (1996), düşük kabarcık boyutlarının ve elektrolit czeltilerindeki artmış popülasyonun kabarcık-parçacık tutunmasının karşılaşma verimini arttırdığını ileri sürmüşlerdir. Fuerstenau ve ark. (1983) ve Yoon ve Sabey (1989) kabarcık-parçacık tutunmasının artmasını elektrolitlerin varlığındaki elektriksel çift tabakalarının sıkıştırılmasından kaynaklanan hem kabarcıkların hem parçacıkların zeta potansiyelinin azaltılmasına bağlamışlardır.

Kabarcık-parçacık tutunmasının arttırılmasıyla ilgili bir başka mekanizma daha önerilmiştir. Buna göre inorganik elektrolitlerin kömür parçacıklarını cvreyeyen hidratlanmış tabakaları destabilize etmesi ve yüzeysel hidrasyonlarını azaltması kabarcık-parçacık tutunmasının artmasını sağlamaktadır (Klassen ve Mokrousov, 1963).

Bazı araştırmacılar kömür yüzeyinin hidrofobitesinin yüksek konsantrasyondaki elektrolit czeltelerinin kullanılmasıyla mümkün olabileceğini göstermişlerdir (Klassen ve Mokrousov, 1963; Muller, 1988; 1990). Fakat başka araştırmacılar düşük hidrofobikliğe sahip kömürlerin flotasyonla daha az yzdrlebilirken sadece doğal hidrofobik kömürlerin tuzlu suda iyi yzdrlebileceğini iddia etmişlerdir (Fuerstenau ve ark., 1983). Flotasyonda metal iyonlarının mevcut olması kömür tanesini cvreyeyen elektriksel çift tabakayı etkileyebilmektedir. Taneler ile kabarcıklar çarpıştığında, yüzey şarjı tane ile hava

kabarcığı arasında enerji bariyerini temsil etmektedir. Tuzlu su tane-kabarcık çarpışmasını sağlamak için enerji bariyeri azaltabilmektedir (Laskowski ve ark., 1992). Yaygın olarak bilindiği gibi, kömür yüzeylerindeki kömür ve birkaç ana gang mineralleri, flotasyonun doğal pH aralığında negatif olarak yüklenir. İnorganik elektrolitlerin iyonizasyonundan ortaya çıkan katyonlar, elektriksel çift tabakaları sıkıştırır ve itici etkileşimde düşüşe neden olan tanelerin zeta potansiyelini azaltır (Castro ve ark., 2013).

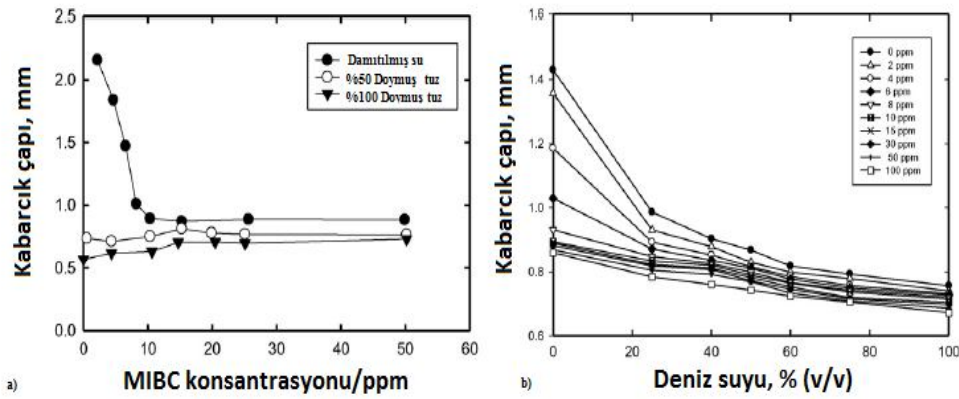
Ayrıca metal iyonlarının tuzlu suda olması, kabarcık boyutunu düşürebilir ve kabarcık birleşmesini engelleyen köpük stabilitesini yükseltir (Marrucci ve Nicodemo, 1967; Marrucci, 1969; Laskowski ve ark., 2003). Köpük stabilitesinin artması tanelerin konsantrasyona taşınmasını artırabilirken, kabarcık boyutunun düşürülmesi tane-kabarcık çarpışma verimini artırır (Farrokhpay, 2011). Böylece her iki artışta tüm flotasyon verimini artırır. Daha önce yapılan çalışmalar minimum miktarda oksitlenmiş kömür üzerine yapılmıştır. Dolayısıyla sonuçlar oksitlenmiş kömürler için geçerli olmayabilir.

İnorganik tuzların inhibe edici etkisine rağmen, köpürtücüler gerçek yüzdürme işlemi için vazgeçilmezdir. Castro ve ark. (2013) konsantrasyonda NaCl elektrolit çözeltilerinde MIBC ve DF250'nin kabarcık birleşmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırma, inorganik tuzların, köpürtücülere benzer şekilde davrandığını ve kabarcık birleşmesini önlediğini belirtmiştir. Yalnız inorganik tuzların konsantrasyonunun, köpürtücülerin konsantrasyonunu birkaç kat aşması gereklidir. Flotasyon sırasında, kabarcık birleşmesinin engellenmesine ek olarak, inorganik elektrolitler parçacıkların özelliklerini (yüzey şarjı ve hidrofobiklik gibi) de etkiler ve böylece yüzdürme davranışlarını etkilerler.

Dishon ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada NaCl, KCl ve CsCl sulu çözeltilerindeki silis yüzeyleri arasındaki etkileşim, bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak pH 5.5'te incelenmiştir. İyon konsantrasyonu arttıkça, daha fazla katyonun negatif yüklü silikaya adsorbe olduğu, yüzey yükünü yavaş yavaş nötrleştirdiği, böylece elektriksel çift tabakada itmeyi azaltarak Van der Waals çekim kuvvetlerini artırdığı tespit edilmiştir. Daha da yüksek tuz konsantrasyonlarında, itme, aşırı adsorbe edilmiş katyonlar tarafından yüzey yükünün ters çevrilmesi nedeniyle yeniden ortaya çıkmaktadır. Adsorpsiyon, katyon yarıçapı ile monoton şekilde büyümekte ve pH 5.5'te en küçük iyon olan Na, yüzeyi 0.5–1 M'de, K 0.2–0.5 M'de ve Cs~0.1 M'de yüzeyi nötralize etmektedir. HCl ile pH 4.0'a indirilmesi, yüzey nötrleşmesini değiştirmekte ve pH 5.5 ile karşılaştırıldığında yüzey daha düşük tuz

konsantrasyonlarında ters yönde şarj edilmektedir. Bu çalışma da çekim kuvvetleri baskın olduğunda, sonuçların konsantrasyonlarından bağımsız olarak üç tuz için genel eğilim olarak aynı olduğu tespit edilmiştir.

Flotasyon hızı, kabarcık boyutu ile ters orantılı olan kabarcık yüzey alanına bağlı olduğundan, kabarcık boyutu, bir flotasyon işleminde önemli bir değişkendir. Köpürtücüler ise kabarcık boyutunu doğrudan etkilediğinden köpürtücülerin kritik birleşme konsantrasyonları flotasyon açısından önemlidir (Cho ve Laskowski, 2002). Laskowski ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada MIBC'nin damıtılmış su içindeki kritik birleşme konsantrasyonu yaklaşık 10 ppm olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyon üzerinde oluşan kabarcıkların sabit olduğu ve birleşmedikleri bildirilmiştir (Şekil 2.1 a). Ayrıca aynı çalışmada kabarcık birleşmesinin elektrolit konsantrasyonunun artırılmasıyla da önlenebileceği bildirilmiştir. Konsantre elektrolit sistemlerinde (% 50 ve % 100 oranlarında doymuş suyun kullanımıyla yapılan deneyler), Şekil 2.1a'da gösterildiği gibi, kabarcıklar sabittir ve bir köpürtücü olmasa bile birleşmezler (Laskowski ve ark. 2003). Castro ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada aynı işlem deniz suyunda yapılmıştır. Deneyler sonucunda köpürtücü olmadan bile ince kabarcıkların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 2.1 b).



Şekil 2.1. MIBC'nin a) damıtılmış su, % 50, % 100 doymuş sudaki (Laskowski ve ark., 2003); b) deniz suyundaki kabarcık boyutu üzerindeki etkisi (Castro ve ark., 2010)

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, damıtılmış su içinde ince köpükler yalnızca bir köpürtücü maddenin varlığında üretilebilir. Ama deniz suyunda gerçekleştirildiğinde aynı işlem, köpürtücüsüz bile ince baloncukların oluşmasına yol açar (Castro ve ark., 2010; Castro ve ark., 2013). Bu sonuçlar, konsantre elektrolit çözeltilerinde bir

köpürtücü kullanmadan, bir flotasyon makinesinde ince kabarcıkların üretilebileceğini kanıtlamaktadır.

Flotasyon işleminde, yüzdürülecek olan mineral parçacıkları toplayıcı ile hidrofobik hale getirilir. İnorganik iyonlar katı yüzeyleri hidrofobik yapamazlar. Klassen, kömür flotasyonu çalışmasında, sadece bitümlü kömürlerin, yüzme eğilimi yüksek olan kömürlerin, 0.5 M NaCl çözeltilerinde iyi yüzdüğünü göstermek için Kharlamov'un verilerini kullanmıştır. Berkeley Üniversitesi'nde (Fuerstenau ve ark., 1983) gerçekleştirilen testlerde, dizi flotasyon deneylerinde çeşitli kömürler kullanılmış ve bu kömür örneklerinin ıslanabilirliği denge nem içeriğinin ölçülmesiyle karakterize edilmiştir. Demineralize edilmiş kömürün maksimum yüzdürme tepkisinin, sıfır yük noktasına yakın gerçekleştiği gösterilmiştir. Fenolik ve karboksilik gruplarının içerikleriyle çeşitli kömürlerin flotasyon tepkisi arasındaki korelasyonun mükemmel olduğu bulunmuştur.

Madencilik endüstrisindeki killi cevherlerin işlenmesindeki zorluklardan dolayı elektrolitlerin kullanımı ile çeşitli flotasyon çalışmaları yapılmıştır.

(Zhao ve Peng, 2014) tarafından yapılan çalışmada, elektrolit çözeltilerindeki kil minerallerinin kalkosit flotasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler sırasında toplayıcı olarak potasyum amil ksantat, köpürtücü olarak ta MIBC kullanılmıştır. Kaolenli kalkosit flotasyon deneyleri sonucunda kaolenin flotasyon verimini önemli ölçüde düşürdüğü, ancak ayrı ayrı NaCl, LiCl, KCl, NaF, NaI gibi elektrolitlerin eklenmesiyle flotasyon veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada bu tuzların kanyonları ($K^+ > Na^+ > Li^+$) ve anyonlarının ($I^- > Cl^- > F^-$) kaolenli kalkosit flotasyonuna olan etkileri incelenmiştir. Kanyonlar arasında en iyi sonuçları K^+ , anyonlar arasında ise I^- verdiği tespit edilmiştir.

Wang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada Avustralya'daki kömür flotasyon tesislerinin karşı karşıya kaldığı tuzlu suyun kullanımı ile killi kömürün işlenmesi gibi iki önemli sorun ele alınmıştır. BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA) ve Xstrata'dan elde edilen iki kömür numunesi, sırasıyla, kaba kömür yüzdürme ve ince kömür yüzdürme işlemini göstermek için test edilmiştir. Deneylerde kaba -710 μm (% 80'i 450 μm) ve ince -150 μm (% 80'i 110 μm) boyutlu kömür kullanılmıştır. Beslenen cevherin kaolen, smektit ve illit gibi yaklaşık %7.4 kil mineralleri içerdiği tespit edilmiştir. Flotasyon tesislerinde karşılaşılan düşük, orta ve yüksek iyonik kuvvetlere ve serbest elektrolitlere sahip tuzlu sular kullanılmıştır. Sonuçlardan suyun iletkenliğinin artmasıyla flotasyon veriminin arttığı tespit edilmiştir. Benzer mineral yapısı ve killerin

mevcut olmasına rağmen, tuzlu su, kaba kömür flotasyonuna göre ince taneli kömür flotasyonu üzerinde daha belirgin bir etki göstermiştir. Tuzlu suyun hem kaba hem ince kömür taneciklerinde köpük stabilitesini arttırmasına rağmen, kömür parçacıklarının birleşmesi sadece ince kömür parçacıkları arasında meydana gelmiştir; bu da, kömür parçacıkları veriminin artmasının yanı sıra ince taneli gang minerallerinin taşınmasına neden olmuştur.

Min ve ark. (2015) tarafından yapılan farklı elektrolit sulu çözeltilerinde ince kil mineral taneciklerinin ıslanabilirliği çalışmasında Na^+ ile Ca^{2+} sulu çözeltilerinde montmorillonit ile kaolen killerinin tabakaları incelenmiştir. Sonuçlar 0.001 mol/L konsantrasyonundaki Na^+ sulu çözeltilerindeki montmorillonit ve kaolen ıslanabilirliğinin Ca^{2+} sulu çözeltilerdekenden daha büyük olduğunu göstermiştir. Montmorillonit ıslanabilirliğinin Na^+ ve Ca^{2+} sulu çözeltilerinde, artan elektrolit konsantrasyonu ile arttığı, daha sonra belirli bir konsantrasyonun üzerindeyken azaldığı; kaolen ıslanabilirliğinin ise, 0.001 m/L 'nin üstünde düştüğü tespit edilmiştir.

Laskowski ve Castro (2015), yüksek konsantrasyona sahip elektrolit çözeltilerindeki flotasyonlarda sadece iyonik gücün değil aynı zamanda kimyasal bileşim, flotasyon pH'ı ve mineral özelliklerinin de önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Hidrofobik bitümlü kömürlerin ve diğer doğal hidrofobik minerallerin yüzdürülebilirliğinde büyük bir gelişme, doğal pH'ta ve herhangi bir flotasyon reaktifi eklenmeden konsantre elektrolit çözeltilerinde gerçekleştirilen "tuz flotasyon işlemi" dir. Fakat hidrolize metalik iyonlara sahip tuzlu sular proses suyu olarak kullanıldığında pH'ın önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir. Deniz suyu ile Cu-Mo sülfid cevherlerinin yüzdürülmesi durumunda, piritin bastırılması için pH yükseltildiğinde, molibdenitin Mg^{2+} hidroliz ürünü ile kuvvetli bir şekilde bastırıldığı görülmüştür. Yüksek oranda Mg^{2+} Ca^{2+} iyonlarını ve deniz suyunu içeren proses sularının yağ asitleri ile endüstriyel minerallerin anyonik flotasyonu üzerinde Ca / Mg tuzlarının çökmesinden dolayı zararlı etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Potas cevherlerinin yüzdürülmesi, uzun zincirli birincil aminlerin kullanılmasıyla NaCl-KCl doymuş tuzlu su (6–7 mol / L NaCl ve KCl) içinde gerçekleştirilir.

Zhang ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, temiz su ve deniz suyunun kullanımıyla bakır ve altın yüzdürme işlemindeki kaolen parçacıklarının mekanik taşınması incelenmiştir. Kaolen ağ yapısının oluşumunu ve bunun kaolen taneciklerinin mekanik taşınmasıyla korelasyonunu incelemek için Cryo-SEM analizleri yapılmıştır. Kil plakalarının pülpte toplanmasından ve köpüğe taşınmasından dolayı temiz sudaki

kaolenin, bakır ve altın flotasyon tenörüne negatif etki ettiği tespit edilmiştir. Deniz suyu altın ve bakırın tenörünü ve mekanik taşımayı arttıran çapraz bağlı ağ yapılarını oluşturarak kaolen plakalarının bağlarını değiştirmiştir. Ek olarak çift tabakanın sıkıştırılması, kil plakaları üzerine katyonların adsorplanması, deniz suyunda ağ yapılarının oluşmasına sebep olabileceği tespit edilmiştir.

Liang ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, kaolenle kömürün flotasyonla ayrımında polialüminyum klorürün etkisi incelenmiştir. Çökeltme deneyleri, pH=5.5 civarında olduğunda, kaolenin çökme hızının en yüksek olduğunu göstermiştir. PAC'nin eklenmesiyle, kaolenin çökme hızının düşük PAC konsantrasyonunda artarken, yüksek PAC konsantrasyonunda azaldığı tespit edilmiştir. Flotasyon sonuçları PAC'ın önemli ölçüde konsantre kül içeriğini azalttığını göstermiştir. Tane boyutu ölçümleri ve agrega görüntüleri, kömürün PAC ile birleşmezken, kaolinitin düşük konsantrasyonlu PAC ile birleştiğini ve yüksek konsantrasyonlu PAC tarafından dağıtıldığını göstermiştir. Zeta potansiyel ölçümleri, PAC'ın düşük konsantrasyonda kaolenin negatif yükünü nötralize ettiğini ve daha sonra yüksek konsantrasyonda kaolenin pozitif yükünü arttırdığını göstermiştir. PAC konsantrasyonu yüksek olduğunda ise elektrostatik çift tabaka itilmesi kaolinit dağılımını tetiklemektedir.

Li ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, sodyum klorürün ince kömür flotasyonuna olan etkisi incelenmiştir. Sonuçlar kömür flotasyonunun sodyum klorürün konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Sodyum klorür konsantrasyonunun artması kül oranının artmasıyla sonuçlanmıştır. Farklı sodyum klorür konsantrasyonlarına sahip bulamaçlarda köpük stabilitesi ve kömürün tane boyutu dağılımı ölçülmüştür. Sonuçlar köpük stabilitesindeki ve tane boyutundaki artışın flotasyondaki kömür verimini olumlu şekilde etkilediğini göstermiştir. Temel mekanizma, saf kömür parçacıkları ve pülp zeta potansiyelini inceleyerek araştırılmıştır. Pülp reolojisi ölçümleri, köpük stabilitesindeki değişikliklerin bulamacın viskozitesindeki değişikliklere bağlı olduğunu ve sonuçta kömür parçacıklarının geri kazanılmasını arttırdığını açıkça göstermiştir. Tane koagülasyonundan dolayı pülpdeki tane boyutunun artış nedeni zeta potansiyelindeki düşüş olmuştur. Tane koagülasyonu ise taneler arası elektrostatik itilmenin azalmasından kaynaklanmıştır.

Zhao ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, elektrokimyasal empedans (özdirenç) spektroskopisi (EIS) yöntemiyle %10 kaolen içerikli cevherin flotasyonundaki kil kaplamaları ve elektrolitlerin kil kaplamalarını azaltma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kalkosit yüzeyinde oluşan kaolen tabakası

oluşumunun kalkositin özdirencini arttırdığı ve dielektrik sabitini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu nedenle, kil kaplı bir mineral yüzeyin özdirencindeki bir azalma, şlamla kaplamanın azaltılmasını yansıtmaktadır. Elde edilen sonuçlardan özdirencin deiyonize suya göre tuzlu suda daha düşük olduğu tespit edilerek, elektrolitlerin şlamla kaplamayı düşürebileceği gösterilmiştir. Kullanılan su ve tuzlar mineral özdirencini en çok düşüren en aza doğru sıralanırsa $KCl > NaCl > LiCl > Deiyonize\ su$ şeklinde gösterilebileceği bildirilmiştir. Zhao ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışma sonuçlarından NaCl'nin deiyonize suya göre daha fazla özdirenci düşürdüğü anlaşılmaktadır.

Chang ve ark. (2018)'nin yaptığı çalışmada tuzlu suyun oksitlenmiş kömür flotasyonuna olan etkisi incelenmiştir. Flotasyon deneylerinde farklı yüzey oksidasyonuna sahip kömür örnekleri ve farklı tuz oranına sahip sular (deiyonize su, orta tuzlu, çok tuzlu) kullanılmıştır. Sonuçlar tuzlu suyun tuz oranının artmasıyla yüzey oksidasyonu kritik değerinin de arttığını göstermiştir. Bu da tuzlu sudaki kömür flotasyonunun yüzey oksidasyonuna müsait olduğunu göstermiştir. Tuzlu suyun flotasyona olan etkileri köpük stabilitesinin ve kömür yüzeyinin özellikleri değiştirilerek incelenmiştir. Bir taraftan flotasyona elverişsiz olarak oksitlenmiş kömürün yüzey hidrofobiklik derecesinin tuzlu suda düştüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan elektriksel çift tabakasının tuzlu sudaki bastırılması nedeniyle tanecikle kabarcık arasındaki elektrostatik etkileşimin düştüğü ve flotasyon veriminin arttığı belirlenmiştir. Buna ek olarak tuzlu suda daha küçük kabarcıkların oluşması ve köpük stabilitesinin artması nedeniyle flotasyon verimini arttırabileceği öne sürülmüştür.

2.3. Bakır Flotasyonu

Bakır insanlık tarihinde kullanılan ilk metallere dendir. Dövülebilir ve şekil verilebilir olmasının yanı sıra aşınmaya dayanıklı oluşu, ısı ve elektriği en iyi ileten ikinci metal olması, kullanımını yaygınlaştırmıştır. Ekonomik gelişmelere bağlı olarak sanayinin temel hammaddeleri arasında önemli metaller arasında yer almaktadır. Toplam bakır minerallerinin sayısı 165'in üzerindedir (Yılmaz, 2018). Doğada farklı konsantrasyonlarda bakır içeren yüzlerce mineral bulunmaktadır. Mineral içerisinde %6'dan fazla bakır bulunursa zengin sayılır. Başlıca bakır mineralleri Çizelge 2.1'de sıralanmıştır.

Çizelge 2.1. Başlıca bakır mineralleri

Mineral	Kimyasal formülü	Bakır içeriği (%)
Kuprit	Cu_2O	88.82
Tenorit	CuO	79.89
Kalkosit	Cu_2S	79.85
Kovellit	CuS	64.46
Bornit	Cu_2FeS_4	63.31
Malahit	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$	57.48
Azurit	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	55.31
Tennantit	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$	47.51
Tetrahedrit	$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$	34.8
Kalkopirit	$CuFeS_2$	34.63

Bakır konsantrlerinin bakır bakımından zenginlikleri, zenginleştirilen mineralin cinsine göre değişir. Kalkosit içeren konsantrelerde tenor % 70 Cu'a kadar, kalkopirit ihtiva eden konsantrelerde % 15-30 Cu civarında mümkün olmaktadır. Zenginleştirme oranı ve randımanı daha ziyade cevherin serbestleşme derecesine bağlıdır. Serbestleşme derecesi çok ince olan cevherlerde ön konsantrelerin veya ara ürünün tekrar öğütülmesi söz konusudur. Bakır mineralleri için önemli cevher hazırlama yöntemlerinden birisi flotasyondur. Bu yöntem genelde düşük tenörlü ve kompleks cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Bakır sülfürlerinin flotasyonu genelde kolay ve ucuzdur. Sülfürlü bakır mineralleri kolay yüzerler. Hem sülfürlü hem de oksitli bakır mineralleri içeren cevherlerde zenginleştirme yönteminin seçimi bunlardan hangisinin daha çok olduğuna göre değişir. Sülfürlü mineraller daha fazla ise flotasyon tercih edilir. Bu takdirde öncelikle sülfürlü mineraller flote edilirler. Sonra ya toplayıcı reaktifler veya yağ asitleri kullanılarak oksitli mineraller sülfitleştirilirler ve flote edilirler. Oksitli minerallerin flotasyonunda randıman daima sülfürlü minerallere kıyasla düşüktür. Bu sebeple daima sülfürlü cevherler tercih edilirler. Cevher içerisinde sülfürlü ve oksitli mineraller yaklaşık aynı miktarlarda olursa, önce sülfürlü minerallerin flotasyonu, sonra oksitli minerallerin liç yöntemiyle kazanılması tercih edilebilir.

Flotasyon sırasında sık görülen problemlerden birisi piritin bastırılmasıdır. Piriti bastırma amaçlı ortam pH'ı kireçle 10-12'ye kadar yükseltip, bakır mineralleri ksantat ve ditiofosfat tipi toplayıcılarla yüzdürülebilmektedir (Ünal ve ark., 2016).

Pirit dışında karşılaşılan başka bir problem de cevher içerisinde killerin bulunmasıdır. Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesi, zayıf flotasyon performansı nedeniyle madencilik endüstrisi için önemli bir zorluk haline gelmiştir. Düşük tenörlü konsantreler de birim izabe maliyetinin yüksek olması nedeniyle ekonomik çekiciliğini kaybetmektedir. Cevher tenörünün aşırı düşmesi, flotasyon işleminin de ekonomikliğini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, endüstride çok yüksek saflıkta metalik bakıra ihtiyaç duyulması ve pirometalurjik prosesler ile yüksek kalitede bakır üretiminin ek saflaştırma işlemleri gerektirmesi, maliyetlerde önemli artışların meydana gelmesine neden olmaktadır (Türkmen, 2011).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Cevherin özellikleri

Deneysel çalışmalarda, kil kaynaklı problem mevcut olduğu belirlenen Siirt-Madenköy bölgesinde Park Elektrik Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen Cu zenginleştirme tesisi numunesi kullanılmıştır. Tesiste kil probleminin çözümü için sodyum silikat kullanılmakta ve kil içeriğinin artmasıyla birlikte sodyum silikat kullanımı da artmaktadır. Tesisten elle toplama yöntemiyle seçilen nisbeten yüksek tenörlü parça numune, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiş, daha sonra çeneli kırıcı ve değirmen ile boyut küçültme işlemlerine tabi tutularak flotasyon deneyleri için hazırlanmıştır. Cevherin Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile belirlenen D_{80} tane boyutu $80 \mu\text{m}$ 'dir. Tüvenan cevher içerisindeki Cu içeriği %2.63 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1). XRD analizi ile bakır cevherinin ana mineraller olarak kalkopirit, pirit, manyetit, kaolinit, illit ve klorit içerdiği tespit edilmiştir (Taner ve Önen, 2016).

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

Yapay cevher karışımlarının oluşturulmasında, düşük şişme potansiyeline sahip iki tabakalı bir kil minerali olan kaolen ile yüksek şişme potansiyeline sahip üç tabakalı bir kil minerali olan montmorillonit kullanılmıştır (Çizelge 3.2). Kaolen, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. A.Ş.'den, montmorillonit Karakaya Bentonit Sanayi Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. D₈₀ tane boyutu; kaolen için 28 µm, montmorillonit için 60 µm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Kil Minerallerine ait ICP analiz sonuçları

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

3.1.2. Çeşme suyunun analizi

Tuzların kalkopirit flotasyonuna etkilerinin belirlendiği deneysel çalışmalar sırasında distile su kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar musluk suyuyla gerçekleştirilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. İletkenlik değeri 293 µS/cm ve doğal pH değeri 7.5 olan musluk suyunun ICP ile analiz edilen kimyasal içeriği Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çeşme suyunun kimyasal içeriği (mg/L)

B	Ca	Fe	Mg	Mn	Na	Zn
0.06	57.24	0.005	8.92	0.0004	2.90	0.08

3.1.3. Deniz suyunun analizi

Temiz su kullanımının azalması için neredeyse bütün cevher hazırlama tesislerinde proses suyunun tekrar kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca kıyısal bölgelerde, flotasyon sırasında temiz suya oranla değerli mineral verimini artıran deniz suyunun kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar deniz suyu ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sırasında kullanılan deniz suyu Ölüdeniz Fethiye/Muğla'dan temin edilmiştir. Deniz suyunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Deniz suyunun kimyasal içeriği (mg/L)

B	Ca	K	Mg	P	Na	Zn
3.10	269.38	412.73	57.23	0.059	112.87	0.007

3.1.4. Kullanılan kimyasallar

Flotasyon deneyleri sırasında toplayıcı olarak Aerophine 3418A (Sodyum izobutil ditiyofosfat), köpürtücü olarak MIBC (metil izobutil karbinol) kullanılmıştır. İnorganik tuz olarak ise sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür ($MgCl_2$), potasyum klorür (KCl), alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$); pH ayarlayıcı olarak kireç kullanılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Deney sırasında kullanılan kimyasalların özellikleri

Özellikler	3418 A	MIBC
Molekül Formülü	C ₈ H ₁₈ PS ₂ .Na	C ₆ H ₁₄ O
Kimyasal Grubu	Ditiyofosfonat	Alkol
Safılık	%50 Su karışımı	>%98
Yoğunluk (g/cm³)	1.06	0.81
Molekül Ağırlığı (g/mol)	232	102.18
Viskozite (cP)	-	5.2
Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	-	23

3.2. Yöntem

3.2.1. Flotasyon deneyleri

Flotasyon deneyleri, laboratuvar tipi (Denver Tipi) flotasyon hücresinde, 2 cm köpük derinliği, %10 katı oranı ve 1350 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Toplayıcı ve köpürtücü olarak Aerophine 3418A (50 g / t) ve MIBC (80 g/t) kullanılmıştır. Süspansiyon, tuzlu suya cevher eklenerek hazırlanmıştır. İlk olarak, mineral süspansiyon pH'ı 11,5'a ayarlanıp 5 dakika kondisyonlanmıştır. Daha sonra sırasıyla toplayıcı ve köpürtücü eklenmiştir. Kondisyonlama süresi toplayıcı için 3 dk, köpürtücü için ise 1 dk'dır. Son olarak sisteme hava verilerek 3 dakika boyunca köpük alınmıştır. Elde edilen konsantreler süzülüp 105 ° C'de 12 saat etüvde kurutulmuştur. Cu ve Fe ölçümlerinde SensAA Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılmıştır (Şekil 3.2). Çalışılan deneysel parametreler Şekil 3.3' te gösterilmiştir.

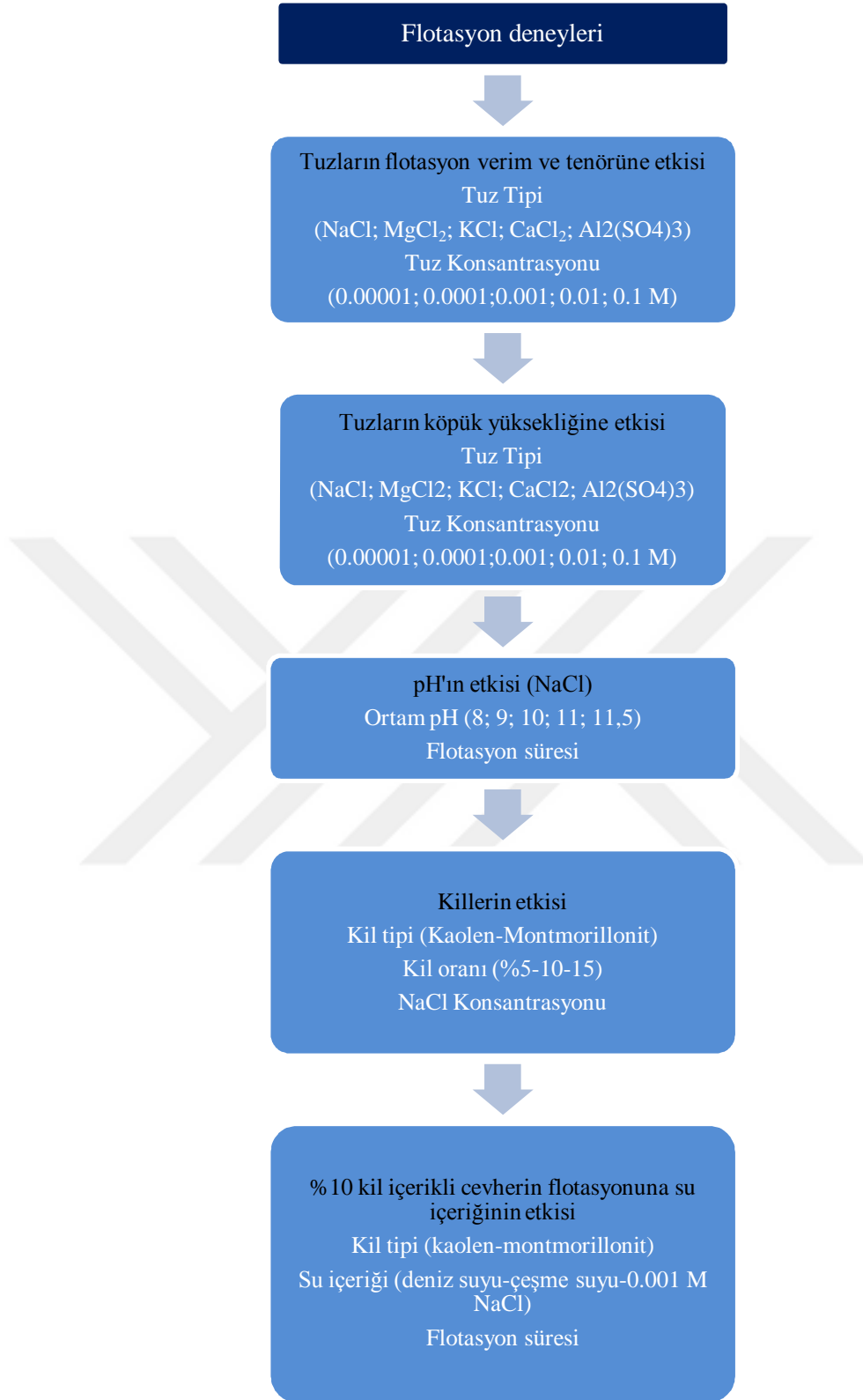
Tuz tipi ve konsantrasyonu, ortam pH'ı, flotasyon süresi, kil tipi ve oranı çalışılan deneysel parametrelerdir. pH kontrolünde inolab wtw serisi dijital pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Denver Tipi flotasyon makinası



Şekil 3.2. SensAA atomik absorpsiyon spektrometresi



Şekil 3.3. Flotasyon deneylerinin akım şeması ve çalışılan parametreler

3.2.2. Köpük yüksekliğini belirleme deneyleri

Köpük yüksekliği deneyleri klasik flotasyon deneylerinin gerçekleştirildiği deney düzeneğinde taşmayan köpük kolonu kullanılarak ve aynı deneysel koşullarda yapılmıştır. Sisteme hava verildikten sonra 3 dk boyunca köpük yüksekliği gözlemlenerek belirlenen maksimum köpük yüksekliği kaydedilmiştir (Şekil 3.4). Bu aşamada çalışılan deneysel parametreler tuz tipi ve konsantrasyonudur.

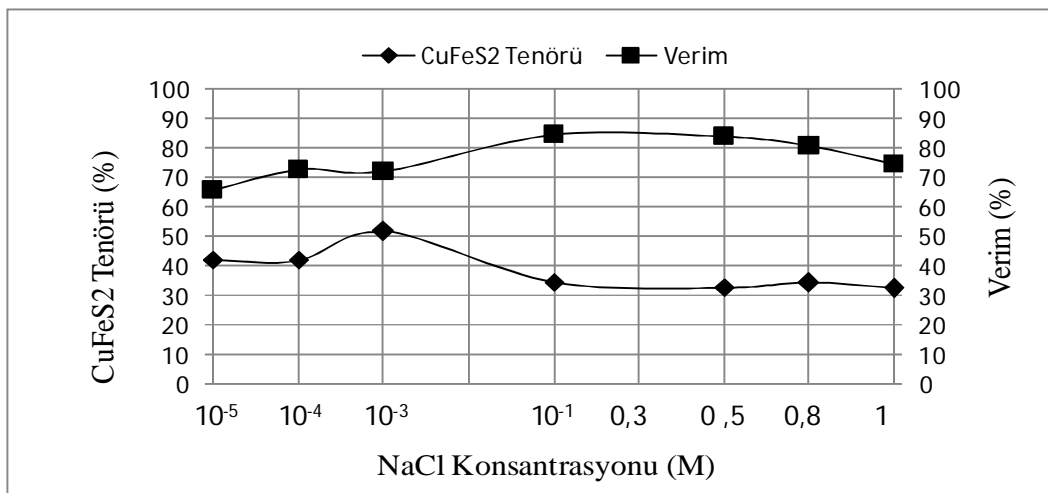


Şekil 3.4. Köpük yüksekliğinin ölçümü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

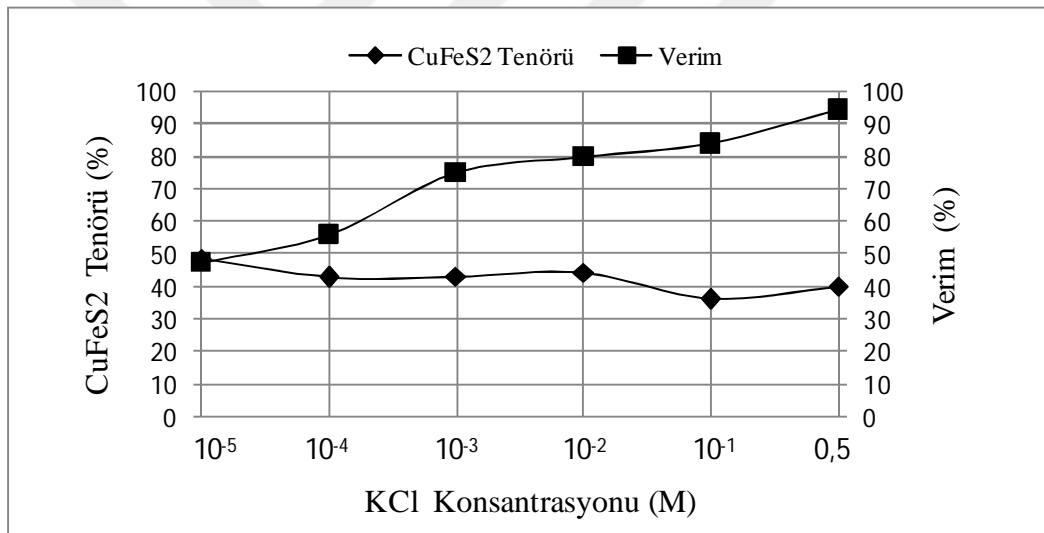
4.1. Tuzların Kalkopirit Flotasyonuna Etkisi

Flotasyon deneyleri beş farklı elektrolitle gerçekleştirilmiştir. NaCl ilavesiyle yapılan deney sonuçları incelendiğinde tuz konsantrasyonunun artmasıyla tenör 0.001 M 'ye kadar artmakta, 0.001 M'den sonra ise düşmektedir. Verimde ise 0.1 M'de max değere ulaşırken daha sonra düşüş gözlemlenmiştir. Optimum tenör (%51.89 CuFeS₂) ve verim (% 72.40) değerleri 0.001 M NaCl konsantrasyonunda elde edilmiştir (Şekil 4.1). Castro ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada MIBC ve DF250 ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde NaCl'nin kabarcıkların birleşmesi üzerindeki etkisi incelenmiş ve inorganik tuzların kabarcık birleşmesini önlediği belirlenmiştir. Her tuz için kritik bir konsantrasyon değeri vardır, onun üstünde tuz köpük giderici görevi görmektedir. Köpük kararsızlığının seviyesi, tuzun tipine bağlıdır (Sett ve ark., 2015). Li ve Somasundaran (1992), bitümlü kömürün flotasyon kimyasalları kullanılmadan düşük NaCl tuzu konsantrasyonlarında (< 0.1 M) tuz konsantrasyondaki artış ile yüzebilirliğin azaldığını, yüksek tuz konsantrasyonlarında (> 0.1 M) ise tuz konsantrasyondaki artış ile yüzebilirliğin arttığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, 0.1 M NaCl konsantrasyonu üzerinde, < 0.1 M NaCl konsantrasyonlarına göre verimin arttığı ancak tenörün düşme eğilimine girdiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde, düşük tuz konsantrasyonu tenör açısından daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.1. NaCl konsantrasyonunun kalkopirit flotasyonuna etkisi

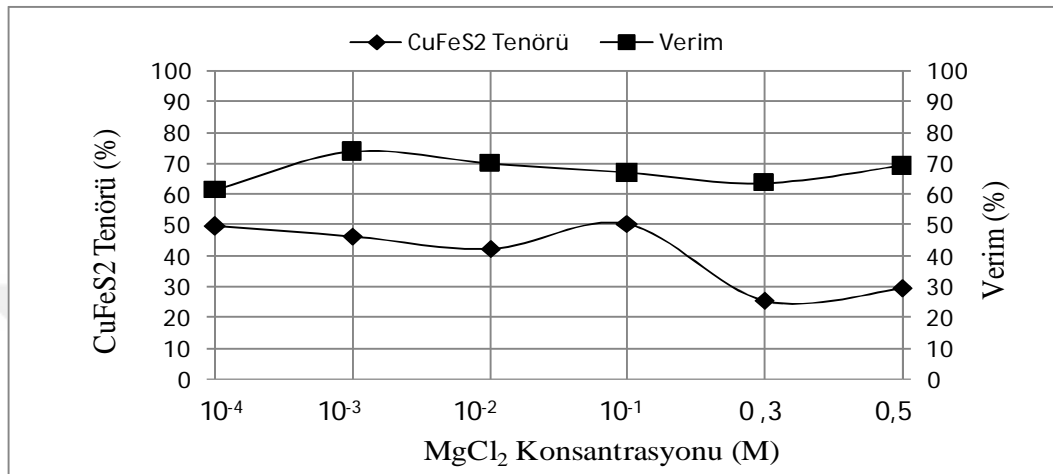
KCl ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde ilave edilen tuz konsantrasyonunun artmasıyla verim de yükselmiş, 0.00001 M'de % 50 civarındayken 0.5 M'de % 94 'e kadar ulaşmıştır. CuFeS₂ tenörü ise ters sonuç vermiş olup 0.00001 M konsantrasyonunda % 49 tenörle başlayıp tuzluluk derecesinin artmasıyla bu değer 0,1 M KCl konsantrasyonun da % 36.32 ye kadar düşmüştür. KCl kullanımıyla yapılan flotasyon neticesinde optimum tenör-verim sonuçları 0.01 M konsantrasyonunda sırasıyla % 44.35 CuFeS₂ ve % 80.12 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2). Laskowski ve ark. (1992), KCl çözeltilerinde kuvars parçacıkları ile daha yüksek tuz konsantrasyonlarının, parçacık-kabarcık bağı elde etmek için aşılması gereken enerji bariyerini azaltma eğiliminde olduğunu ve dolayısıyla daha hızlı flotasyon kinetiğine yol açtığını göstermiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada da tuz konsantrasyonunun artmasıyla flotasyon veriminde artış gözlenmektedir.



Şekil 4.2. KCl konsantrasyonunun kalkopirit flotasyonuna etkisi

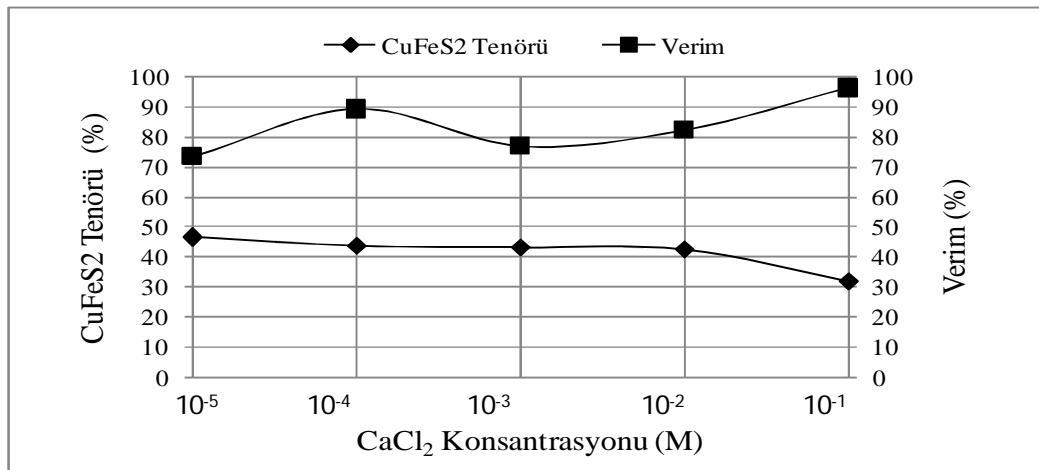
Şekil 4.3 'te MgCl₂ kullanımıyla yapılan flotasyon sonuçları verilmektedir. Sonuçlara göre 0.001 M MgCl₂ konsantrasyonuna kadar verimde artış (% 73), artan konsantrasyon değerlerinde ise bir miktar düşüş gözlemlenmektedir. Tenörde ise yüksek tuz konsantrasyonlarında düşüş söz konusudur. 0.0001 M MgCl₂ konsantrasyonunda %50 tenör elde edilirken 0.01 M MgCl₂' ye kadar hafif düşüş sergilemiştir. Daha sonra konsantrasyonun 0.1 M'ye kadar artmasıyla tenör değerlerinde de %50 ye kadar artış gözlemlenmiştir. En iyi sonuca 0.1 M MgCl₂'de %50.59 tenör, %66.82 verimle ulaşılmıştır. Hirajima ve ark. (2016), deniz suyunda bulunan Mg iyonlarının kalkopirit ve molibdenit flotasyonundaki etkisini araştırmışlardır. MgCl₂'nin, pH>9 ortamlarında

ve 0.001 M'den yüksek konsantrasyonlarda kalkopirit yüzebilirliğini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin $Mg(OH)_2$ çökeltilerinin mineral yüzeyindeki adsorpsiyonundan kaynaklandığı dinamik kuvvet mikroskobu ölçümleriyle kanıtlanmıştır. $MgCl_2$ 'ün kalkopirit yüzebilirliği üzerindeki benzer etkileri Nagaraj ve Farinato (2014) tarafından da bildirilmiştir.



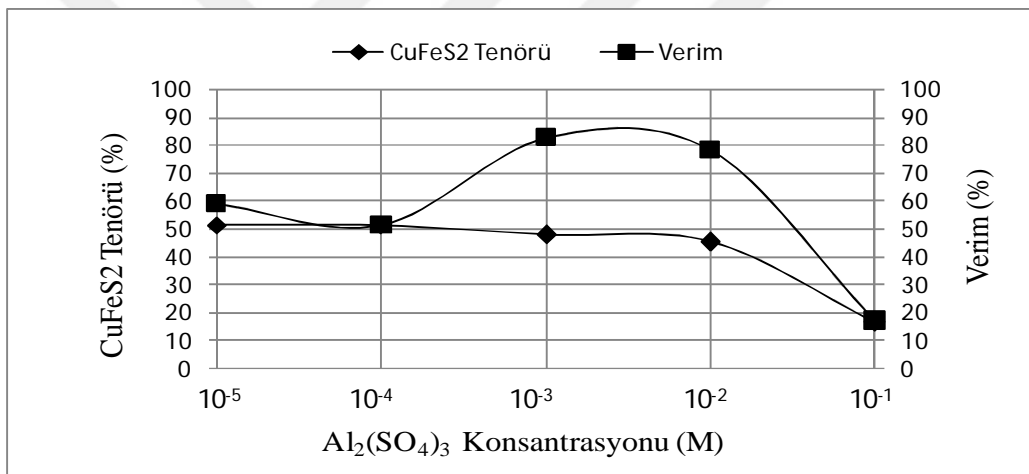
Şekil 4.3. $MgCl_2$ konsantrasyonunun kalkopirit flotasyonuna etkisi

$CaCl_2$ ile yapılan flotasyon deneylerinde de yüksek tuz konsantrasyonu verimde artış sağlarken tenörü düşürmüştür. 0.00001 M $CaCl_2$ konsantrasyonunda %73.37 verim elde edilirken 0.1 M $CaCl_2$ konsantrasyonunda %96.11 verim elde edilmiştir. Tenör değerleri ise 0.00001 M'de %46.49 $CuFeS_2$ iken 0.1 M'de %32.12 $CuFeS_2$ 'e kadar düşmüştür (Şekil 4.4). Nagaraj ve Farinato (2014) tarafından yapılan bir çalışmada $CaCl_2$ çözeltilerinde, konsantrasyonun artmasının hem hidrofobikliği hem de kalkopirit ve molibdenit yüzey yükünü azalttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.4. $CaCl_2$ konsantrasyonunun kalkopirit flotasyonuna etkisi

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla CuFeS_2 tenörü özellikle 0.01 M'in üzerinde önemli ölçüde azalmıştır. 0.00001 M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonunda %51.42 CuFeS_2 tenörlü konsantre elde edilirken 0.1 M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonunda % 16.31 CuFeS_2 içeren konsantre elde edilmiştir. Verim açısından incelendiğinde ise, 0.00001-0.0001 M' gibi düşük konsantrasyonlarda verim % 51-58' lerdeyken; 0.001-0.01 M konsantrasyonlarında aniden % 82-72 lere kadar artmış, 0.1 M'de ise aniden % 16.98'e kadar düşmüştür. Diğer elektrolitlerden farklı olarak gözlenen bu konsantrasyona bağlı belirgin değişimler $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'ün diğer elektrolitlere göre daha yüksek değeriğe sahip olmasıyla ve bu nedenle adsorpsiyon yoğunluğunun fazla olmasıyla ilişkilendirilebilir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ile gerçekleştirilen deneylerde, optimum tenör (%47.63 CuFeS_2) ve verim (%82.50) değerleri 0.001 M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonun da elde edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonunun kalkopirit flotasyonuna etkisi

Şekil 4.6'da sunulan tüm tuzların kullanımıyla yapılan flotasyon sonuçları incelendiğinde, konsantrasyonun artmasıyla CuFeS_2 tenör sonuçlarının genel olarak düştüğü görülebilir. Örneğin 0.00001 M NaCl konsantrasyonunda elde edilen konsantre tenörü %42.20 CuFeS_2 iken, tuz konsantrasyonunun 1 M'ye kadar artmasıyla tenör %32.57 CuFeS_2 'ye kadar düşmüştür. MgCl_2 kullanımıyla yapılan deneylerde 0.0001 M MgCl_2 konsantrasyonunda, elde edilen konsantre tenörü %49.66 CuFeS_2 'iken 0.5 M MgCl_2 konsantrasyonunda %29.66 CuFeS_2 olarak bulunmuştur. 0.00001 M CaCl_2 konsantrasyonunda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen konsantre tenörü %46.49 CuFeS_2 iken 0.1 M CaCl_2 konsantrasyonunda %32.12 CuFeS_2 'e kadar düşmüştür.

0.00001 M KCl konsantrasyonunda ise %49 CuFeS₂ olan konsantre tenörü konsantrasyonun 0.5 M'ye kadar artmasıyla %40'a düşmüştür. 0.00001 M konsantrasyonunda Al₂(SO₄)₃ kullanımıyla yapılan deneylerde CuFeS₂ tenörü %51.42'deyken konsantrasyonun 0.1 M'ye kadar artmasıyla %16.31'e kadar düşmüştür. CuFeS₂ verim sonuçlarından ise konsantrasyonun artmasıyla farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sadece KCl kullanımıyla yapılan deneylerde konsantrasyonun artmasıyla CuFeS₂ verim sonuçlarında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. 0.00001 M KCl konsantrasyonunda verim değeri %47.52'iken, 0.5 M KCl konsantrasyonunda %94.48'e ulaşmıştır.

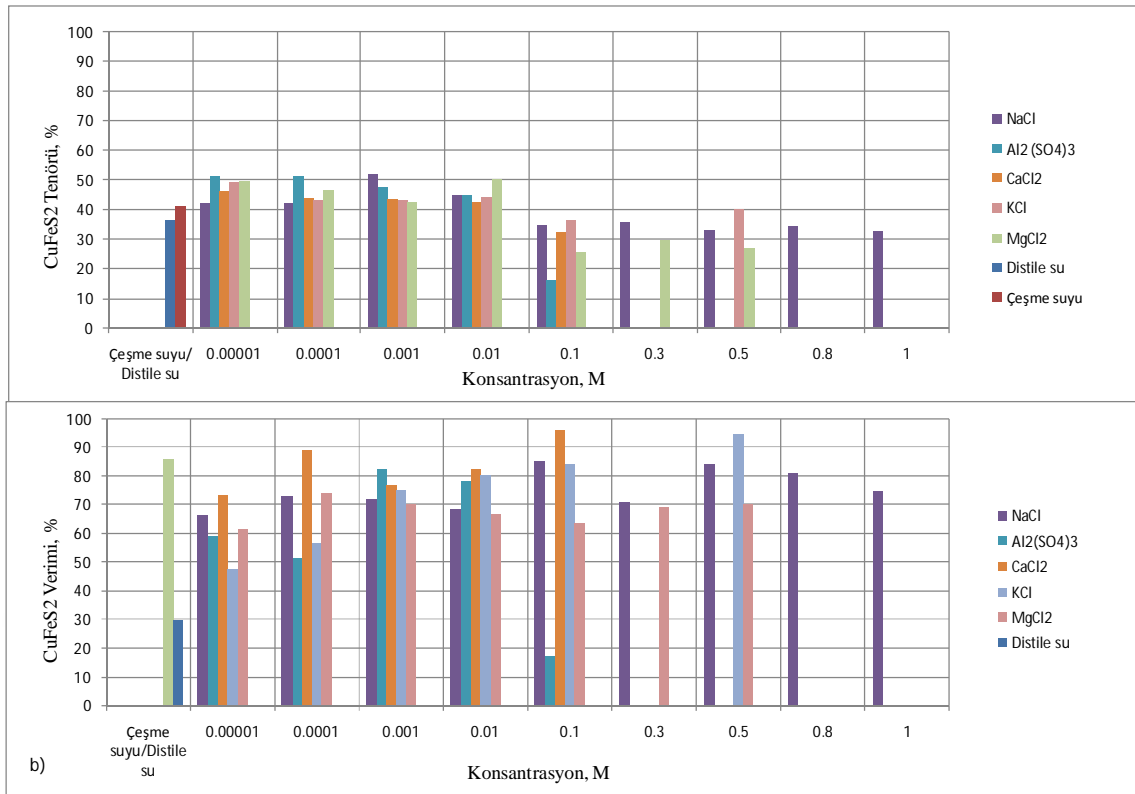
Tüm tuzlarla gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen ortak bulgu, yüksek tuz konsantrasyonlarındaki konsantre tenörlerinde düşüş gözlemlenmesidir. Weissenborn ve Pugh (1996), bazı tuz konsantrasyonlarının artmasıyla oksijen çözünürlüğünün azaldığını belirlemiş ve tuz konsantrasyonunun düşmesiyle oksijen çözünürlüğü artan tuz çözeltilerini NaCl>MgCl₂>CaCl₂ şeklinde sıralamışlardır. Ksantatların sülfürlü mineral yüzeyi ile reaksiyona girebilmesi için mineral yüzeyinin su içinde bulunan oksijen ile belirli ölçüde oksitlenmesi gerektiği bilinmektedir. Oksijen sülfürlü minerallerin flotasyonunda mineral yüzeyine toplayıcı adsorpsiyonu için kritik rol oynamaktadır. Kuopanportti ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, çözülmüş oksijen miktarının artmasıyla pirit ve kalkopirit üzerindeki toplayıcı adsorpsiyon hızının arttığını göstermişlerdir. Yüksek tuz konsantrasyonlarında konsantre tenörlerindeki düşüşe karşılık elde edilen yüksek verim değerleri ise katyonların silikat mineralleri üzerindeki canlandırma etkisi ile ilişkilendirilebilir. Bu aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kullanılan kalkopirit numunesi yüksek tenör içerikli olacak şekilde stok sahasından parça cevherler halinde toplanarak kullanılmış olsa da kaolen ve illit gibi kil minerallerini de içerdiği yapılan XRD analizleri sonucunda belirlenmiştir. Bu nedenle cevher içerisinde mevcut olan bu kil minerallerinin artan tuz konsantrasyonu ile yüzey şarjının pozitif hale gelmesinden dolayı toplayıcı adsorpsiyonu sonucu yüzdürülmüş olabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak tenör değerlerindeki düşüş, sülfürlü yüzeylere oksijen yetersizliği nedeniyle toplayıcı adsorpsiyonunun azalmasının yanı sıra tuzların kil mineralleri üzerindeki canlandırma etkisi sonucunda konsantreye alınmasına bağlanabilir.

Laskowski ve Castro (2015) tarafından yapılan çalışmada, yüksek konsantrasyona sahip elektrolit çözeltilerindeki flotasyonlarda sadece iyonik gücün değil aynı zamanda kimyasal bileşim, flotasyon pH'ı ve mineral özelliklerinin de önemli

olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak bir iyileşme veya bastırma gözlemlenebileceği öne sürülmüştür. Ayrıca hidrolize olan metalik iyonlara sahip tuzlu sular proses suyu olarak kullanıldığında pH'ın önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Deniz suyundaki Cu-Mo içeren sülfid cevherlerinin flotasyonunda, piritin bastırılması için pH'ın arttırılmasıyla, molibdenit Mg^{2+} hidroliz ürünleriyle kuvvetli bir şekilde bastırılmaktadır. Yüksek oranda Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarını içeren ve deniz suyunu içeren proses suları Ca / Mg tuzlarının çökmesinden dolayı yağ asitleri ile endüstriyel minerallerin anyonik flotasyonu üzerinde zararlı etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Laskowski ve Castro (2015) tarafından yapılan potas cevherindeki silvitin (KCl) halitten (NaCl) flotasyonla ayrılması çalışması, uzun zincirli birincil aminlerin kullanılmasıyla NaCl-KCl içeren doymuş tuzlu sulara (6–7 mol / L NaCl ve KCl) gerçekleştirilmiştir. Böyle yüksek bir elektrolit konsantrasyonu, Krafft amin noktasını değiştirerek toplayıcıyı tuzlu suda çözünmez hale getirmekte ve Krafft amin noktasının etkileme şekli, geleneksel flotasyona göre tamamen farklı olmaktadır.

Bir toplayıcı molekülü ile çözelti içindeki bir inorganik iyon arasındaki muhtemel etkileşimlerden biri de çökeltme reaksiyonudur. Çökeltme reaksiyonu yani pülpdeki bir toplayıcı ile bir iyon arasında çözünmeyen bir kompleks oluşumu, adsorpsiyon için mevcut olan toplayıcı miktarını azaltır ve böylece hedef mineralin hidrofobikliğinde bir azalmaya yol açabilir (Fuerstenau ve Han, 2003). Örneğin, Yousef ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, deniz suyu katyon ve anyonlarının flotasyondaki önemi incelenmiş ve apatitin oleat ile deniz suyunda yüzme özelliklerinin, sırasıyla kalsiyum ve magnezyum dioleatın yoğun çökeltmesinden dolayı Ca^{2+} varlığından kuvvetle etkilendiği, dolayısıyla düşük flotasyon sonuçlarının elde edilmesine neden olduğu bildirilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı tip elektrolitlerin kullanımıyla yapılan kalkopirit flotasyonu a) tenör, b) verim sonuçları

Çizelge 4.1'de tüm elektrolitler için elde edilen optimum sonuçlar gösterilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması neticesinde, en yüksek CuFeS₂ tenörlü konsantre sırasıyla %50.59 ve % 51.89 olarak, Mg ve Na tuzlarının kullanımıyla yapılan deneylerde elde edilmiştir. Fakat MgCl₂'ün verimi NaCl'e göre daha düşük bulunmuştur. CaCl₂, KCl, Al₂(SO₄)₃ ile ulaşılan flotasyon verimleri diğerlerine göre daha yüksek olmakla birlikte, konsantre tenörleri daha düşüktür. Al₂(SO₄)₃ ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde %47.63 CuFeS₂ tenör ve %82.50 verimle elde edilen sonuçlar NaCl'ye yakın ve hatta veriminin daha yüksek olmasına rağmen, NaCl'ün tuzlu sularda bulunmasından dolayı bu aşamadan sonra gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda NaCl kullanılmıştır. Al₂(SO₄)₃ tuzlu sularda bulunmamasıyla birlikte cevher hazırlama tesislerinde tesis içinden geri dönen sularda bulunabilmesi açısından önemlidir.

Çizelge 4.1. Kullanılan elektrolitlerin en iyi sonuçlarının karşılaştırılması

Elektrolit	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	Al ₂ (SO ₄) ₃
Opt. Konsantrasyon	0.001 M	0.01 M	0.1 M	0.0001 M	0.001 M
Tenör	%51.89	%44.35	%50.59	%43.29	%47.63
Verim	%72.40	%80.12	%66.82	%77.06	%82.50

Çizelge 4.2'de farklı elektrolitlerin kullanımıyla yapılan flotasyon deneyleri sırasındaki pülpün başlangıç pH değerleri verilmektedir. Başlangıç pH değerleri belirgin farklılıklar göstermemektedir. Bu değer pH ayarlamak amacıyla kullanılan kireç miktarı açısından önem taşımaktadır.

Çizelge 4.2. Farklı elektrolitlerle hazırlanan pülpün başlangıç pH değerleri

Konsantrasyon	NaCl	MgCl ₂	CaCl ₂	KCl	Al ₂ (SO ₄) ₃
0.00001	4.37	4.30	4.19	4.42	4.27
0.0001	4.37	4.30	4.19	4.41	4.25
0.001	3.90	4.43	4.11	4.15	4.20
0.01	3.97	4.37	4.21	4.17	3.85
0.1	3.90	3.84	4.09	4.27	3.07
0.3	4.15	3.99			
0.5	4.70	3.84			
0.8	4.07				
1	4.10				

4.1.1. Tuzların köpük yüksekliğine etkisi

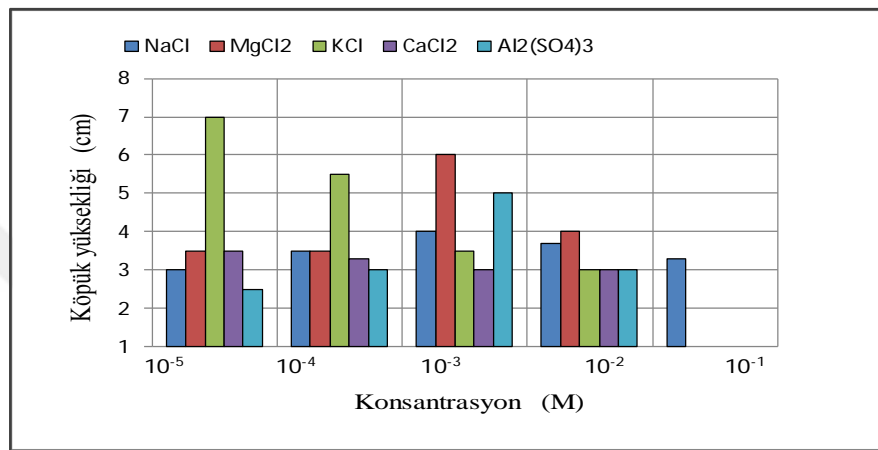
Flotasyon verimi kabarcıkların stabilitesine bağlıdır. Flotasyonda kabarcıklar yüksek derecede hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvvetleri zayıftır ve bu yüzden birleşmektedirler. Tuzlu sular içerisinde kabarcık birleşimi tuz varlığı nedeniyle engellenir. Bu nedenle tuzlu su ortamında yüksek sayıda ince boyutlu kabarcıkların üretilmesi böylece iyi bir köpük stabilitesi ve köpük yüksekliği elde etmek mümkün olabilmektedir (İşlek, 2018).

Bu bölümde farklı tuzların kalkopirit flotasyonunda köpük fazına olan etkisini karşılaştırmak amacıyla flotasyon deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3'te elde edilen sonuçlar görülmektedir. Tez çalışması kapsamında NaCl, MgCl₂, Al₂(SO₄)₃'ün kullanımıyla yapılan köpük yüksekliği deneylerinde tuz konsantrasyonlarının 0,001 M'ye kadar artmasıyla köpük yüksekliğinde de artış, 0.001 M'den sonra ise düşüş gözlemlenmiştir. KCl ve CaCl₂ kullanımıyla yapılan deneylerde ise 0.00001 M'de köpük yüksekliği değerleri yüksek çıkmıştır. Köpük yüksekliğinin flotasyon performansında önemli parametre olduğu bilinmektedir. Köpük yüksekliği gereğinden az olursa kazanım oranı yüksek ama tenörü düşük bir konsantre elde edilirken, köpük

derinliğinin fazla olması halinde yüksek tenörlü konsantre elde edilmekte ancak verim azalmaktadır. Ayrıca-sığ köpük fazlarında 10 mikrometreden daha küçük hidrofilik mineral tanelerinin konsantre içerisine sürüklenmesi de söz konusu olur (Çınar, 2006). Tüm tuzların kullanımıyla yapılan köpük yüksekliği deney sonuçları tenör verim sonuçlarıyla ilişkilendirildiğinde köpük yüksekliğinin artışıyla neredeyse en iyi tenör verim değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Örneğin NaCl ile yapılan flotasyonda 0.00001 M konsantrasyonundaki CuFeS_2 tenör değeri %42.20'iken konsantrasyonun 0.001 M'ye kadar artmasıyla %51.89'a kadar artmıştır. 0.001 M ile 1 M konsantrasyonları arasında ise sürekli bir düşüş sergileyerek %32.57 ile sonuçlanmıştır. Çizelge 4.3'te verilen NaCl sonuçlarından da 0.001 M konsantrasyonuna kadar köpük yüksekliğinin 4 cm'ye kadar arttığı, konsantrasyonun artmasıyla ise 3.3 cm'ye kadar düştüğü görülmektedir. Böylece köpük yüksekliği ile tenör sonuçları karşılaştırıldığında her ikisinin de NaCl ortamında doğru orantılı olarak hareket ettiği farkedilebilmektedir. MgCl_2 kullanımıyla yapılan deneylerde ise köpük yüksekliği sonuçları verim sonuçlarıyla doğru orantılı hareket etmiştir. 0.001 M konsantrasyonuna kadar CuFeS_2 verimi %73.81'e kadar artmışken, köpük yüksekliğinde de aynı şekilde 6 cm'ye kadar artış gözlemlenmiştir. Konsantrasyonun artmasıyla ise verim %70'e, köpük yüksekliği de 4 cm'ye kadar düşmüştür. NaCl sonuçlarına benzer olarak KCl köpük yüksekliği sonuçları ile KCl CuFeS_2 tenör sonuçları arasında doğru orantılı bir hareket tespit edilmiştir. Köpük yüksekliği sonuçları konsantrasyonun artmasıyla sürekli bir düşüş sergileyerek 0.00001 M konsantrasyonunda 7 cm'iken 0.01 M konsantrasyonunda 3 cm'ye kadar düşmüştür. KCl kullanımıyla yapılan deneylerin tenör sonuçları da aynı şekilde 0.00001 M konsantrasyonunda %49'iken 0.01 M konsantrasyonunda %44.35'e kadar düşmüştür. Verim sonuçları ise buna ters orantılı olarak sürekli artmıştır. CaCl_2 kullanımıyla yapılan deneylerde konsantrasyonun artmasıyla CuFeS_2 tenörü %46.49'dan %32.12'ye düşmüştür. Köpük yüksekliği sonuçlarından da konsantrasyonun artmasıyla köpük yüksekliği değerleri 3,5 cm'den 3 cm'ye kadar düşmüştür. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ tenör - verim sonuçları ile köpük yüksekliği sonuçları arasında herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.3. Tuz tipi / konsantrasyonuna bağlı olarak köpük yüksekliğinin değişimi

Molarite	Köpük yüksekliği				
	NaCl	MgCl ₂	KCl	CaCl ₂	Al ₂ (SO ₄) ₃
0.00001 M	3 cm	3.5 cm	7 cm	3.5 cm	2.5 cm
0.0001 M	3.5 cm	3.5 cm	5.5 cm	3.3 cm	3 cm
0.001 M	4 cm	6 cm	3.5 cm	3 cm	5 cm
0.01 M	3.7 cm	4 cm	3 cm	3 cm	3 cm
0.1 M	3.3 cm				

**Şekil 4.7.** Farklı tip/konsantrasyondaki elektrolitlerin kullanımıyla yapılan köpük yüksekliği deneylerinin sonuçları**Çizelge 4.4.** 0,001 M NaCl kullanımıyla farklı kil tipi/miktarına bağlı olarak köpük yüksekliğinin değişimi

Kil Tipi	% Kil	Köpük Yüksekliği
Kaolen	0	4 cm
	5	3.5 cm
	10	3.6 cm
	15	3.5 cm
Montmorillonit	5	3.5 cm
	10	3.5 cm
	15	3 cm

Çizelge 4.4'te 0.001 M NaCl kullanımıyla kilsiz, %5, %10, %15 oranlardaki farklı kil içerikli cevherin köpük yüksekliğine olan etkileri sunulmuştur. Sonuçlardan da görüldüğü üzere kilsiz cevherle gerçekleştirilen deneylerde köpük yüksekliği 4 cm'iken, farklı kil oranlarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen köpük yükseklikleri 3.5 ile 3.6 cm arasında değişmektedir. Yalnız %15 montmorillonit ilavesiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmada fark gözlemlenmiştir. %15 oranındaki montmorillonit köpük yüksekliğini 3.5 cm'den 3 cm'ye kadar düşürmüştür, aynı orandaki kaolen ölçüm

sonuçlarını etkilememiş köpük yüksekliği 3.5 cm olarak belirlenmiştir. Bu durum yüksek şişme potansiyeline sahip olan bentonitin pülp vizkozitesini etkileyerek engelli flotasyon koşullarının oluşmasına ve hava kabarcığının selül içerisinde dağılımının azalmasına bağlanabilir. Köpük yüksekliğinin azalması mekanik taşımının artmasından dolayı konsantre tenöründe düşüşe neden olması açısından önemlidir.

4.2. pH'ın Kalkopirit Flotasyonuna Etkisi

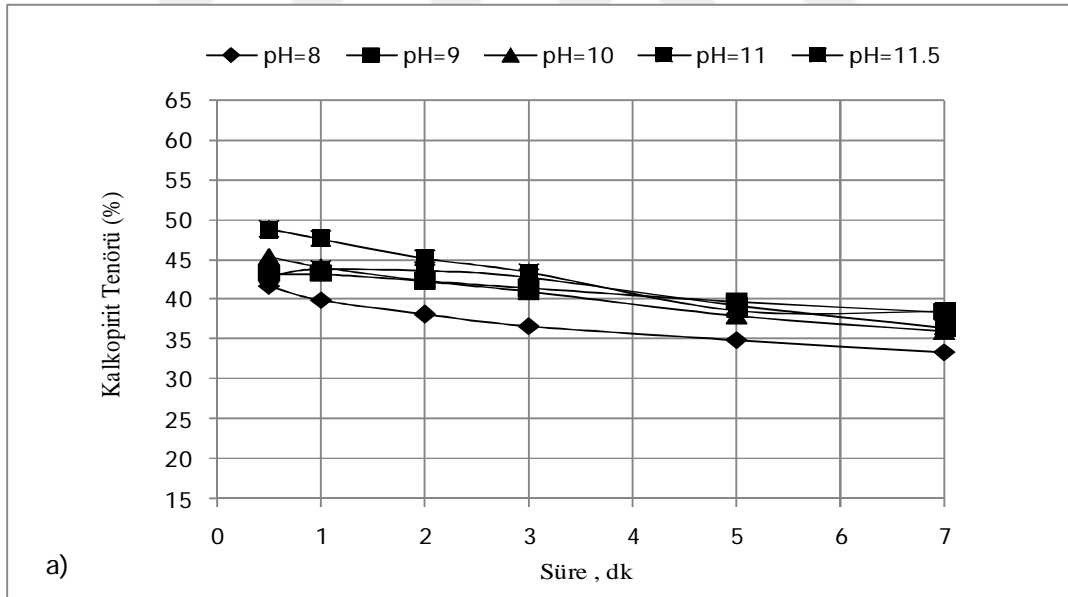
Flotasyon ile zenginleştirmede, katı ve sıvı fazın fizikokimyasal özellikleri zenginleştirmeyi etkileyen en önemli faktördür. Elektrostatik çekim karşıt olarak yüklü parçacıklar ve kabarcıklar arasında bulunur ve kabarcık ile parçacığın çarpışmasını ve bağlanmasını destekler, elektrostatik itme ise aynı yüklü parçacıklar ve kabarcıklar arasında bulunur ve kabarcık-parçacık çarpışmasını ve bağlanmasını engeller (Chang ve ark., 2018). Parçacıkların yükü ise ortam pH'ına bağlıdır.

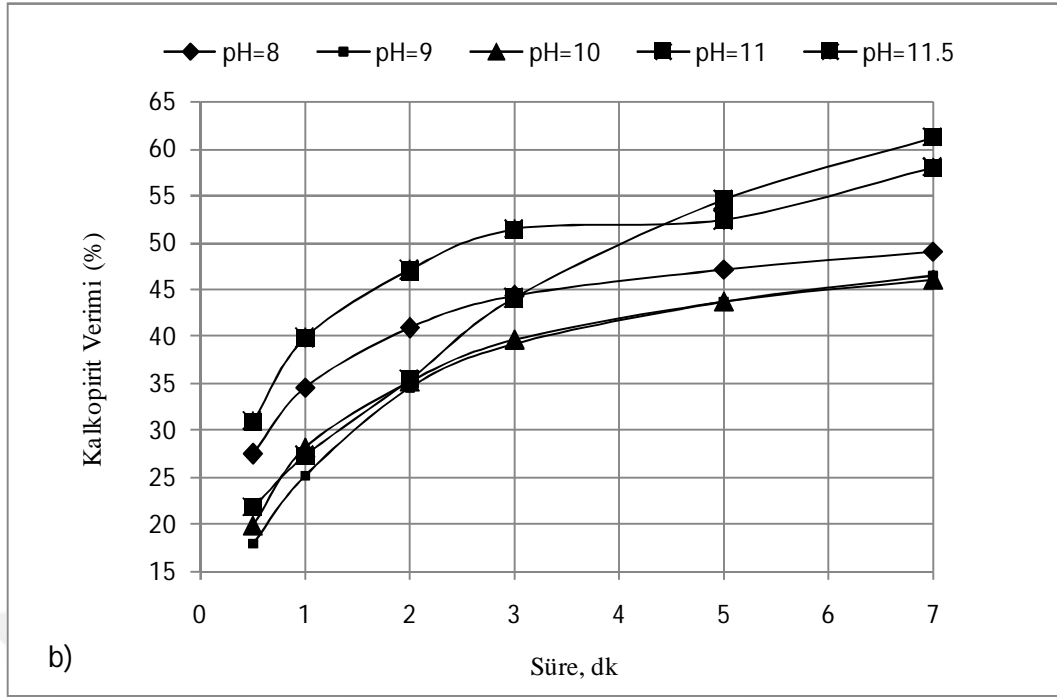
Sülfürlü minerallerin kendi aralarında çok küçük, gang mineralleri ile daha iri boyutlarda serbestleşmeleri durumunda önce pH'sı 7-7.5 olan ortamda kollektif flotasyonla gang mineralleri uzaklaştırılır. Elde edilen kaba konsantre daha küçük boyutlarda öğütülerek sülfür mineralleri selektif flotasyonla birbirinden ayrılırlar. Sülfürlü minerallerle yan kayaç arasında iri boyutta serbestleşme olması durumunda kollektif flotasyon, selektif flotasyona göre daha avantajlı olmaktadır. Bakır ve pirit içeren cevherlerde bu yöntem kullanılmaktadır. Kollektif flotasyonda ortamın pH'sı 7-7.5 iken, selektif flotasyonda ortamın pH'sı 11.5-12 civarında ayarlanır ve pirit bastırılır. Daha sonra ayrıca pirit konsantresi elde edilmek isteniyorsa ortam asidik hale getirilerek pirit yan ürün olarak alınabilir (Atak 1990).

Şekil 4.8'de 0.001 M NaCl tuzunun kullanımıyla hazırlanan farklı pH ortamlarının süreye karşı kalkopirit flotasyonuna etkileri sunulmuştur. 0.5 ile 1. dakika arasında tüm pH'lardaki tenör değerleri %40-50 arasındayken; 2. dakikada bu değerler %36-46; 3. dakikada %35-45; 5. dakikada %35-40 olarak düşmeye devam etmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere pH'ın artmasıyla tenör değerleri artmıştır, fakat 3. dakikadan sonra tüm çalışılan pH ortamlarında konsantre tenörleri belirgin şekilde düşmektedir. Verim sonuçlarının ise buna ters olarak süreyle artmakta olduğu görülmektedir. Tüm pH - verim eğrilerinde 2. dakikaya kadar verim de aşağı yukarı eşdeğer olarak artış gözlemlenmiştir. 2. dakikadan sonra pH=11 ortamında yapılan deneylerin verimi aniden artıp, diğerlerine göre yüksek sonuç elde edilmiştir. pH=9 ve

pH=10 ortamında yapılan deneylerin verimleri köpük alma süresince neredeyse aynı şekilde artış göstererek 7. dakikada %45 verim elde edilmiştir. Optimum tenör verim sonuçları 3. dakikada, pH=11.5'te elde edilmiştir. Ceylan ve Bulut (2009) tarafından yapılan bakır flotasyonu çalışmasında değişik pH'larda dekstrinin Cu'nun tenör ve verimine etkisi incelenmiştir. Sırasıyla pH=7.3; 10; 12 ortamlarında yapılan deneylerde Cu tenörü %8.24 - %12.64 - %17.53; verim değerleri de %63.30 - %65.38 - %68.40 şeklinde elde edilmiştir. Yüksek pH'ta pirit yüzeyindeki sülfür anyonu suyun içindeki OH⁻ anyonu ile yer değiştirerek yüzeyin yüksek değerde (-) işaret kazanmasına neden olur. Bu durumda cevherin içerdiği bakır sülfür minerali yüzeyinde yüksek pH'a bağlı bir etkileşim olmadığından bakır minerali hidrofobik yapılarak seçimli olarak yüzdürülür. Pirit içeren sülfür minerallerinde ortam pH'ı ve pH kıvamlama süresi piriti bastırmak için en etkin değişkenlerdendir (Atak, 1990; Çilek, 2006).

Bu bilgilerden yola çıkarak pH'ın artmasının bakır cevherinin tenör verim sonuçlarını olumlu şekilde etkilediği ve pH'ın artmasına bağlı olarak piritin bastırılması ile tenör değerlerinin arttığı ve optimum köpük alma süresinin 3 dk olduğu söylenebilir.





Şekil 4.8. pH'in kalkopirit flotasyonuna etkisi a) Tenör grafiği, b) Verim grafiği

4.3. Kil Mineralleri Varlığında Kalkopirit Flotasyonuna Tuzların Etkisi

Yüksek oranda kil içerikli cevherlerin işlenmesi genellikle flotasyonu olumsuz etkilemektedir. Chen ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, killerin mineral flotasyonundaki etkileme mekanizmaları ve davranışları hakkında genel bilgi verilmiştir. Bu çalışmaya göre flotasyonu etkileme şekline göre killer üç gruba ayrılabilir: kaolen grubu killer, smektit (montmorillonit) grubu killer ve illit grubu killer. Kaolen grubu killer genelde mekanik taşımayı tetikler, aşırı viskoziteye ise sadece yüksek oranlarda sebep olmaktadır. Smektit grubu killer düşük oranlarda bile pülp viskozitesini arttırabilme özelliğinden dolayı flotasyonda en çok problematik killerdir. Bu çalışmada, illit grubu killer ise flotasyonu en az etkileyen killer olarak tanımlanmıştır.

Kil mineralleri sülfür flotasyonunu birçok nedenden dolayı olumsuz etkilemektedir. Bu tip cevherler ile birlikte bulunan kil mineralleri genellikle kaolinit, illit ve montmorillonit olmaktadır. Özellikle kaolinit ve montmorillonit bulunduğu, pülpün fiziksel özelliklerindeki değişim, flotasyonu belirgin bir şekilde etkilemektedir (Bayraktar ve ark., 1992). Kaolen $Al_2Si_2O_5(OH)$, şişmeyen bir kil mineralidir. Bu tip kil minerallerinin kimyasal tepkimeye girme eğilimi düşük olup anyon değişim kapasitesi

tipik olarak katyon değişim kapasitesinden daha yüksektir. Kaolen, genişleyen bir kafesi olmayan plakaya benzeyen parçacıklardan oluşmaktadır, bu yüzden katmanlar arasında su giremez. Kaolen genellikle cevher yataklarındaki diğer değerli minerallerle ilişkilendirilir (Zhang ve ark., 2015). Montmorillonit 2:1 alümina silika tabakalı yapıya sahip smektit grubu bir kil mineralidir. Hacminin 20, ağırlığının 10 katı kadar şişebilir. Viskoz bir yapı oluşturan ince kil tanelerinin salkımlaşması ve yüksek oranda şişmesinden dolayı düşük konsantrasyonda bile belirgin şekilde akma gerilmesi sergilerler. Kaolinitle karşılaştırıldığında montmorillonitin pülpteki viskozite üzerindeki etkisi daha güçlüdür. Bu etki düşünüldüğünde montmorillonitin mineral flotasyonu üzerine kaolinitten daha büyük etkilere sahip olabileceği düşünülebilir (Zhao ve Peng, 2014).

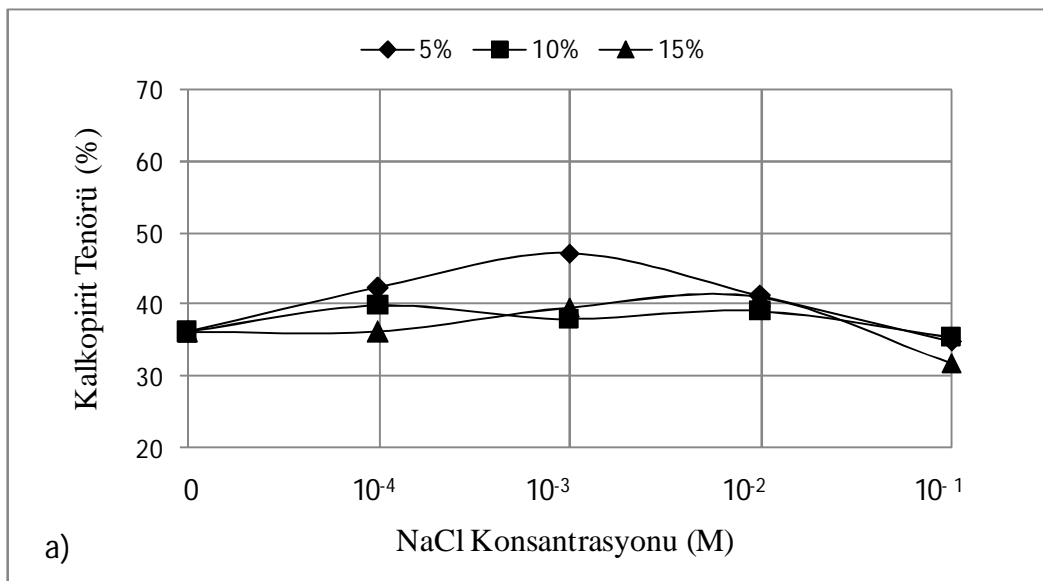
Elektrolit çözeltilerinin kil mineralleri tarafından oluşan agrega morfolojisini değiştirebildiği belgelenmiştir. Heller ve ark. (2001), kil birleşmelerinin değiştirilmesinin pH, elektrolit bileşimi ve konsantrasyon gibi çözeltili özelliklerini değiştirerek mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Birçok çalışma, pH ile kil parçacıklarının farklı iyonik kuvvetlerdeki birleşme şekilleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Düşük iyon gücünde, düşük pH'ta elektrolitlerin eklenmesi, pozitif kenarlarda ve negatif yüzeylerde elektriksel çift katmanları sıkıştırır, elektrostatik çekimi ve E-F (edge-face) birleşme sayısını azaltır. Fakat düşük iyon gücü ve yüksek pH'ta her üç modun birleşme (E-E, F-F, E-F) olasılığı düşüktür. İyonik kuvvetinin yeterince yüksek olduğu durumlarda, pH'ın etkisi çok belirgin değil ve elektriksel çift tabakalar F-F (face-face) birleşmesi ile sıkışmaktadır. Dolayısıyla flotasyonda iyonların bulunması kil-tanecik birleşmesini ve ardından kil minerallerinin sürüklenerek mekanik taşınmasını zorlaştırabilir (Zhang ve ark., 2015). Kil minerallerinin kenarlarının ve yüzlerinin alkali pH değerinde negatif yük taşıdığı bildirilmiştir (Luckham ve ark., 1999; Zhao ve ark., 2008). Farrokhpay ve Ndlovu (2013) yaptıkları çalışmada kalkopirit veriminin filosilikatlar tarafından etkilendiğini bulmuşlardır. Bu çalışmada incelenen killer talk-montmorillonit-muskovit-kaolen-illit şeklinde flotasyonu en çok olumsuz etkileyen kilden daha az etki eden kile doğru sıralanmıştır. Sonuçlardan talk ile montmorillonitin en çok olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bunun sebebi bu killerin kristal yapısındaki farklılıklar, şişme derecesi ve katyon değiştirme kapasitesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

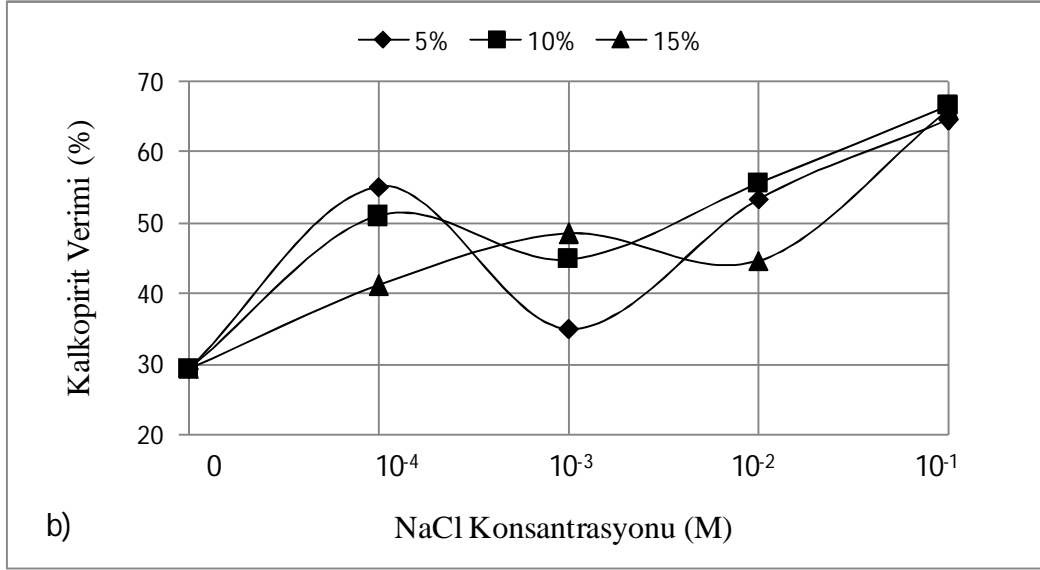
Kil mineralinin varlığı flotasyonda köpük kararlılığının değişmesi, pülp viskozitesindeki artış, şlamla kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden

olmaktadır (Taner ve Önen, 2016). Bu tez çalışması kapsamında kaolen ve montmorillonit gibi killerin kalkopirit flotasyonu üzerindeki etkileri de ek bir parametre olarak araştırılmıştır.

4.3.1. Kalkopirit cevheri flotasyonuna kaolen miktarı ve tuz konsantrasyonunun etkisi

Bu aşamada, kaolen kilini içeren kalkopirit mineralinin flotasyonunda NaCl konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi kil oranının ve tuz konsantrasyonunun artışıyla kalkopirit tenörü düşmüş, verim ise dalgalı bir şekilde değişmiştir. Distile suda yapılan deneyin tenör sonucu %36.22'lerdeyken, 0.001 M NaCl konsantrasyonunda %5 kil oranında gerçekleştirilen deneyde tenör %47.33'e kadar çıkmıştır. %10 ve %15 oranlarında kilin kullanımıyla yapılan deneylerdeki tenör sonuçları %40 ile 30 arasında değişmiştir. Verim sonuçları ise tenör sonuçlarına göre ters orantılı performans göstermiştir. Distile suda yapılan deneyin verim sonucu %29.36'lardayken, %5 oranında kilin ve 0.0001 konsantrasyonunda NaCl'in eklenmesiyle verim %55.07'ye kadar artmıştır. Konsantrasyonun 0.001 M'ye kadar artmasıyla verim %34.92'ye kadar düşmüştür. Genel olarak konsantrasyonun artmasıyla verim sonuçları da artarak, 0.1 M konsantrasyonunda %65'e kadar çıkmıştır. Liu ve Peng (2014) kaolenin çeşme suyunda ve tuzlu suda taşınmasını incelediği çalışmada, taşınma tuzlu suda daha yüksek bulunmuştur. Çeşme suyunda PEO ilavesi ile kaolen taşınması, tanelerin köprüleme kabiliyeti ile salkımlar oluşturarak önemli derecede azalmıştır.





Şekil 4.9. Kaolenin kalkopirit flotasyonuna etkisi a) Tenör grafiği, b) Verim grafiği

Çizelge 4.5' te kilsiz distile suyla ve farklı oranlardaki killerin kullanımıyla 0.001 M NaCl konsantrasyonunda yapılan deneylerin tenör verim sonuçları gösterilmiştir. Kilsiz distile suda yapılan deneylerin CuFeS_2 tenörü %36.22; verimi %29.36'iken 0.001 M konsantrasyonundaki NaCl' nin eklenmesiyle CuFeS_2 tenörle verimi sırasıyla %51.89 ile %72.40'a kadar yükselmiştir. Bu da tuzlu suyun kalkopirit flotasyonunu olumlu şekilde etkilediğini göstermektedir. Kaolenin eklenmesiyle tenör değerleri düşmüştür. Verim değerleri ise %5 kaolen ortamında %34.92'ye kadar düşmüşken, kil oranının artmasıyla %44.82 ve %48.37 'ye kadar yükselmiştir. (Zhao ve Peng, 2014) tarafından yapılan çalışmada, %30 kaolen içerikli kalkosit cevherinin çeşme suyu ve farklı konsantrasyonlardaki (0.06 mol/l, 0.17 mol/l, 0.34 mol/l) NaCl tuzunun kullanımıyla flotasyonu yapılmış ve çeşme suyu ile ortalama %35 CuFeS_2 tenörlü konsantre ortalama %46 CuFeS_2 verimiyle elde edilmiştir. Çalışma neticesinde flotasyonda elektrolitlerin eklenmesi, taneler arasındaki elektrostatik etkileşimi azaltarak şlamla kaplamayı hafifletebileceği ve böylece kalkosit flotasyonunu iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Kil oranının artmasıyla verimin artması mekanik taşımayla ilgilidir. Çünkü bilindiği gibi tane boyutunun düşmesiyle, gang mineralleri konsantreye taşınır ve böylece verimde yükselişe sebep olur.

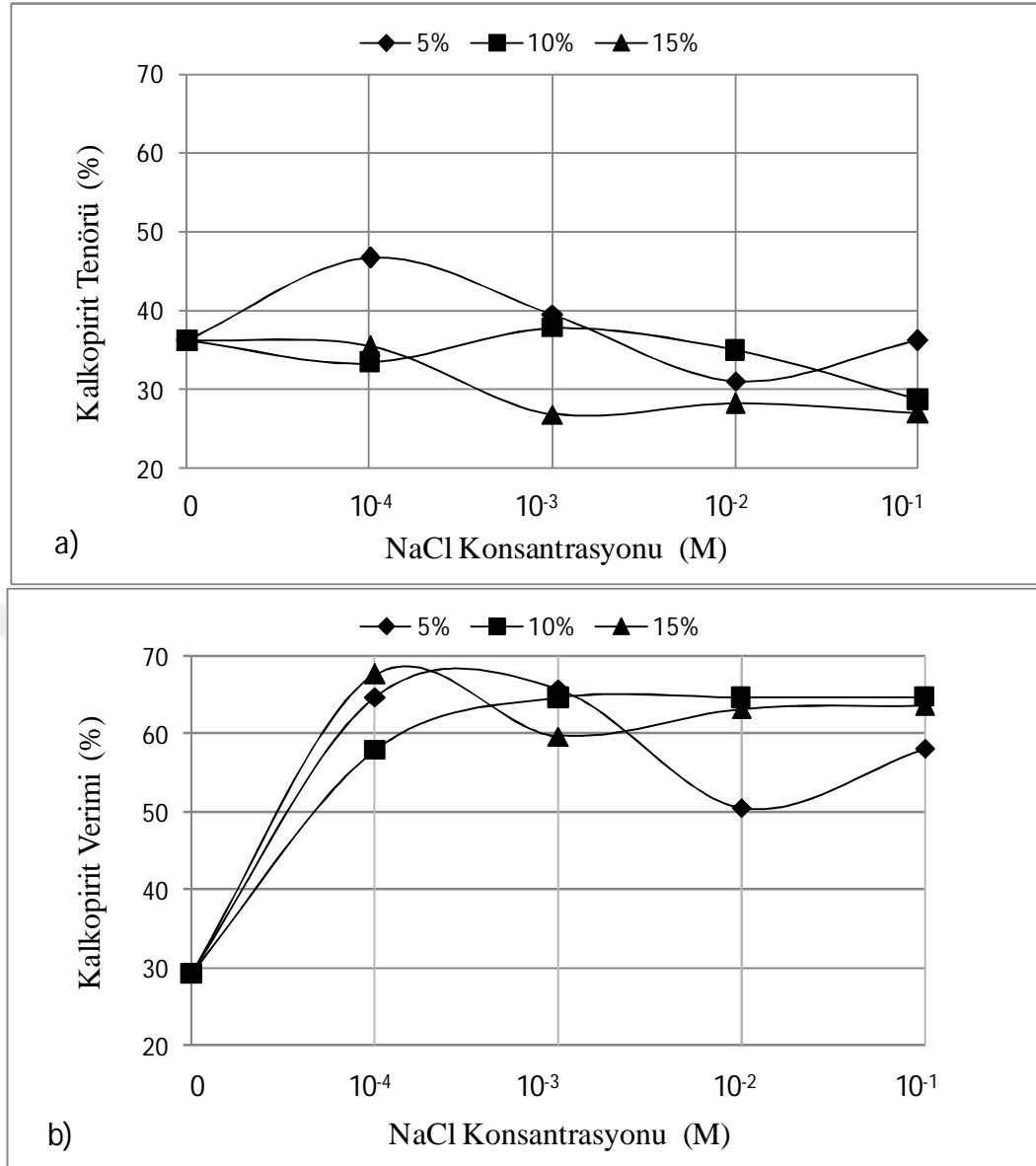
Çizelge 4.5. Kaolenle ve kaolensiz yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması

Eklenen Killer	Kilsiz distile su	Kilsiz distile su	%5 kaolen	% 10 kaolen	% 15 kaolen
NaCl Kons-n	0	0.001 M	0.001 M	0.001 M	0.001 M
Tenör	36,22 %	51,89 %	47,33 %	38,06 %	39,71 %
Verim	29,36 %	72,40 %	34,92 %	44,82 %	48,37 %

4.3.2. Kalkopirit cevheri flotasyonuna montmorillonit miktarı ve tuz konsantrasyonunun etkisi

Montmorillonit kili içeren kalkopirit mineralinin flotasyon performansına NaCl konsantrasyonunun etkisini belirlemek için distile su ile ve kalkopirit cevherine %5, %10, %15 montmorillonit ilave edilmesiyle flotasyon deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.10). Distile suda yapılan kilsiz ve tuzsuz kalkopirit flotasyonu %36.22 tenör; %29.36"lık verimle sonuçlanmıştır. Tuz konsantrasyonunun ve montmorillonit miktarının %10, %15 oranında artmasıyla tenör düşmüş, verim ise genel olarak artmıştır. 0.1 M NaCl konsantrasyonunda tenör sonuçları %27 CuFeS₂ ile %37 CuFeS₂ arasında değişmiştir. Aynı konsantrasyondaki verim ise %58 ile %65 arasındaki değerlerle sonuçlanmıştır.

Peng ve Zhao (2011) tarafından yapılan çalışmada, bakır sülfid minerallerinin flotasyonundaki yüzey oksidasyonunun killi şlam kaplaması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Flotasyon deneyleri kilsiz kalkopirit ve %5 bentonit içeren kalkopirit kullanılarak yapılmıştır. Kilsiz kalkopirit flotasyonu %80 den fazla verimle sonuçlanmış, %5 oranında kil içeren flotasyon sonuçları ise hafif düşük çıkmıştır. Ayrıca yüzey oksidasyonu olan ve olmayan kalkopiritin flotasyonu deneyleri sonucunda, her ikisinde de kalkopirit minerali montmorillonite karşı elektrostatik itme göstermiştir.



Şekil 4.10. Montmorillonitin kalkopirit flotasyonuna olan etkisi a) Tenör grafiği, b) Verim grafiği

Çizelge 4.6' daki sonuçlardan yola çıkarak distile suya tuzun eklenmesiyle tenörle verimin arttığı, fakat montmorillonitin (bentonit) eklenmesiyle ve belirli oranda artmasıyla tenörün düştüğü, verimin de hafif bir şekilde %65.86'dan %59.81'e düştüğü görülmektedir. Kilsiz distile suyla yapılan deneylerin tenör verim sonuçları sırasıyla %36.22 ve %29.36'iken 0.001 M konsantrasyonunda NaCl'nin eklenmesiyle tenör %51.89 verim ise %72.40'a kadar artmıştır. Daha sonra 0.001 M NaCl ortamındaki pülpe %5, %10, %15 oranlarında montmorillonitin eklenmesiyle tenörde belirgin, verimde ise hafif bir şekilde düşüş gözlemlenmiştir. Montmorillonit pulp vizkozitesinde artışa sebep olmuştur. Bilindiği gibi viskozite hidrofobik tanelerin hücreden çıkmasını

geciktirir. Bunun nedeni ise köpüğün aşırı yüklü olmasıdır ve bu da düşük tenör ve verime neden olur (Moolman ve ark., 1996).

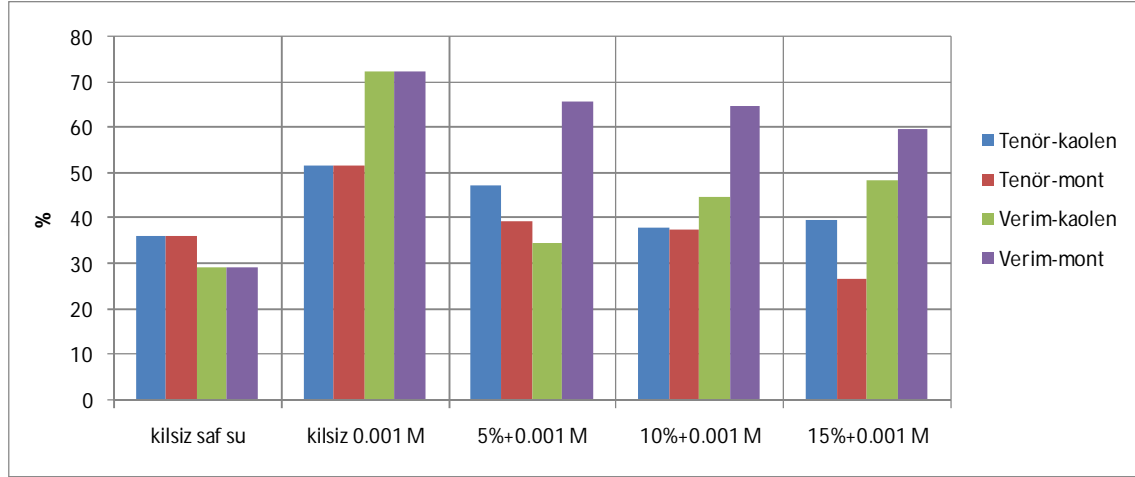
Çizelge 4.6. Montmorillonit ve montmorillonitsiz yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması

Eklene Killler	Kilsiz distile su	Kilsiz distile su	%5 mont-t	% 10 mont-t	% 15 mont-t
NaCl Kons-n	0	0.001 M	0.001 M	0.001 M	0.001 M
Tenör	36,22 %	51,89 %	39,54 %	37,81 %	26,94 %
Verim	29,36 %	72,40 %	65,86 %	64,70 %	59,81 %

Birçok çalışmada flotasyon performansı ile pülp reolojisinin ilişkili olduğu belirtilmiştir. Birçok durumda pülp viskozitesinin artması verimi düşürüp, seçiciliği zayıflatarak, reaktif tüketimini artırarak flotasyon kinetiğini engeller (Kirjavainen, 1996; Miettinen ve ark., 2010; Patra ve ark., 2012; Ndlovu ve ark., 2013; Wang ve ark., 2015; Zhang ve ark. 2015; Chen ve ark., 2017c). Ndlovu ve ark. (2014) çalışmasında, genel olarak karşılaşılan kil mineral süspansiyonlarının reolojik özelliklerini karşılaştırmıştır. Viskozite ve gerilmenin gözlemlendiği kritik konsantrasyonlar hesaplanmıştır. Bu genel olarak reolojik problemlerinin ortaya çıkmaya başladığı konsantrasyondur. Kaolen süspansiyonları sadece %10'dan yüksek oranlarda problematik olmuş, illit ve muskovit süspansiyonları ise %30 oranlarında bile akma gerilimini göstermemiştir. Wang ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, bakır flotasyonundaki kaolen ve bentonitin rolleri araştırılmıştır. Pülp viskozitesini değiştirme açısından bentonitin, kaolenden daha problemli olduğu tespit edilmiştir. Basnayaka ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada bentonit varlığının, pülp reolojisini değiştirdiğini ve altının flotasyon verimini kaolenden daha fazla azalttığını bildirmişlerdir.

Zhang ve Peng (2015a) tarafından yapılan bir çalışmada, bakır / altın cevherinin kaolen ve bentonit varlığındaki flotasyonu araştırılmıştır. Kil içeriğinin artmasıyla bentonit kili kaolene göre bakır flotasyonunu daha çok etkilemiş ve verimdeki değişikliklerle viskozitenin değişmesinin birbirine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Kilsiz ve %5, %10, %15 oranında killer varlığında yapılan deneyler sonucunda sırasıyla 1.8 cP, 3 cP, 3.5 cP, 7.8 cP bentonit viskozitesi, 1.8 cP, 2 cP, 2.5 cP, 3 cP kaolen viskozitesi; bunlara bağlı olarak sırasıyla %80, %75, %72, %59 ve %80, %78, %79, %80 oranlarında verim sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlardan bentonitle yapılan deneylerde viskozitenin kaolene göre 2.5 kat fazla arttığı, viskozite ile verim arasında ters bir orantı olduğu; kaolenle yapılan deneylerden ise viskozite ile verimin doğru orantı olduğu

farkedilebilir. Bentonitin kaolinite (1:1 kaolinit yapısında) göre daha yüksek viskoziteye sebep olması 2:1 yapısında olmasıyla açıklanmıştır. Bu tez çalışmasında montmorillonitle (bentonit ağırlıklı olarak montmorillonit içeren killerdir) yapılan deney sonuçlarından kil oranının %5, %10, %15 şeklindeki artmasıyla verimde %65.86, %64.70, % 59.81 gibi düşüş; kaolenle yapılan deneylerde ise %34.92, %44.82, %48.37 artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.11).

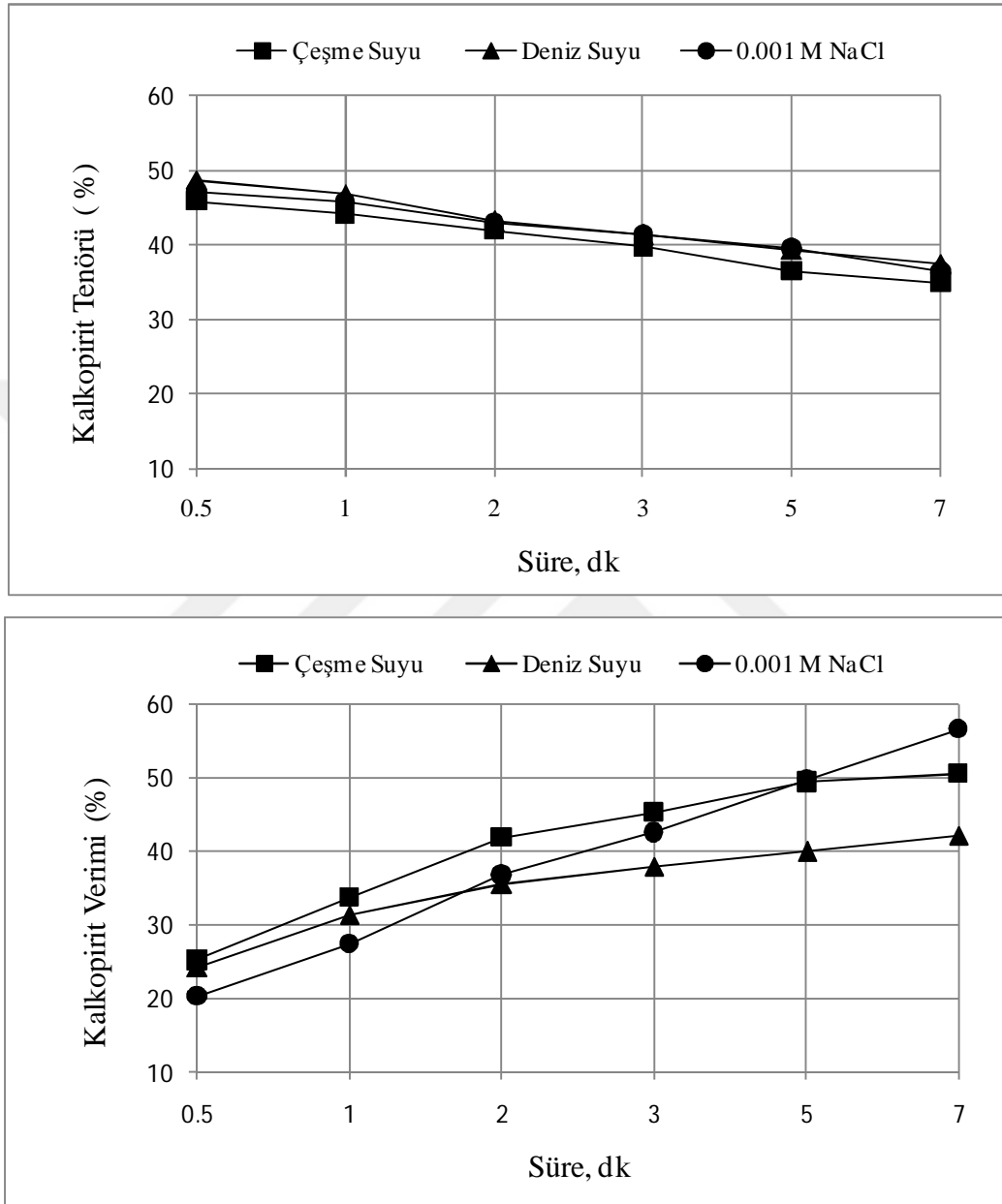


Şekil 4.11. Kaolen ve montmorillonitle yapılan deneylerin tenör-verim sonuçlarının karşılaştırılması

4.4. Deniz suyu, çeşme suyu ve 0,001 M NaCl'deki killi kalkopiritin flotasyonu

Bu aşamada çeşme suyu, 0.001 M NaCl ve Fethiye Ölüdeniz'den temin edilen deniz sularının %10 kaolen-montmorillonit içerikli kalkopirit flotasyonuna olan etkisi incelenmiştir. Şekil 4.12'den görüldüğü üzere her üç ortamda kaolen içerikli numune ile yapılan deneyler yaklaşık olarak benzer eğilim göstermiştir. Her üçü için de CuFeS_2 tenörü 0.5. dk'da %45.89 ile %48.73 arasındayken, artan süre ile düşmüştür. 3. dk'da %40'ın altına düşüp, 7. 'dk'da % 35 ile %38 değerlerinde sonuçlanmıştır. Verim ise %20 ile %25 arasında başlayıp artan süre ile artmıştır. 3. dk'da %37 ile %45 değerlerine kadar ulaşmış, 7. dk'da deniz suyu ile %42, çeşme suyu ile %50.51 ve 0.001 M NaCl içerikli su ile %56.45 verimle konsantre elde edilmiştir. Genel olarak artan süre ile tenör düşmüş, verim ise eşdeğer olarak artmıştır. Şekil 4.12'deki verim sonuçlarına genel olarak bakıldığında, 1. dk'dan sonra sadece 0.001 M konsantrasyonundaki NaCl eğrisinin doğrusal bir şekilde yükseldiği, böylece en iyi sonuçla son bulunduğu söylenebilir. Deniz suyunda verim değerleri ise 1.dk'kadan sonra daha yavaş artmış ve en düşük verim ile sonuçlanmıştır. Çeşme suyu verim değerleri ise 2. dk'ya kadar

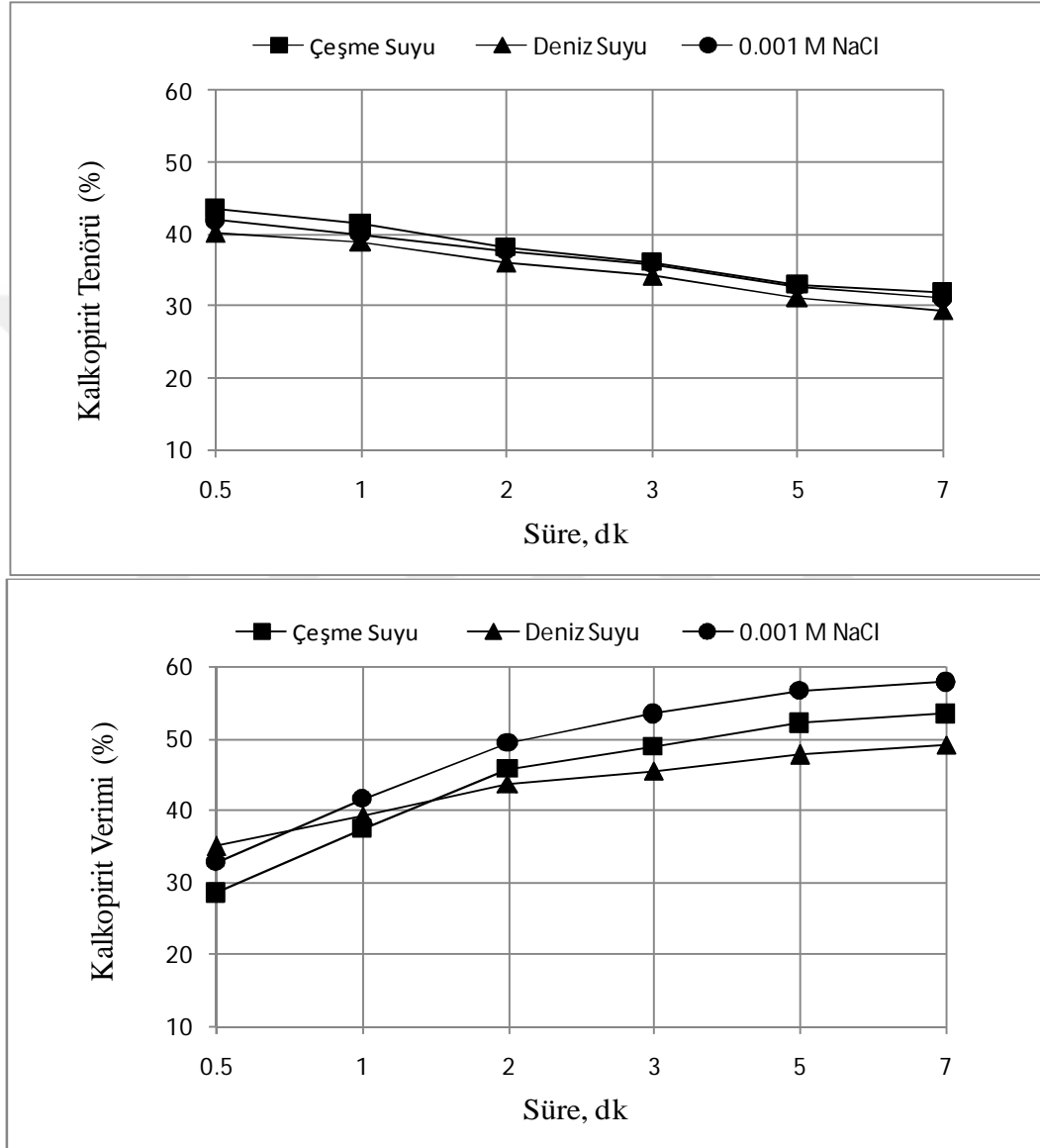
doğrusal bir şekilde artış gösterirken 2. dk'dan sonra yavaş bir artış göstermiş ve %50.51 verimle konsantre elde edilmiştir. Optimum köpük alma süresi üç su ortamı için de 3 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12. Deniz suyu, çeşme suyu ve 0.001 M NaCl'in %10 kaolenli kalkopirit flotasyonuna etkisi

Şekil 4.13'te %10 oranında montmorillonit ilavesi ile gerçekleştirilen ve sırasıyla çeşme suyu, deniz suyu ve 0.001 M NaCl ortamında yapılan deneyler sonucu elde edilen tenör ve verim değerleri verilmiştir. Çalışılan her su ortamı için; elde edilen konsantre tenörünün zamanla düştüğü, verimin ise arttığı, optimum köpük alma süresinin ise 3 dakika olduğu belirlenmiştir. Her üç ortam için CuFeS_2 tenörü 0.5. dk'da %40.09 ile

%43.56 arasındayken, artan süre ile düşmüştür. 3. dk'da %40'ın altına düşüp, 7. dk'da %29.34 ile %31.77 değerlerinde sonuçlanmıştır. Verim ise %28.50 ile %35.01 arasında başlayıp artan süre ile artmıştır. 3. dk'da %45.49 ile %53.35 değerlerine kadar ulaşmış, 7. dk'da deniz suyu %49.04, çeşme suyu %53.31, 0.001 M NaCl içerikli su %57.74 verimle sonuçlanmıştır.



Şekil 4.13. Deniz suyu, çeşme suyu ve 0.001 M NaCl'in % 10 montmorillonitli kalkopirit flotasyonuna etkisi

Çizelge 4.7'de ICP ile elde edilen deniz suyu, çeşme suyu analiz sonuçları ve 0,001 M konsantrasyonundaki Na iyonunun 1 litredeki ağırlıkları verilmiştir. Bu değerlerden görüldüğü üzere hem deniz suyu hem çeşme suyunun içerisinde Na, Mg, Ca iyonlarının konsantrasyonu yüksek çıkmış olup, deniz suyu için sırasıyla 112.87 mg/l, 57.23 mg/l, 269.38 mg/l; çeşme suyu için 2.9 mg/l, 8.92 mg/l, 57.24 mg/l olarak

belirlenmiştir. 0.001 M konsantrasyonundaki Na çözeltisinde ise sadece 22.99 mg/l Na iyonları bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında Bölüm 4.1'de yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular optimum kalkopirit tenör-verim sonuçlarının düşük tuz konsantrasyonlarında elde edildiğini göstermektedir. Çalışılan farklı niteliklerdeki sularla elde edilen konsantre tenörleri yakın olmakla birlikte en düşük verim çok büyük farklar olmasa da deniz suyunda elde edilmiştir. Bu durum tuz içeriğinin yüksekliğiyle ilişkilendirilebilir. Laskowski ve Castro (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı pH'lardaki (7, 8.5, 9, 10, 11, 11.5) deniz suyu ve çeşme suyundaki çoğunlukla kalkopirit içerikli bakır cevherinin flotasyonu sonucunda birbirine çok yakın (yaklaşık %80 civarında) verim değerleri elde edilmiştir (Laskowski ve Castro 2015).

Çizelge 4.7. Deniz suyu, çeşme suyu ve 0.001 M konsantrasyonunda bulunan Na, Mg, Ca içeriği (mg/L)

	Na	Mg	Ca
Deniz suyu	112.87	57.23	269.38
Çeşme suyu	2.9	8.92	57.24
0.001 M	22.99	0	0

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Proses suyunun fizikokimyasal özellikleri; iyonik bileşimi ve çözünmüş madde miktarı flotasyon sürecini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bunun yanında endüstriyel uygulamalardan çözünür tuz konsantrasyonunun yüzdürme sürecini etkilediği de bilinmektedir. Bu çalışma tuzlu suların flotasyon üzerindeki etkisini inceleme amacıyla yapılmıştır.

Park Elektrik Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (Siirt-Madenköy)'den temin edilen kalkopirit cevherinin farklı kil mineralleriyle flotasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş olup kil mineralleri varlığında elektrolit kullanımının katkısı araştırılmıştır. Tuz tipi (NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂ ve Al₂(SO₄)₃ ve konsantrasyonu, ortam pH'ı, flotasyon süresi, kil tipi (kaolen-montmorillonit) ve miktarı (%5-10-15) çalışılan deneysel parametrelerdir.

Kil ilave edilmeyen cevherle, farklı tuz tipi ve konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, optimum sonuç 0.001 M NaCl konsantrasyonunda % 51.89 CuFeS₂ tenör ve % 72.40 verim değeri ile elde edilmiştir. Tüm tuzlarla gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda ortak bulgu, yüksek tuz konsantrasyonlarında konsantre tenörlerinde düşüş ve verim değerlerinde artış gözlenmesidir. Bu bulgu, yüksek tuz konsantrasyonlarında sülfürlü yüzeylere oksijen yetersizliği nedeniyle ksantat adsorpsiyonunun azalmasının yanı sıra tuzların kil mineralleri üzerindeki canlandırma etkisi sonucunda konsantreye alınmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Tuz tipi ve konsantrasyonunun köpük yüksekliğine etkisinin belirlendiği deneysel çalışmalarda NaCl, KCl, CaCl₂ elektrolitleriyle yapılan deneylerde tenör değerleriyle köpük yükseklikleri arasında; MgCl₂ ile yapılan deneylerde ise verim değerleriyle köpük yükseklikleri arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Tüm tuzların kullanımıyla yapılan köpük yüksekliği deney sonuçları tenör verim sonuçlarıyla ilişkilendirildiğinde köpük yüksekliğinin artışıyla neredeyse en iyi tenör verim değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir.

Artan kil miktarı köpük yüksekliğinde genel olarak bir değişime sebep olmamakla birlikte %15 montmorillonit ilavesi köpük yüksekliğinde belirgin bir düşüşe neden olmuştur. Bu durum yüksek şişme potansiyeline sahip olan bentonitin pülp

vizkozitesini etkileyerek engelli flotasyon koşullarının oluşmasına ve hava kabarcığının selül içerisinde dağılımının azalmasına bağlanmıştır. Köpük yüksekliğinin azalması mekanik taşımının artmasından dolayı konsantre tenöründe düşüşe neden olması açısından önemlidir.

0.001 M NaCl tuz konsantrasyonunda ortam pH'nın kalkopirit flotasyonuna süreye karşı etkilerinin belirlendiği deneysel çalışmalarda, pH'ın artmasına bağlı olarak piritin bastırılması sonucu optimum tenör ve verim değerleri 3. dakikada ve pH=11,5'te elde edilmiştir.

Kilsiz distile suyla yapılan deney sonucunda %36.22 CuFeS₂ tenörlü konsantre %29.36 verimle elde edilirken; 0.001 M NaCl ile gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda %51.89 CuFeS₂ tenörlü konsantre %72.40 verim ile elde edilmiş ve tuzun kalkopirit flotasyonunu olumlu şekilde etkilediği tespit edilmiştir.

0.001 M NaCl ortamında killerin (kaolen-montmorillonit) kalkopirit flotasyonu üzerindeki etkileri de ek bir parametre olarak araştırılmıştır. Cevher içerisine ilave edilen kil miktarının artmasıyla; kaolen ilave edilen deneylerde tenör düşerken verim artmış, montmorillonit ilave edilen deneylerde ise artan kil oranı hem konsantre tenörünü hem de verimini daha da düşürmüştür. Kaolen içeren cevherle montmorillonit içeren cevhere göre daha yüksek tenörlü konsantre daha düşük verimle elde edilmiştir.

Tez çalışmasında son olarak, çeşme suyu, 0.001 M NaCl ve Fethiye Ölüdeniz'den temin edilen deniz sularının %10 kaolen-montmorillonit içerikli kalkopirit flotasyonuna olan etkisi incelenmiştir. Her üç su ortamı ile elde edilen konsantre tenörleri yakın olmakla birlikte en düşük verim deniz suyunda elde edilmiş ve bu durum tuz içeriğinin yüksekliğiyle ilişkilendirilmiştir.

5.2. Öneriler

Cevher hazırlama tesislerinde genellikle su tüketimini azaltabilmek amacıyla geri dönüşüm proses suları ve yüksek sertlikte kuyu suları kullanılmaktadır. Son yıllarda deniz kıyısındaki tesislerde deniz suyu kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Flotasyonda metalürjik başarıyı etkileyen en önemli faktörlerden birisi de kullanılan suyun niteliğidir. Genel olarak, tuzlu suyun flotasyon sırasında değerli mineral verimini artırdığı bilinmektedir. Ancak yapılan çalışmalar, yüksek konsantrasyona sahip elektrolit çözeltilerindeki flotasyonlarda sadece iyonik gücün değil aynı zamanda kimyasal bileşim, flotasyon pH'ı ve mineral özelliklerinin de önemli olduğunu

göstermiştir. Yapılan bu çalışmada, yüksek tuz konsantrasyonunun kalkopirit verimini düşürdüğü belirlenmiş ve deniz suyunda daha düşük verimde konsantre elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışılan koşullarda deniz suyu bu cevher için önerilmemektedir.



KAYNAKLAR

- Arnold, B. ve Aplan, F., 1986, The effect of clay slimes on coal flotation, part II: The role of water quality, *International Journal of Mineral Processing*, 17 (3-4), 243-260.
- Atak, S., 1990, Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, 125.
- Attia, Y. A., and Deason, D. M., 1989, "Control of slimes coating in mineral suspensions." *Colloids and Surfaces*, 39(1), 227–238.
- Bakker, C., Meyer, C. ve Deglon, D., 2009, Numerical modelling of non-Newtonian slurry in a mechanical flotation cell, *Minerals Engineering*, 22 (11), 944-950.
- Basnayaka, L., Subasinghe, N. ve Albijanic, B., 2017, Influence of clays on the slurry rheology and flotation of a pyritic gold ore, *Applied Clay Science*, 136, 230-238.
- Bayraktar, I., Ipekoglu, U. ve Tolun, R., 1992, Features and flotation of complex Cu-Pb-Zn sulphides, In: *Innovations in Flotation Technology*, Eds: Springer, p. 307-330.
- Bournival, G., Pugh, R. ve Ata, S., 2012, Examination of NaCl and MIBC as bubble coalescence inhibitor in relation to froth flotation, *Minerals Engineering*, 25 (1), 47-53.
- Bremmell, K. E., Fornasiero, D. ve Ralston, J., 2005, Pentlandite–lizardite interactions and implications for their separation by flotation, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 252 (2-3), 207-212.
- Bulatovic, S. M., 2007, *Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores*, Elsevier, p.
- Bulut, G. ve Göktepe, F., 2012, *Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar*.
- Cao, M. ve Liu, Q., 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.
- Castro, S., Venegas, I., Landero, A. ve Laskowski, J., 2010, Frothing in seawater flotation systems, *Proc. 25th International Mineral Processing Congress. Brisbane*, 4047.
- Castro, S., 2012, Challenges in flotation of Cu-Mo sulfide ores in sea water, *Water in Mineral Processing—Proc. of the First International Symposium (J. Drelich, Ed.)*, SME, 29-40.

- Castro, S., Miranda, C., Toledo, P. ve Laskowski, J., 2013, Effect of frothers on bubble coalescence and foaming in electrolyte solutions and seawater, *International Journal of Mineral Processing*, 124, 8-14.
- Ceylan, A. ve Bulut, G., 2009, Siirt-Madenköy bakır cevherinin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Chang, Z., Chen, X. ve Peng, Y., 2017, Understanding and improving the flotation of coals with different degrees of surface oxidation, *Powder Technology*, 321, 190-196.
- Chang, Z., Chen, X. ve Peng, Y., 2018, The effect of saline water on the critical degree of coal surface oxidation for coal flotation, *Minerals Engineering*, 119, 222-227.
- Chen, X., Hadde, E., Liu, S. ve Peng, Y., 2017, The effect of amorphous silica on pulp rheology and copper flotation, *Minerals Engineering*, 113, 41-46.
- Chen, X., Peng, Y. J. M. P. ve Review, E. M., 2018, Managing clay minerals in froth flotation—A critical review, 39 (5), 289-307.
- Cho, Y.-S. ve Laskowski, J., 2002, Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability, *International Journal of Mineral Processing*, 64 (2-3), 69-80.
- Chuang, S., Chang, T., Ouyang, C. ve Leu, J., 2007, Colloidal silica removal in coagulation processes for wastewater reuse in a high-tech industrial park, *Water science and technology*, 55 (1-2), 187-195.
- Craig, V., Ninham, B. ve Pashley, R., 1993, Effect of electrolytes on bubble coalescence, *Nature*, 364 (6435), 317.
- Çilek, E. C., 2006, Mineral flotasyonu, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*
- Çilek, E. C., 2013, Mineral Flotasyonu, Isparta, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, 165.
- Çınar, F., 2006, Jameson kolonunda bazı önemli çalışma parametrelerinin flotasyon verimine etkisi, 59.
- Dishon, M., Zohar, O. ve Sivan, U., 2009, From repulsion to attraction and back to repulsion: the effect of NaCl, KCl, and CsCl on the force between silica surfaces in aqueous solution, *Langmuir*, 25 (5), 2831-2836.
- Edwards, C., Kipkie, W. ve Agar, G., 1980, The effect of slime coatings of the serpentine minerals, chrysotile and lizardite, on pentlandite flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 7 (1), 33-42.
- Farrokhpay, S., 2011, The significance of froth stability in mineral flotation—A review, *Advances in colloid and interface science*, 166 (1-2), 1-7.

- Farrokhpay, S. ve Ndlovu, B. J. C. C. T., 2013, Effect of phyllosilicate minerals on the rheology, colloidal and flotation behaviour of chalcopyrite mineral, 733.
- Forbes, E., Davey, K. ve Smith, L., 2014, Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp, *Minerals Engineering*, 56, 136-144.
- Fuerstenau, D., Rosenbaum, J. M. ve Laskowski, J., 1983, Effect of surface functional groups on the flotation of coal, *Colloids and Surfaces*, 8 (2), 153-173.
- Fuerstenau, M. C. ve Han, K. N., 2003, Principles of mineral processing, SME, p.
- Gong, J., Peng, Y., Bouajila, A., Ourriban, M., Yeung, A. ve Liu, Q., 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.
- Grau, R. A., Laskowski, J. S. ve Heiskanen, K., 2005, Effect of frothers on bubble size, *International Journal of Mineral Processing*, 76 (4), 225-233.
- Grau, R. A. ve Laskowski, J. S., 2006, Role of frothers in bubble generation and coalescence in a mechanical flotation cell, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 84 (2), 170-182.
- Hancer, M., Celik, M. ve Miller, J. D., 2001, The significance of interfacial water structure in soluble salt flotation systems, *Journal of Colloid and Interface Science*, 235 (1), 150-161.
- Heller, H., Keren, R. J. C. ve Minerals, C., 2001, Rheology of Na-rich montmorillonite suspension as affected by electrolyte concentration and shear rate, 49 (4), 286-291.
- Henry, C. L. ve Craig, V. S., 2008, Ion-specific influence of electrolytes on bubble coalescence in nonaqueous solvents, *Langmuir*, 24 (15), 7979-7985.
- Hirajima, T., Suyantara, G. P. W., Ichikawa, O., Elmahdy, A. M., Miki, H. ve Sasaki, K. J. M. E., 2016, Effect of Mg^{2+} and Ca^{2+} as divalent seawater cations on the floatability of molybdenite and chalcopyrite, 96, 83-93.
- Holuszko, M., Franzidis, J., Manlapig, E., Hampton, M., Donose, B. ve Nguyen, A., 2008, The effect of surface treatment and slime coatings on ZnS hydrophobicity, *Minerals Engineering*, 21 (12-14), 958-966.
- Huang, P., Cao, M. ve Liu, Q., 2012, Adsorption of chitosan on chalcopyrite and galena from aqueous suspensions, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 409, 167-175.
- İşlek, E., 2018, Tek ve çift değerlikli iyonların minerallerin flotasyon davranışına kabarcık birleşimi açısından etkisinin araştırılması, 65.

- Kirjavainen, V., 1996, Review and analysis of factors controlling the mechanical flotation of gangue minerals, *International Journal of Mineral Processing*, 46 (1-2), 21-34.
- Klassen, V. I. ve Mokrousov, V. A., 1963, An introduction to the theory of flotation, Butterworths, p.
- Kuopanportti, H., Suorsa, T. ve Pöllänen, E. J. M. E., 1997, Effects of oxygen on kinetics of conditioning in sulphide ore flotation, 10 (11), 1193-1205.
- Kurniawan, A., Ozdemir, O., Nguyen, A., Ofori, P. ve Firth, B., 2011, Flotation of coal particles in $MgCl_2$, $NaCl$, and $NaClO_3$ solutions in the absence and presence of Dowfroth 250, *International Journal of Mineral Processing*, 98 (3-4), 137-144.
- Laskowski, J., Xu, Z. ve Yoon, R., 1992, Energy barrier in particle-to-bubble attachment and its effect on flotation kinetics, *Industrie Minerale Mines Et Carrieres Les Techniques*, 95-95.
- Laskowski, J. ve Castro, S., 2015, Flotation in concentrated electrolyte solutions, *International Journal of Mineral Processing*, 144, 50-55.
- Laskowski, J. S., Cho, Y. S. ve Ding, K., 2003, Effect of frothers on bubble size and foam stability in potash ore flotation systems, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 81 (1), 63-69.
- Li, C. ve Somasundaran, P., 1992, Reversal of bubble charge in multivalent inorganic salt solutions—Effect of aluminum, *Journal of colloid and interface science*, 148 (2), 587-591.
- Li, G., Deng, L., Cao, Y., Wang, B., Ran, J. ve Zhang, H., 2017, Effect of sodium chloride on fine coal flotation and discussion based on froth stability and particle coagulation, *International Journal of Mineral Processing*, 169, 47-52.
- Liang, L., Peng, Y., Tan, J., Xia, W. ve Xie, G., 2016, Effect of polyaluminum chloride on the flotation separation of coal from kaolinite, *International Journal of Mineral Processing*, 154, 75-80.
- Liu, D. ve Peng, Y., 2014, Reducing the entrainment of clay minerals in flotation using tap and saline water, *Powder Technology*, 253, 216-222.
- Liu, Q., Wannas, D. ve Peng, Y., 2006, Exploiting the dual functions of polymer depressants in fine particle flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 80 (2-4), 244-254.
- Liu, W., Moran, C. ve Vink, S., 2013, A review of the effect of water quality on flotation, *Minerals Engineering*, 53, 91-100.
- Luckham, P. F., Rossi, S. J. A. i. c. ve science, i., 1999, The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions, 82 (1-3), 43-92.

- Marrucci, G. ve Nicodemo, L., 1967, Coalescence of gas bubbles in aqueous solutions of inorganic electrolytes, *Chemical Engineering Science*, 22 (9), 1257-1265.
- Marrucci, G., 1969, A theory of coalescence, *Chemical engineering science*, 24 (6), 975-985.
- Miettinen, T., Ralston, J. ve Fornasiero, D., 2010, The limits of fine particle flotation, *Minerals Engineering*, 23 (5), 420-437.
- Min, F., Peng, C. ve Liu, L. J. P. t., 2015, Investigation on hydration layers of fine clay mineral particles in different electrolyte aqueous solutions, 283, 368-372.
- Moolman, D., Eksteen, J., Aldrich, C. ve Van Deventer, J., 1996, The significance of flotation froth appearance for machine vision control, *International Journal of Mineral Processing*, 48 (3-4), 135-158.
- Moreno, P. A., Aral, H., Cuevas, J., Monardes, A., Adaro, M., Norgate, T. ve Bruckard, W. J. M. E., 2011, The use of seawater as process water at Las Luces copper-molybdenum beneficiation plant in Taltal (Chile), 24 (8), 852-858.
- Mu, Y. ve Peng, Y., 2019, The effect of saline water on copper activation of pyrite in chalcopyrite flotation, *Minerals Engineering*, 131, 336-341.
- Muller, N., 1988, Is there a region of highly structured water around a nonpolar solute molecule?, *Journal of solution chemistry*, 17 (7), 661-672.
- Muller, N., 1990, Search for a realistic view of hydrophobic effects, *Accounts of Chemical Research*, 23 (1), 23-28.
- Nagaraj, D. ve Farinato, R., 2014, Chemical factor effects in saline and hypersaline waters in the flotation of Cu and Cu-Mo ores, *Proceedings of the XXVII International Mineral Processing Congress, Santiago, Chile*, 20-24.
- Ndlovu, B., Farrokhpay, S. ve Bradshaw, D., 2013, The effect of phyllosilicate minerals on mineral processing industry, *International Journal of Mineral Processing*, 125, 149-156.
- Ndlovu, B., Forbes, E., Farrokhpay, S., Becker, M., Bradshaw, D. ve Deglon, D., 2014, A preliminary rheological classification of phyllosilicate group minerals, *Minerals Engineering*, 55, 190-200.
- Oats, W. J., Ozdemir, O. ve Nguyen, A. V., 2010, Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation, *Minerals Engineering*, 23 (5), 413-419.
- Ofori, P., Firth, B., McNally, C. ve Nguyen, A., 2010, Working effectively with saline water in coal preparation.

- Ozdemir, O., Taran, E., Hampton, M., Karakashev, S. ve Nguyen, A., 2009, Surface chemistry aspects of coal flotation in bore water, *International Journal of Mineral Processing*, 92 (3-4), 177-183.
- Ozkan, S. G., 2012, Effects of simultaneous ultrasonic treatment on flotation of hard coal slimes, *Fuel*, 93, 576-580.
- Özdemir, O., Çinku, K., Uslu, T., Kılıç, E. ve Çelik, M. S., 2013, Flotation Behavior of Bituminous and Lignite Coals in Salty Water, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 13 (1), 1-14.
- Patra, P., Bhambhani, T., Nagaraj, D. ve Somasundaran, P., 2012, Impact of pulp rheological behavior on selective separation of Ni minerals from fibrous serpentine ores, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 411, 24-26.
- Paulson, O. ve Pugh, R., 1996, Flotation of inherently hydrophobic particles in aqueous solutions of inorganic electrolytes, *Langmuir*, 12 (20), 4808-4813.
- Peng, Y. ve Seaman, D., 2011, The flotation of slime-fine fractions of Mt. Keith pentlandite ore in de-ionised and saline water, *Minerals Engineering*, 24 (5), 479-481.
- Peng, Y. ve Zhao, S., 2011, The effect of surface oxidation of copper sulfide minerals on clay slime coating in flotation, *Minerals Engineering*, 24 (15), 1687-1693.
- Peng, Y. ve Bradshaw, D., 2012, Mechanisms for the improved flotation of ultrafine pentlandite and its separation from lizardite in saline water, *Minerals Engineering*, 36, 284-290.
- Peng, Y., Zhao, S. ve Bradshaw, D., 2012, Role of saline water in the selective flotation of fine particles, *Water in Mineral Processing-Proceedings of the 1st International Symposium*, 61-71.
- Qi, B. ve Aldrich, C., 2002, Effect of ultrasonic treatment on zinc removal from hydroxide precipitates by dissolved air flotation, *Minerals Engineering*, 15 (12), 1105-1111.
- Quinn, J., Kracht, W., Gomez, C., Gagnon, C. ve Finch, J., 2007, Comparing the effect of salts and frother (MIBC) on gas dispersion and froth properties, *Minerals Engineering*, 20 (14), 1296-1302.
- Savassi, O., Alexander, D., Franzidis, J. ve Manlapig, E., 1998, An empirical model for entrainment in industrial flotation plants, *Minerals Engineering*, 11 (3), 243-256.
- Sett, S., Karakashev, S. I., Smoukov, S. K., Yarin, A. L. J. A. i. c. ve science, i., 2015, Ion-specific effects in foams, 225, 98-113.

- Shabalala, N., Harris, M., Leal Filho, L. ve Deglon, D., 2011, Effect of slurry rheology on gas dispersion in a pilot-scale mechanical flotation cell, *Minerals Engineering*, 24 (13), 1448-1453.
- Smith, P. ve Warren, L., 1989, Entrainment of particles into flotation froths, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 5 (1-4), 123-145.
- Song, S., Zhang, Y., Wu, K., Lopez-Valdivieso, A. ve Lu, S., 2004, Flotation of coal fines as hydrophobic flocs for ash rejection, *Journal of dispersion science and technology*, 25 (1), 75-81.
- Song, S., 2008, Experimental studies on hydrophobic flocculation of coal fines in aqueous solutions and flotation of flocculated coal, *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 1 (1-2), 180-193.
- Stevenson, P., Ata, S. ve Evans, G. M., 2007, Convective–dispersive gangue transport in flotation froth, *Chemical Engineering Science*, 62 (21), 5736-5744.
- Subrahmanyam, T. ve Forssberg, E., 1988, Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation—a review, *International Journal of Mineral Processing*, 23 (1-2), 33-53.
- Sun, Q., Li, Y., Tang, T., Yuan, Z. ve Yu, C.-P., 2013, Removal of silver nanoparticles by coagulation processes, *Journal of hazardous materials*, 261, 414-420.
- Taner, H. A. ve Önen, V., 2016, Killerin pülp ortamındaki davranışı ve flotasyona etkisi, *Madencilik*, 55 (2), 45-51.
- Tao, D., Luttrell, G. ve Yoon, R.-H., 2000, A parametric study of froth stability and its effect on column flotation of fine particles, *International Journal of Mineral Processing*, 59 (1), 25-43.
- Trahar, W., 1981, A rational interpretation of the role of particle size in flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 8 (4), 289-327.
- Turgut, A., Sağlanmak, Ş. ve Doğanay, S., 2016, Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozitesinin deneysel incelenmesi: tanecik boyutu etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (1).
- Türkmen Y., 2011, Sülfürlü Bakır Flotasyon Konsantrelerinden Hidrometalurjik Yöntemlerle Bakır Kazanımının Araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir.
- Ünal H, İ., Tuncel S, Yücel M, B., Yoleri B ve Arslan M, 2016, Türkiye ve Dünyada Bakır, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*.
- Wang, B. ve Peng, Y., 2013, The behaviour of mineral matter in fine coal flotation using saline water, *Fuel*, 109, 309-315.
- Wang, B. ve Peng, Y., 2014, The effect of saline water on mineral flotation—A critical review, *Minerals Engineering*, 66, 13-24.

- Wang, B., Peng, Y. ve Vink, S., 2014, Effect of saline water on the flotation of fine and coarse coal particles in the presence of clay minerals, *Minerals Engineering*, 66, 145-151.
- Wang, J.-P., Chen, Y.-Z., Ge, X.-W. ve Yu, H.-Q., 2007, Optimization of coagulation–flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302 (1-3), 204-210.
- Wang, L., Peng, Y., Runge, K. ve Bradshaw, D., 2015, A review of entrainment: Mechanisms, contributing factors and modelling in flotation, *Minerals Engineering*, 70, 77-91.
- 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.
- Wei, T., Peng, Y. ve Vink, S., 2016, The joint action of saline water and flotation reagents in stabilizing froth in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 148, 15-22.
- Weissenborn, P. K. ve Pugh, R. J., 1996, Surface tension of aqueous solutions of electrolytes: relationship with ion hydration, oxygen solubility, and bubble coalescence, *Journal of colloid and interface science*, 184 (2), 550-563.
- Wen, W. W. ve Sun, S., 1977, Electrokinetic study on the amine flotation of oxidized coal.[For separation from ash and pyrites], *Trans. Soc. Min. Eng. AIME;(United States)*, 262 (2).
- Xu, Z., Liu, J., Choung, J. W., and Zhou, Z., 2003, “Electrokinetic study of clay interactions with coal in flotation.” *International Journal of Mineral Processing*, 68(1–4), pp. 183–196.
- Xu, D., Ametov, I. ve Grano, S., 2012, Quantifying rheological and fine particle attachment contributions to coarse particle recovery in flotation, *Minerals Engineering*, 39, 89-98.
- Yang, B. ve Song, S., 2014, Hydrophobic agglomeration of mineral fines in aqueous suspensions and its application in flotation: a review, *Surface Review and Letters*, 21 (03), 1430003.
- Yilmaz, K., 2018, Bakır cürufu flotasyonunda iki farklı toplayıcı kullanımının uç tane boyları verimlerine etkisinin incelenmesi
- Yianatos, J. ve Contreras, F., 2010, Particle entrainment model for industrial flotation cells, *Powder Technology*, 197 (3), 260-267.
- Yoon, R.-H., 1982, Flotation of coal using micro-bubbles and inorganic salts, *Min. Congr. J.:(United States)*, 68 (12).

- Yoon, R. ve Sabey, J., 1982, Coal flotation in inorganic salt solutions, *Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg (USA). Virginia Center for Coal and Energy Research*.
- Yoon, R. ve Sabey, J., 1989, Interfacial Phenomena in Coal Technology, *GD Botsaris, GD, Glazman, YM (Eds.)(New York, 87 1989)*.
- Yousef, A. A., Arafa, M. A., Ibrahim, S. S. ve Khalek, M. A. A., 2003, Seawater usage in flotation for minerals beneficiation in arid regions (Arab Countries)(simulation and application), *Proceedings: XXII International Mineral Processing Congress*.
- Yu, Y., Cheng, G., Ma, L., Huang, G., Wu, L., and Xu, H., 2017a, "Effect of agitation on the interaction of coal and kaolinite in flotation." *Powder Technology, 313(Supplement C)*, pp. 122–128.
- Zhang, M. ve Peng, Y., 2015, Effect of clay minerals on pulp rheology and the flotation of copper and gold minerals, *Minerals Engineering, 70*, 8-13.
- Zhang, M., Xu, N. ve Peng, Y., 2015, The entrainment of kaolinite particles in copper and gold flotation using fresh water and sea water, *Powder Technology, 286*, 431-437.
- Zhao, H., Bhattacharjee, S., Chow, R., Wallace, D., Masliyah, J. H. ve Xu, Z., 2008, Probing surface charge potentials of clay basal planes and edges by direct force measurements, *Langmuir, 24 (22)*, 12899-12910.
- Zhao, S. ve Peng, Y., 2012, The oxidation of copper sulfide minerals during grinding and their interactions with clay particles, *Powder technology, 230*, 112-117.
- Zhao, S. ve Peng, Y., 2014, Effect of electrolytes on the flotation of copper minerals in the presence of clay minerals, *Minerals Engineering, 66*, 152-156.
- Zhao, S., Guo, B., Peng, Y. ve Mai, Y., 2017, An impedance spectroscopy study on the mitigation of clay slime coatings on chalcocite by electrolytes, *Minerals Engineering, 101*, 40-46.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Shafika KHALIDOVA
Uyruğu : Kazakistan
Doğum Yeri ve Tarihi : Kazakistan 01.08.1992
Telefon : +90 507 514 26 88
Faks :
E-Posta : shofika@mail.ru

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Burul	Bayzak	Zhambıl	2010
Üniversite	: Selçuk	Selçuklu	Konya	2016
Yüksek Lisans	:			
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER Kazakça, Rusça, İngilizce

YAYINLAR :

Khalidova, S., Önen, V., Taner, H.A., 2019. Flotation of Chalcopyrite in the Presence of Electrolytes, *6th International Congress on Mathematics, Engineering, Natural and Medical Science*, March 8-10, Adana, 128-134.