



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

**SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERİNİN AGLOFLOTASYON İLE  
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Emmanuel Buende NSOMWE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mart-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Emmanuel Buende NSOMWE tarafından hazırlanan “SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERİNİN AGLOFLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 28/03/2024 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

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Selma DÜZYOL  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Üye

Doç. Dr. Fatih DURMAZ  
(Selçuk Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlük tarafından 231009017 nolu proje ile desteklenmiştir.

## 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.

İmza

Emmanuel Buende NSOMWE

Tarih: 28.03.2024

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERİNİN AGLOFLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

**Emmanuel Buende NSOMWE**

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

**Danışman: Prof. Dr. Selma DÜZYOL**

**2024, 50 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Selma DÜZYOL  
Prof. Dr. Tefik AĞAÇAYAK  
Doç. Dr. Fatih DURMAZ**

Bu tez çalışmasında sülfürlü bakır cevherinin agloflotasyon ile zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Deneylede kullanılan sülfürlü bakır numunesi, Gökırmak bakır madeniden temin edilmiştir (Acacia Maden İşletmeleri). Bu yüksek lisans tezi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada sülfürlü bakır cevherinin klasik flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylede optimum pH, dağıtıcı miktarı, toplayıcı türü ve miktarı ile köpürtücü miktarı araştırılmıştır. İkinci aşamada ise agloflotasyon deneyleri yapılmıştır. Agloflotasyon aşamasında, yağ aglomerasyonu ile aglomere edilen aglomeratlar flotasyon ile yüzdürülmüştür. İnce boyuttaki cevherin aglomerasyonu ilk aşama flotasyonda belirlenen optimum koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu aglomeratlar flotasyon hücresine transfer edilerek köpürtücü ilavesi yapılmış böylece aglomeratların yüzdürülmesi ile agloflotasyon deneyleri tamamlanmıştır. Yağ aglomerasyonunda yağ miktarı ve tipi ile karıştırma hızı ve süresi araştırılan parametrelerdir.

Flotasyon deneylerinde optimum şartlarla %4.82 Cu tenörlü konsantre %73.29 verimle kazanılmıştır (pH=11; 100 g/t 3418A; 50 g/t sodyum silikat; 50 g/t MIBC). Agloflotasyonda, atık yağ ile elde edilen kalkopirit konsantrelerinin Cu tenörleri %5.69 ulaşırken verimi %58.75 ile %48.46 arasında değişmektedir. Gaz yağı kullanarak ise %6.1 Cu içerikli konsantre %53.43 verimle kazanılmıştır. Karıştırma hızının kalkopiritin agloflotasyonuna etkisinin belirlenmesi için agloflotasyonun flotasyon aşamasında hız 1000 dev/dak'da sabit tutularak, aglomerasyon hızı değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Elde edilen konsantrelerin en yüksek bakır içerikleri evsel atık yağ ve gazyağı için sırasıyla %6.53 ve %6.10 olmuştur. Evsel atık yağ ve gaz yağı ile elde edilen en yüksek verimli konsantrelerin verim değerleri sırasıyla %68.65 ve %77.01'dir.

**Anahtar Kelimeler:** Agloflotasyon, Aglomerasyon, Bakır, Flotasyon

## ABSTRACT

### MSc THESIS

# INVESTIGATION OF THE ENRICHMENT OF SULPHIDE COPPER ORE BY AGLOFLOTATION

**Emmanuel Buende NSOMWE**

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

**Advisor: Prof. Dr. Selma DÜZYOL  
2024, 50 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Selma DÜZYOL  
Prof. Dr. Tefik AĞAÇAYAK  
Assoc. Prof. Dr. Fatih DURMAZ**

In this thesis, the enrichment of sulphide copper ore by agglotation was examined. The sulphide copper sample used was obtained from Gökırmak copper mine (Acacia Mining Enterprises). This master's thesis consists of two stages. In the first stage, classical flotation experiments of sulphide copper ore were carried out. In the experiments, optimum pH, amount of dispersant, collector type and amount and frother amount were investigated. In the second stage, agglotation experiments were carried out. In the agglotation stage, the agglomerates agglomerated by oil agglomeration were floated by flotation. Agglomeration of fine-sized ore was carried out under the optimum conditions determined in the first flotation stage. Then, these agglomerates were transferred to the flotation cell and frother was added, thus the agglomerates were floated and the agglotation experiments were completed. In oil agglomeration, the amount and type of oil and mixing speed and time are the parameters investigated.

In flotation experiments, under optimum conditions, the concentrate was obtained with 4.82% Cu and 73.29% yield (pH=11; 100 g/t 3418A; 50 g/t sodium silicate; 50 g/t MIBC). In agglotation, the %Cu of chalcopyrite concentrates obtained from waste oil reaches 5.69%, while the yield varies between 58.75% and 48.46%. By using kerosene, the concentrate containing 6.1% Cu was obtained with a yield of 53.43%. To determine the effect of mixing speed on the agglotation of chalcopyrite, experiments were carried out by keeping the speed constant at 1000 rpm and changing the agglomeration speed during the flotation stage of agglotation. The highest copper contents of the obtained concentrates were 6.53% and 6.10% for domestic waste oil and kerosene, respectively. The recovery values of the concentrates having highest recovery obtained from domestic waste oil and kerosene are 68.65% and 77.01%, respectively.

**Keywords:** Agglotation, Agglomeration, Copper, Flotation

## ÖNSÖZ

Her şeyden önce, bana hayat veren, bu çalışmanın gerçekleşmesine ve sonuçlanmasına olanak sağlayan, zamanların ve koşulların efendisi olan Allah'a çok teşekkür etmek istiyorum.

Pek çok sorumluluğu olmasına rağmen, her ihtiyacım olduğunda değerli zamanını bana ayıran ve tüm desteğini esirgemeyen, bu çalışmayı ilgi, sabır ve hoşgörüyle yönetmeyi kabul eden değerli Danışmanım, Sayın Prof. Dr. Selma DÜZYOL'a sonsuz şükranlarımı ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sayısız katkıları ve yol göstericiliğiyle tavsiyelerde bulunan Sayın Prof. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK'a en derin şükranlarımı sunmak isterim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu süreçte de yanımda olan babam, annem, kardeşlerim, bu çalışma da sizin çabalarınızın meyvesidir. Her zaman yanımda olduğunuz için teşekkürlerimi sunup minnettarlığımı da göstermek istiyorum.

Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen bölümümün tüm akademik personellerine ve özellikle laboratuvar sorumlusu İbrahim KÜÇÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı gerçekleştirmek için numuneleri sağlayan Acacia Maden İşletmeleri şirketine de teşekkür etmek ederim.

Akademik dönemim boyunca bana yardımcı ve destek olan yanımdaki güzel insanlar Olivier MPUKUTA, Linus BALABALA, Ali LUNGENI, Priscillia MOKELO, Judelle NDENDE, Thierry KERINGYNGO ve tüm arkadaşlarıma, bana verdiğiniz tüm destekler için size yalnızca kalbimin derinliklerinden teşekkür edebilirim. Her birinize bu çalışmanın bir parçası olduğunuz için yürekten teşekkür ederim.

Emmanuel Buende NSOMWE  
KONYA-2024

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b>	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>VI</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Amaç	1
1.3. Tezin Önemi	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>3</b>
2.1. Bakır Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2. Zenginleştirme Yöntemleri	6
2.2.1. Flotasyon	6
2.2.2. Yağ aglomerasyonu	9
2.2.3. Agloflotasyon	11
<b>3. MATERYAL VE METOT</b>	<b>14</b>
3.1. Materyal	14
3.1.1. Sülfürlü cevher numunesi	14
3.1.2. Numunenin deneylere hazırlanması ve analizler	15
3.1.3. Deneylerde kullanılan reaktifler	16
3.1.4. Deneylerde kullanılan ekipmanlar	16
3.2. Metot	16
3.2.1. Flotasyon deneyleri	16
3.2.2. Agloflotasyon deneyleri	17
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b>	<b>19</b>
4.1 Kalkopirit Flotasyonu	19
4.1.1. Kalkopiritin flotasyonuna toplayıcı turunun etkisi	19
4.1.2. Kalkopiritin flotasyonuna pH'ın etkisi	21
4.1.3. Kalkopiritin flotasyonuna toplayıcı miktarının etkisi	22

4.1.4. Kalkopiritin flotasyonuna köpürtücü miktarının etkisi	24
4.1.5. Kalkopiritin flotasyonuna dağıtıcı miktarının etkisi	25
4.2. Kalkopiritin Agloflotasyonu	27
4.2.1. Kalkopiritin agloflotasyonuna yağ miktarı ve yağ tipinin etkisi	27
4.2.2. Kalkopiritin agloflotasyonuna karıştırma hızının etkisi	30
4.2.3. Kalkopiritin agloflotasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi	37
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>45</b>



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Problemin Tanımı

Bir ülkenin madenlerinin işletilmesi ve zenginleştirilmesi, devletin kalkınmasının ve egemenliğinin teminatıdır. Stratejik metallere olan bakır, kullanım açısından büyük önem taşımakta olup endüstriyel ve ekonomik anlamda oldukça ilgi çekmektedir. Bakırın zenginleştirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan flotasyon işleminde bazı sınırlamalar vardır. Fiziko-kimyasal özelliklerin dikkate alınarak gerçekleştirildiği zenginleştirme yöntemlerinde, çok ince boyuttaki taneler sistemin bütünlüğünü bozabilmektedir. Flotasyon, çapı 200 µm'den daha küçük olan cevherlerde etkin bir zenginleştirme yöntemi olmasına rağmen ince ve çok ince tanelerin sistemde bulunduğu durumda etkinliği azalmaktadır. Bu da değerli minerallerin kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla süspansiyondaki çok ince tanelerin varlığı zenginleştirme işlemlerinin temel sorunudur.

## 1.2. Amaç

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, önemli bir bakır minerali olan kalkopiritin, flotasyona alternatif olarak agloflotasyon ile zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Böylece, ince boyuttaki kalkopiritin flotasyonunda yukarıda bahsedilen problemin aşılması söz konusu olabilecektir. Agloflotasyon yönteminde sırası ile ince boyuttaki kalkopiritin yağ aglomerasyonu ve sonrasında flotasyon ile yüksek verim ve yüksek tenörlü konsantrenin elde edilebilme olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır.

## 1.3. Tezin Önemi

Bakır, dünyada alüminyum ve demirden sonra en fazla kullanılan metal olup yılda yaklaşık 20 milyon ton bakır üretilmektedir. Bakır, imalat ve inşaat gibi farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Metallerin, özellikle bakır tüketiminin artması ve kullanılan cevherlerin bakır içeriğinin azalması, işletilebilir kaynakların azalmasına katkıda bulunmaktadır. Pazarın sürekli artan ihtiyacını karşılamak ve teknolojik gelişmelerin eşliğinde, cevherlerin işletilmesi ve zenginleştirilmesi için yeni yollar araştırılmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında, kalkopirit numunesi klasik flotasyonla zenginleştirilmiş ve optimum şartlar belirlenmiştir. Daha sonra flotasyon öncesi yağ aglomerasyonu yöntemi uygulanarak aglomere edilen kalkopirit numunesine daha önce tespit edilen şartlar altında flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan sonuçlar klasik

flotasyon yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve daha yüksek tenörlü ve yüksek verimli bakır konsantresi elde edilmeye çalışılmıştır.

Yağ aglomerasyonu yöntemi, ortam değişikliklerine çok duyarlı olmadığı, mineral elde etmede yüksek verimli olduğu ve konsantr kazanımı kolay olduğu için flotasyona bir alternatif olabilir. Aglomerasyon flotasyonu, hidrofoblaşma becerisi yüksek olan grafit, kükürt, mobildenit, kömür gibi mineraller ile çok ince öğütülmüş ilmenit, maganez, demir kasiterit cevherleri için etkili bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca antimonit cevherlerinin zenginleştirilmesi ve arsenikten ayrılmasında da aglomerasyon flotasyonu uygulanmıştır. (Akar, 1985; Choi ve ark, 2016). Ancak literatürde kalkopirit cevherinin agloflotasyon ile zenginleştirilmesine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla kalkopirit zenginleştirilmesinde geleneksel flotasyon yöntemleri yeterli olmadığında ya da ince boyuttaki kalkopirit cevherlerinin zenginleştirilmesinde literatürde henüz bir uygulaması ve örneği olmayan agloflotasyon yöntemi ile zenginleştirilebilme olanakları araştırılmıştır. Bu tez çalışması bu anlamda bir ilktir ve bu çalışma ile literatüre katkı yapılmış ve flotasyona alternatif olarak agloflotasyon ile nispeten yüksek tenörlü (% Cu) kalkopirit konsantresi elde edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bakır Hakkında Genel Bilgiler

Periyodik tablonun 1B grubunda yer alan simgesi Cu olan doğada saf halde çok az bulunan bakır, genelde sülfür, oksit veya kompleks şekillerde bulunmaktadır. Yüzey merkezli kübik kristal bir yapıya sahiptir. Atom numarası 29, yoğunluğu  $8.92 \text{ g/cm}^3$  ve düşük sertlikte bir elementtir. Yumuşak ve dövülebilen bir metal olması yanında mükemmel derecede şekillendirilebilir. Diğer metallerle kolaylıkla alaşım oluşturur. Uygulamada %99.88 ya da daha fazla Cu içeren metale saf bakır denilmektedir. Bu, bakır alaşımına aşınmaya karşı yüksek direnç ve ısı işlemlere ve şekillendirmeye uygunluk özellikleri kazandırır. En önemli fiziksel özelliği yüksek elektrik iletkenliğidir.

Bakırın yukarıda anlatılan özellikleri nedeniyle endüstride önemli bir yeri vardır. Çeşitli bakır veya alaşımlarının elektroteknik, elektronik, uçak, motor, haberleşme, elektrik üretimi ve dağıtımı, ev cihazları, ölçüm aletleri, savaş sanayii, kimya sanayii, inşaat, süs eşyaları gibi kullanım yerleri bulunmaktadır. Bakır, endüstriyel metaller arasında en iyi iletkenlik özelliğine sahiptir. Enerji verimli jeneratör, motor, transformatör ve yenilenebilir enerji kaynaklarında yüksek, orta ve düşük voltajlı güç kabloları için sıkça tercih edilir. Bakır, telekomünikasyon sektöründe de büyük bir önem taşır.

Günümüzde farklı bakır mineralleri bulunmaktadır. Endüstriyel, madencilik ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde içlerinden sadece bir kısmı işlenmeye ve çıkarılmaya uygun bulunmaktadır (Çizelge 2.1.). Bu minerallerin yaklaşık %85'inin sülfürlü, %15'inin oksitli mineraller olduğu bilinmektedir (Bulatovic, 2007). Başlıca bakır sülfid mineralleri kalkopirit, kalkosit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), kovellit ( $\text{CuS}$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), tetrahedrit ( $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) ve enarjittir ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ).

**Çizelge 2.1.** Başlıca bakır mineralleri.

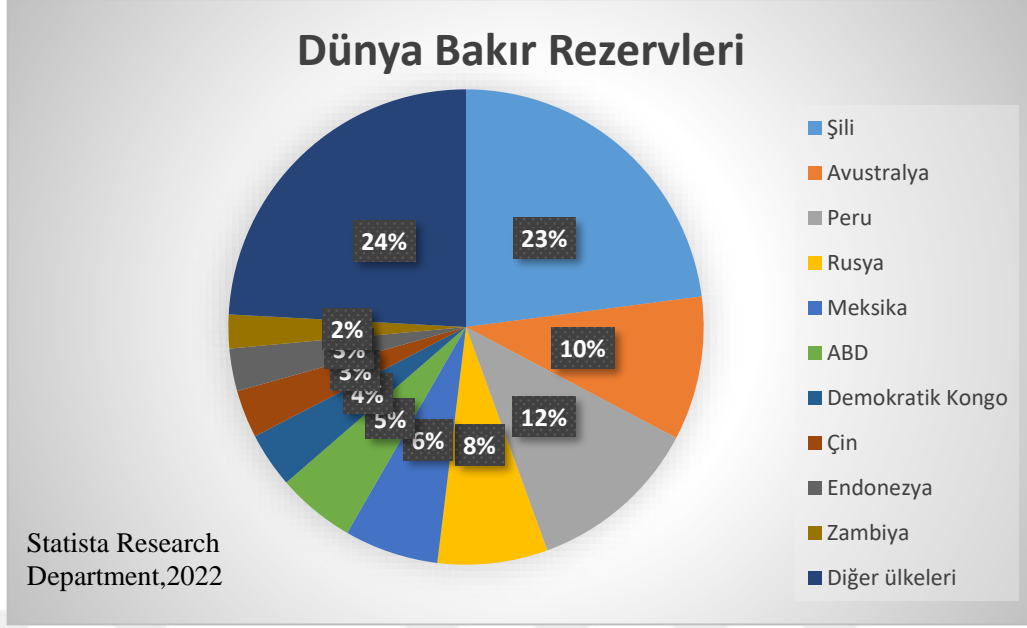
Mineral	Kimyasal Formülü	Bakır İçeriği (%)
Kuprit	$\text{Cu}_2\text{O}$	88.82
Tenorit	$\text{CuO}$	79.89
Kalkosit	$\text{Cu}_2\text{S}$	79.85
Kovellit	$\text{CuS}$	64.46
Bornit	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63.31
Malahit	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	57.48
Azurit	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55.31
Enarjit	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$	48.41
Tennantit	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	47.51
Tetrahedrit	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	34.80
Kalkopirit	$\text{CuFeS}_2$	34.63

En büyük bakır kaynağı, yukarıda belirtilen minerallerden bir veya daha fazlasının bulunduğu porfiri yataklardır. Sıradan bakır sülfür cevheri, genellikle pirit ( $\text{FeS}_2$ ) ve pirotit ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) ile çeşitli tiplerde farklı seviyelerde demir sülfürler içerir. Gang minerallerini ise kuvarstan talk ve killere kadar her türlü silikat mineralleri temsil edebilir.

Sülfürlü bakır mineralleri arasında en sık karşılaşılan kalkopirit, neredeyse tüm bakır cevher yataklarında bulunur. Bu mineralin, bornit, demirli kuprit ve piritle birlikte diğer sekonder bakır minerallerinin ilk halini oluşturduğu kabul edilmektedir. Doğal kalkopirit, %34.6 Cu, %30.4 Fe ve %34.9 S teorik bileşimi ile 183.5 g/mol moleküler ağırlığa sahiptir. Bu mineral, bronz bir renk de dahil olmak üzere genellikle yanardöner bir kararma ile pirinç sarısı bir renge sahiptir. Bazen oksidasyon nedeniyle çeşitli parlak tonlar veren bir yüzey tabakası oluşur.

### 2.1.1. Bakır rezervleri

Statista Research Department Ajansı'na göre (2022) dünyada 828 milyon ton bakır rezervi bulunmaktadır (Şekil 2.1). Bu rezervlere bakıldığında 190 Mt ile Şili ilk sırada gelmektedir. Bunu 97 Mt ile Avustralya, 81 Mt ile Peru, 62Mt ile Rusya, 53 Mt ile Meksika, 44 Mt ile ABD, 31Mt ile Demokratik Kongo, 27Mt ile Çin, 24Mt ile Endonezya ve 19Mt ile Zambiya izlemektedir. Diğer ülkelerin payı ise 200Mt'dur.



**Şekil 2.1.** Dünya bakır rezervleri (<https://fr.statista.com/statistiques/571213/reserves-de-cuivre-dans-le-monde-par-pays/>).

Türkiye’de bakır cevherleri oksitli, sülfürlü ve nabit olarak bulunmakta olup rezerv bakımından Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesi ön plana çıkmaktadır. En önemli bakır yatakları Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt Madenköy, Cerattepe ve Küre’dir. Türkiye’nin görünür bakır rezervi (Cu olarak) 1.697.204 tondur (M.T.A, 2023). Bakır yatakları porfiri bakır yatakları, masif sülfür yatakları, hidrotermal damarlar ve kontakmetasomatik yataklar olarak sınıflandırılır. Bu yatakların hidrotermal ve kontakmetasomatik olanları çok sayıda olmasına rağmen rezerv açısından küçüktür. Porfiri bakır yatakları Türkiye’de işlenemeyecek durumdadır. Şekil 2.2’de Türkiye bakır yatakları görülmektedir.



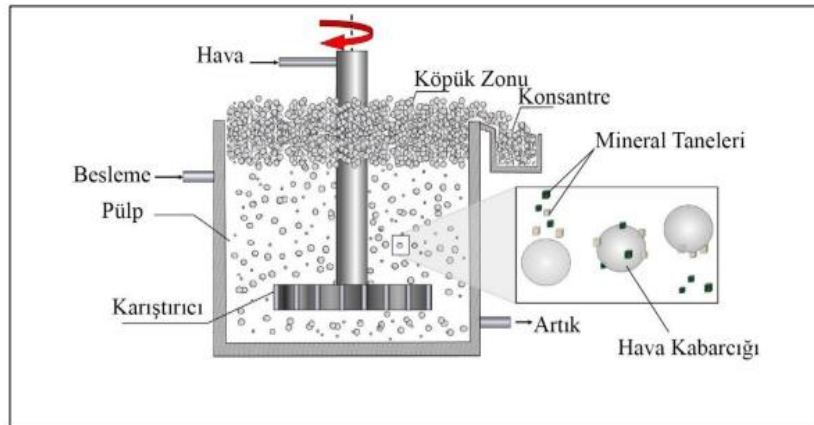
**Şekil 2.2.** Türkiye’deki bakır yatakları haritası (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari>)

## 2.2. Zenginleştirme Yöntemleri

### 2.2.1. Flotasyon

Kelime olarak yüzdürme anlamına gelen flotasyon, çok ince boyutta serbestleşen minerallere uygulanan bir zenginleştirme yöntemidir. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarına dayanan bu yöntem, temel olarak hidrofobik (aerofilik) mineral yüzeylerinin su içerisinde oluşturulan hava kabarcıklarına bağlanma eğilimlerini kullanır (Biswas, 1994).

Bu prosesin orijinal olarak kendisi için geliştirildiği metal sülfid mineralleri, genellikle doğada zayıf polardır ve sonuç olarak çoğu hidrofobik bir yüzeye sahiptir (Ba, 1997). Dolayısıyla mineral yüzeylerine birtakım reaktiflerle hidrofobik hale getirildikten sonra hava kabarcıklarına yapışma yeteneği kazandırılabilir. Hava kabarcığına yapışan taneler pülp (süspansiyon) yüzeyine taşınarak konsantreyi oluştururken yüzeye çıkmayan cevherden geriye kalan malzeme flotasyon artığını oluşturur.

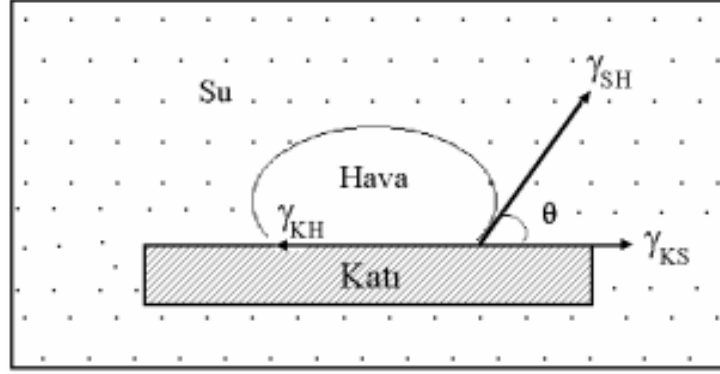


Şekil 2.3. Flotasyonun şematik gösterimi.

Flotasyondaki ana zorluklardan biri, hava kabarcıklarıyla düşük çarpışma verimliliğine neden olan düşük kütleleri nedeniyle yüzdürme yoluyla köpükten olarak geri kazanılması zor olan ince parçacıkların düşük geri kazanımıdır (Ralston, 1992; Hornn, 2020). Flotasyon genel olarak kompleks bir işlem olması dolayısıyla pek çok parametrenin etkisine bağlıdır ve elde edilen konsantrenin tenörü ve verim m değışkenlik gösterebilir. Mineral özellikleri, serbestleşme derecesi, tane boyutu, kullanılan reaktiflerin türü ve miktarları, flotasyon hücresinin özellikleri ve devre tasarımı gibi faktörler dikkate alınan parametrelerdir.

## Flotasyon Fazları

Flotasyonda katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç faz vardır (Şekil 2.4). Gaz faz, katı tanelerin köpük haline gelip yüzmesini sağlar. Flotasyonda en çok kullanılan gaz havadır. Sıvı fazı ise flotasyonda çoğunlukla sulandırılmış bir çözeltilidir. Katı fazın flotasyona etkisi, katının şeklinden ziyade yüzey nitelikleriyle ilgilidir (Kaytaç, 1990).



Şekil 2.4. Sıvı ortamda üç fazın temas açısı (Young, 1805)

Üç faz dengede iken;

$$\gamma_{\text{mineral-hava}} = \gamma_{\text{mineral-su}} + \gamma_{\text{su-hava}} \cos\theta \quad (2.1)$$

$$\cos\theta = (\gamma_{\text{mineral-hava}} - \gamma_{\text{mineral-su}}) / \gamma_{\text{su-hava}} \quad (2.2)$$

Burada;

$\gamma_{\text{SH}}$ : Su-hava ara yüzey gerilimi,

$\gamma_{\text{MH}}$ : Mineral-hava ara yüzey gerilimi,

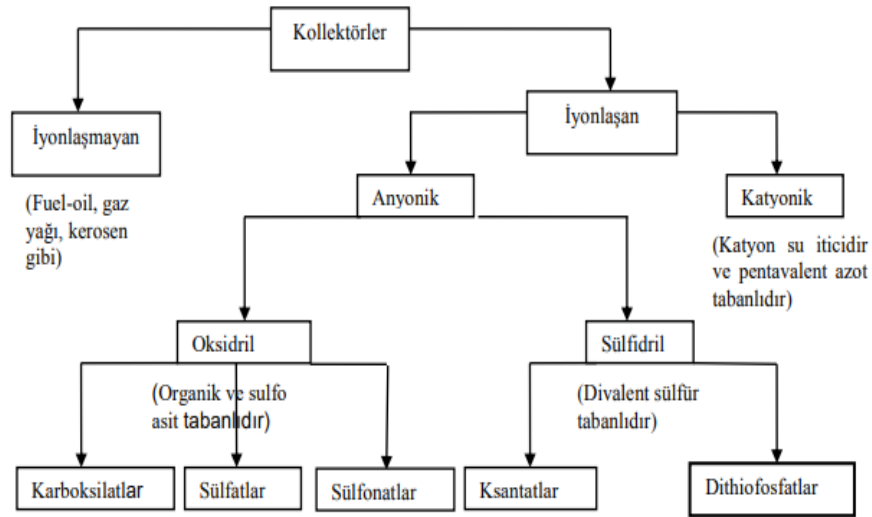
$\gamma_{\text{MS}}$ : Mineral-su ara yüzey gerilimidir.

Böylece Young eşitliği (2.2) elde edilmektedir. Young eşitliğindeki açıya temas açısı ( $\theta$ ) adı verilmektedir.  $\theta = 0$  durumunda su mineral yüzeyini tamamen ıslatmakta ve mineralin yüzmesi gerçekleşmemektedir. Yani suyun mineral yüzeyinde yayılmadan kalması ve bir temas açısı oluşturması, katının sıvı tarafından ıslatılmadığı anlamına gelir ve bu açının büyüklüğü katının ıslanabilirlik derecesine göre değişir. Yani temas açısı ne kadar büyük olursa, katının hidrofobitesi ve dolayısıyla yüzeyliliği o derece artmaktadır (Düzyol, 2009).

## Flotasyon Reaktifleri

Flotasyon minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarına dayanan bir yöntem olduğundan zenginleştirme için minerallerin yüzey özellikleri genelde değiştirilmelidir. Boyut küçültme ile yeterli serbestleşme sağlandıktan sonra, mineraller belirli oranda su ile karıştırılarak flotasyon pülpi oluşturulur. Daha sonra belirli sıra ile uygun miktarda reaktifler eklenerek uygun şartlar oluşturulur. Bu kimyasalların başlıca grupları;

**Toplayıcılar:** İlgilenilen mineralin yüzeyini değiştirerek onu hidrofobik yapan kimyasallardır. Tanelerin hava kabarcıklarına daha kolay yapışmasını ve tutunmasını sağlarlar. Doğru toplayıcı seçimi flotasyon için kritik öneme sahiptir ve mineral özellikleri toplayıcı (kollektör) seçimini etkilemektedir (Kawatra ve ark, 1992). Şekil 2.5'te toplayıcıların sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.5. Flotasyonda kullanılan toplayıcıların sınıflandırılması (Bulut ve ark, 2012)

**Köpürtücüler:** Sıvı-hava ara yüzüne adsorbe olarak hava kabarcıklarını oluştururlar. Flotasyonda stabil köpük elde etmek ve bunun devamlılığını sağlamak flotasyon performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Köpürtücüler yüzey gerilimini düşürürken iyi bir köpük küçük ve dayanıklı olmalıdır.

Köpürtücüler 3 ana gruba ayrılır: Alkol tipi (MIBC vb), parafinler ve poliglolikol tipi (Dowfroth, Aerofroth) (Woodburn, 1998; Bulut ve ark, 2012).

**Düzenleyiciler (Kontrol Reaktifleri):** Düzenleyiciler; canlandırıcılar, bastırıcılar ve pH düzenleyicileri şeklinde gruplandırılabilir.

Canlandırıcı reaktifler, minerallerin yüzey özelliklerini değiştirerek toplayıcıların etkisine katkıda bulunurlar. Böylece, mineralin hidrofobikliği ve köpük oluşumu artar. Bunlar genelde çözünen tuzlardır, suda iyonlara ayrılırlar ve bu iyonlar mineral yüzeyleriyle tepkimeye girerler. Örneğin bakır sülfat, sfalerit gibi bazı sülfürlü minerallerin flotasyonunda aktifleştirici olarak kullanılır. Bakır sülfat, çözeltide bakır iyonlarına ayrılır ve sfalerit yüzeyine bağlanır. Bu sayede, sfalerit yüzeyi ksantat gibi bir toplayıcıya daha uygun hale gelir.

Bastırıcılar, yüzmesi istenmeyen mineralleri suyu seven hale getirerek flotasyondan uzaklaştırırlar. Bastırıcılar, flotasyon sistemindeki ayrıştırma verimini ayarlamak için kullanılırlar. Örneğin çinko sülfat, sodyum metabisülfid ve kireç bunlara örnek olarak verilebilir. Organik ve inorganik olmak üzere iki tür bastırıcı vardır. Bastırıcılar, mineral yüzeyindeki toplayıcı moleküllerini uzaklaştırarak veya mineral yüzeyinin yükünü değiştirerek hidrofobikliği azaltır. Böylece, mineral hava kabarcıklarına yapışamaz ve pülp içinde kalır. Bastırıcılar, flotasyon sistemindeki seçiciliği artırmak için kullanılır.

pH düzenleyiciler ise, flotasyonda minerallerin yüzmesi için bazen asidik, bazen de bazik ortam gerekebilir. pH değerini azaltmak için sülfürik asit, artırmak için sodyum hidroksit veya kireç gibi kimyasallar flotasyon suyuna katılır. Bu kimyasallara pH düzenleyiciler denir. Flotasyonda kullanılan toplayıcı miktarı ile pH değeri arasında da bir bağlantı vardır (Aşık, 2018).

### **2.2.2. Yağ aglomerasyonu**

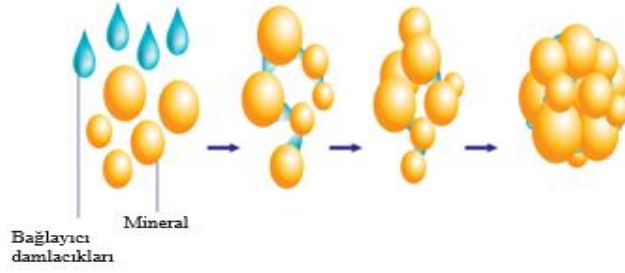
Zenginleştirme yöntemlerinde, süspansiyondaki var olan çok ince tanelerin davranışı ana sorundur. Flotasyon gibi fizikokimyasal özellik farklılığına göre zenginleştirme yapan yöntemlerde, çok ince tanelerden oluşan şlamın ya sistemden çıkarılması ya da çok iyi bir şekilde dağıtılması gerekir. Bu yüzden, kollektör içeren çözeltilerde ince tanelerin dağılma ve birleşme davranışlarının ayarlanması seçimli koagülasyon, seçimli flokülasyon, yağ aglomerasyonu ve taşıma flotasyonu gibi yöntemlerin gelişmesine katkı sağlamıştır (Capes ve ark, 1977).

Yağ aglomerasyon tekniği, kömür temizleme için 1920'lerin başında geliştirilmiş; o zamandan beri birçok kez değiştirilmiş ve geliştirilmiştir (Mehrotra ve ark, 1983, Bilal ve ark, 2022). Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi gaz yağı, bitkisel yağ ve dizel yağ gibi çeşitli yağlar ultra ince tanelerin flotasyonunu iyileştirmek için aglomerasyonda köprüleme sıvıları olarak kullanılmaktadır (Bilal ve ark, 2022). Bu nedenle, yağ aglomerasyonunda küçük miktarlarda yağ sisteme katıldığında, hidrofobik taneler yağla kaplanır ve aglomeratlar oluşturmak için bir araya gelip yapışırken, hidrofilik taneler etkilenmez ve daha sonra aglomere ürünler çeşitli yöntemlerle (eleme gibi) süspansiyondan ayrılabilir. Başka bir ifadeyle, yağ aglomerasyonu, doğal hidrofobik ya da toplayıcılar ile yüzeyleri hidrofobik yapılmış minerallerin yağlar ile bir araya getirilmesi işlemidir (Bensley ve ark, 1977).

Yağ aglomerasyonunun temel prensipleri ve çeşitli işletme parametrelerinin etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Mehrotra ve ark., 1983; Laskowski ve Yu, 2000; Gray ve ark., 2001; Aktaş, 2002; Alonso ve ark., 2002; Cebeci ve Sönmez, 2002, Cebeci ve ark., 2002; şahinoğlu ve Uslu, 2008; Valderrama ve Rubio, 2008).

Bu işlemdede kullanılan yağlar, orta ila yüksek kesme koşulları altında hidrofobik etkileşimler yoluyla ince mineral tanelerini birbirlerine bağlamak için köprü sıvı görevi görür (Jiangang ve ark, 2012). Süspansiyonun karıştırılması ile yağ mineral tanelerinin yüzeyinde dağılır. Yüksek karıştırma ile tanelerin çarpışması yoluyla taneler üzerinde yayılmış olan köprü sıvılar arasında bir etkileşim meydana gelerek taneler bir araya gelirler. Şekil 2.6'da aglomerasyonu sistemin şematik görünümü verilmiştir. Aglomerasyon, taneler arası çarpışmalardan ve köprü sıvısı tarafından kaplanan tanelerin yapışmasından kaynaklanır. Burada taneler arası bağlar, oluşan aglomeraların yapısal stabilitesini korur. Taneler arasındaki bağ kuvveti sıvılar arasındaki ara yüzey tarafından kontrol edilir (Garcia ve ark, 1996; 1998). Aglomerasyon işlemini başarısı mineral özelliklerinden en çok hidrofobisiteye bağlıdır.

Yağ aglomerasyonu yönteminde, sistemi kontrol eden en kritik parametreler; cevherin yüzeyinin nitelikleri, katı oranına bağlı olarak kullanılan bağlayıcının (yağ) oranı ve türü ve karıştırma hızı ile aglomerasyon süresidir (İnan, 2019).



**Şekil 2.6.** Aglomerasyonu sistemin şematik görünümü  
(<https://www.yemmak.com/tr/aglomerasyon-turleri-ve-proses-icinde-istenmeyenaglomerasyonu-azaltma-onerileri>)

**Bağlayıcı sıvı türü ve konsantrasyonu:** Yağ aglomerasyonunun başarılı bir sonuca ulaşması büyük ölçüde yağın akıllıca seçilmesine bağlıdır. Köprüleme sıvısının özellikleri, örneğin yoğunluk, viskozite ve fonksiyonel gruplar, aglomerasyon işleminin verimini ve hızını, mineral-madde gideriminin derecesini, aglomeratların şeklini, boyutunu ve mekanik dayanımını ve son ürünlerin kapiler yapısını belirler. Mazzone ve ark (1986), birbirlerine göre yeterince yüksek hızlarda hareket eden iki parçacık arasındaki sıvı-köprüleme davranışını incelemiş ve sıvı köprülerinin, özellikle sıvılar çok viskoz ise, statik koşullara göre dinamik koşullarda daha güçlü olduğunu bildirmişlerdir. Yağ aglomerasyonunun diğer önemli kısıtları, gereken yağ miktarı ve yüksek karıştırma hızıdır. Bu sorun, emülsifiye yağ kullanıldığında aşılabilmektedir. Böylece küçük yağ damlacıkları kararlı hale gelir ve güçlü hız gerekmez (Bilal ve ark, 2022).

**Karıştırma hızı ve süresi:** Aglomerasyon işleminde yüksek devirde karıştırma, tanelerin sisteme ilave edilen yağla ve birbirleriyle çarpışıp, büyük ve sağlam yapılı aglomeratlar oluşturması açısından oldukça önemli bir parametredir.

Karıştırma hızı, aglomeratlar oluşturmak için gereken süreyi etkilemektedir. Yüksek karıştırma hızları yüksek kesme ve türbülans oluşturarak, yağ dağılımını daha düzgün hale getirmekte ve çarpışma sıklığını artırmakta, böylece düşük karıştırma hızlarında gerekene göre daha kısa süre yeterli olabilmektedir. Aglomerasyon ünitesindeki bariyerlerin varlığı da daha fazla türbülans oluşturmaya ve güç tüketimini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Özer ve ark, 2017).

### 2.2.3. Agloflotasyon

Genelde flotasyon ile zenginleştirmede çok ince tane boyutlarında yöntemin etkinliği azalmaktadır. Bu boyuttaki tanelerin flotasyon öncesi aglomerasyon ile boyutlarının büyütülerek, elde edilen aglomeratların yüzdürülmesi işlemi agloflotasyon olarak tanımlanır. Bu yöntem, yağ aglomerasyon işlemi ve flotasyon işleminin bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Çok ince boyuttaki minerallerin flotasyon makinesine beslemesinden önce yağ ile flotasyon için uygun bir boyuta kadar bir araya getirilmesi ile sorunun üstesinden geldiği bir teknik geliştirilmiştir. Agloflotasyon sürecini etkileyen birçok faktör vardır ve bunların farklı yağ türleri ve dozajları, köpürtücü dozajları, pH, karıştırma süresi ve yoğunluğu sayabilmektedir (Jiangang ve ark, 2012).

Bu zenginleştirme işleminde, gaz yağı, mazot, diğer petrol türevleri ve bitkisel yağ gibi sıvı hidrokarbonların çoğu, tane boyutunu artırarak ultra ince parçacıkların yüzebilirliğini iyileştirmek için kullanılan köprü reaktifleri olarak kullanılabilir.

Literatürde yağ aglomerasyonu sonrasında elde edilen aglomeratların flotasyon yöntemi ile kazanıldığı çalışmalara kömür için rastlanmak mümkündür.

Gence (2006), %49.49 küllü Zonguldak kömürünün çeşitli yağlarla aglomerasyonunu araştırmıştır. Aglomerasyon sonrası flotasyon ile %92.17 yanabilir verimle kazanılan aglomeratların külü %10.87'dir.

Abakay ve Bozkurt, (2008), Adıyaman Gölbaşı bulunan linyit, %29.47 kül ve %2.78 kükürt içeren linyiti flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemleriyle zenginleştirmişlerdir. Yaptıkları yüzdürme batırma deneyleri, linyitin yıkanmasının zor olduğunu göstermiştir. Flotasyonda %15.04 kül, %1.19 kükürt, %27.59 yanabilir verim; aglomerasyonda %14.89 kül, %1.45 kükürt, %80.59 yanabilir verim; agloflotasyonda %14.23 kül, %1.71 kükürt ve %86.59 yanabilir verim elde edilmiştir.

Şahinoğlu (2018), Artvin Müzret kömürü üzerinde yaptığı çalışmasında, kömürün kül ve kükürt oranları çok yüksektir (%35.65 ve %7.91). Bu kömürü temizlemek için flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada, bu üç yöntemin verimliliği karşılaştırılmıştır. En yüksek verim agloflotasyon ile elde edilmiştir (%93.45). En yüksek verim indeksi ise flotasyon ile elde edilmiştir (%41.68). Yağ olarak atık yağ kullanılmıştır. Atık yağ miktarı arttıkça, verim azalmıştır. Yağ aglomerasyonu

deneylerinde ise %10 atık yağ miktarında en yüksek yanabilir verim (%87.15). Agloflotasyonda %1 atık yağ ile en yüksek yanabilir verim sağlanmıştır (%92.18).

Hacıfazlıoğlu ve ark., (2019) yapmış oldukları çalışmada, bir kömür yıkama tesisinin %33.75 kül içeriğine sahip -500 µm boyutundaki atıklarına agloflotasyon uygulamış %33.75 kül içeren atıklar soya yağı ile karıştırılıp aglomera edildikten sonra direk flotasyon selülüne beslemiş ve temiz kömür yüzdürülerek alınmıştır. Agloflotasyon işlemi sonucunda %14.80 kül içeren kömür elde edilmiştir. Flotasyonda sıklıkla kullanılan gaz yağı ve bitkisel soya yağı ile deneyler yapılmış sonuçlar karşılaştırılmıştır. Soya yağının verim ve seçimlilik açısından gaz yağının verim ve seçimliliğine göre %20 daha düşük performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bakırın agloflotasyon ile zenginleştirilmesi konusu hala yenidir ve literatürde bu alanda bilinen yayınlarına rastlamak zordur. Bu tez çalışmasını yapmaya başladıktan sonra yayınlanan bir çalışma olmuştur. Hornn ve ark (2020 (a)), çalışmasında, ( $D_{50} = 3,5$  mikrometre boyutuna öğüttüğü kalkopiritin önce yağ aglomerasyonunu daha sonra buradan elde ettiği aglomeratların flotasyonunu araştırmış ve klasik flotasyonla karşılaştırılarak flotasyon verimini arttırmıştır. Çalışmasında saf kalkopirit numunesi, toplayıcı olarak KAX, bağlayıcı sıvı olarak emülsifiye gaz yağı kullanmış ayrıca tane büyüklüğünün, gaz yağı miktarının, aglomerasyon süresinin ve KAX dozajının aglomerasyon flotasyonuna etkileri de incelemiştir.

Başka bir çalışmada ise Hornn ve ark (2020 (b)), karıştırma hızının kalkopiritin agloflotasyonu üzerine etkisini incelemiştir. Artan hız, KAX ve kerosen dozajları ile Cu kazanımını daha da artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmalarının devamında kalkopirit ve kuvars yapay karışımının aglomerasyon flotasyonunda elde ettikleri köpükteki Si miktarı düşük olmuş ve değişen koşullarla değişmediğini ifade etmişler ayrıca arttan karıştırma hızının, KAX ve gaz yağı miktarının artırılmasıyla Cu kazanımını önemli ölçüde iyileştirdiğini ve ayırma verimliliği arttırdığını bulmuşlardır.

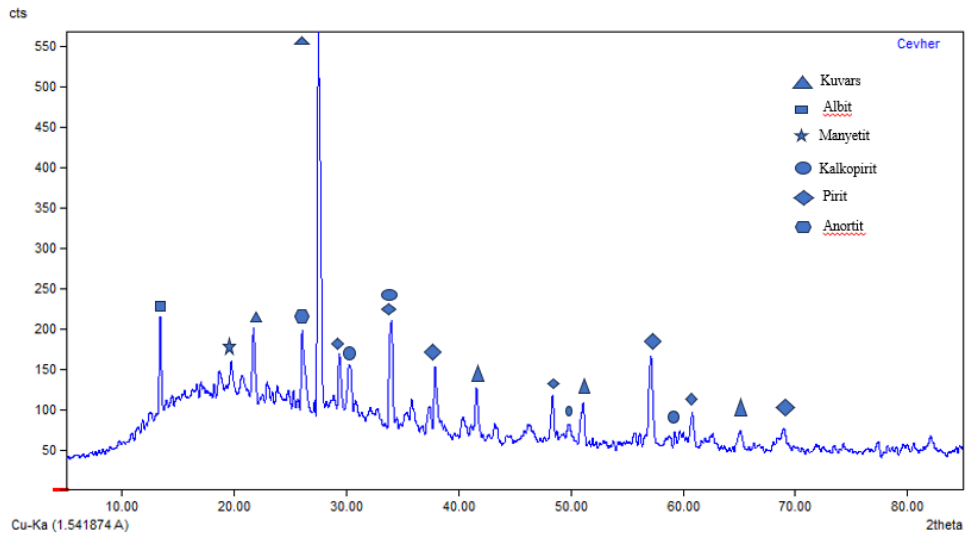
### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Sülfürlü cevher numunesi

Deneylerde kullanılan cevher numunesi Kastamonu il merkezinin 70 km doğusunda bulunan Hanönü ilçesi sınırlarında faaliyet gösteren Gökırmak bakır madeninden temin edilmiştir (Acacia Maden İşletmeleri). Cevherleşme volkanik-subvolkanik ve çökel birimlerin metamorfizması ile oluşmuş olup Çangaldağ Kompleksi (Akgöl formasyonu) içerisinde yer almaktadır. Bölgede cevherleşmeler masif, bantlı ve saçınımlı olmak üzere üç farklı tipte izlenir. Cevherleşmenin mineral içeriğine bakıldığında pirit baskınken daha az pirotin, kalkopirit, sfalerit ve manyetit izlenmektedir. Kuvars, karbonat, albit, serizit, epidot ve klorit gang mineralleri olarak cevherleşmeye eşlik ettiği belirtilmektedir (<http://www.acacia.com.tr>, 2023).

Konya Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilen XRD analiz sonuçlarında cevher içerisinde pirit, kalkopirit ve manyetit görünürken ilaveten gang minerallerinden ise kuvars, albit ve anortitin varlığı tespit edilmiştir. Ocaktan gelen tüvenan cevhere ait XRD sonuçları Şekil 3.1’de verilmiştir. Sülfürlü bakır numunesinin Cu kaynağı ana minerali kalkopirit mineralidir.



Şekil 3.1. Tüvenan cevherin XRD analizi.

İşletmedeki yetki kişilerle yapılan görüşmede cevherin yaklaşık %40-50 oranında pirit, %5-10 oranında kalkopirit ve diğer kalan kısmının ise gang mineralleri olduğu

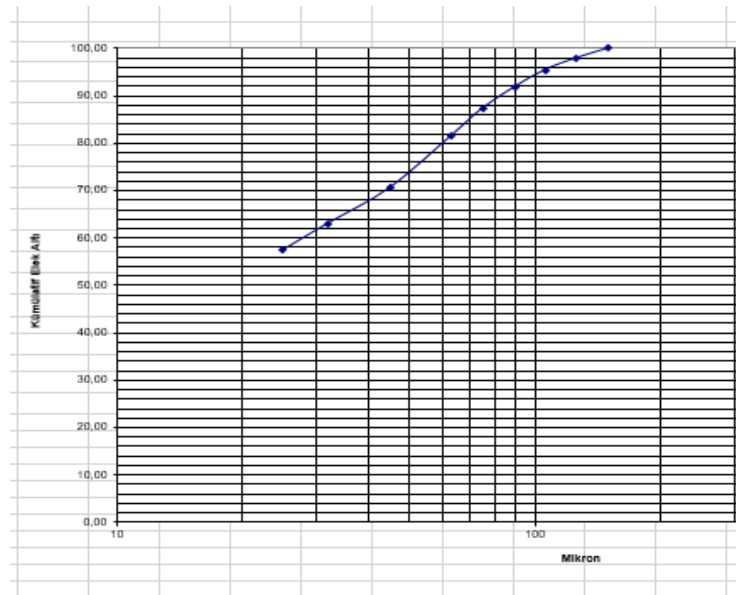
belirtilmiştir. Gang minerali olarak çoğunlukla kil mineralleri mevcuttur. Cevher zenginleştirilmesi tesiste flotasyon yöntemi ile yapılmaktadır.

Tesiste ilk kademede kaba flotasyon uygulanmakta ve tüm sülfürlü mineraller yüzdürülmektedir. Bu aşamada PAX ve Aero3894 toplayıcıları ile Oreprep F549 kodlu bir köpürtücü kullanılmaktadır. İkinci bölümünde ise selektif flotasyon yapılmakta ve bakır konsantrasi elde edilmektedir. Selektif flotasyonda Aero3894 toplayıcısı ve pH düzenleyici olarak kireç sütü kullanılmaktadır.

Cevherin özgül ağırlığı, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına piknometre testleri ile belirlenmiş ve  $2.57 \text{ g/cm}^3$  olarak hesaplanmıştır.

### 3.1.2. Numunenin deneylere hazırlanması ve analizler

Tesisin stok sahasından alınan yaklaşık 100 kg cevher numunesi Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiştir. Getirilen numune homojen bir şekilde konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılarak, yaklaşık 30 kg'ı, boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmuştur. İnce boyutta deneylere hazırlanan numunenin tane boyut dağılımı tespit edilmiş ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2'den görüldüğü gibi tanelerin %80'nin geçtiği elek açıklığı ( $d_{80}$ )  $60.65 \mu\text{m}$  iken tanelerin yaklaşık %60'ı ise  $30 \mu\text{m}$  altındadır.



Şekil 3.2. Numunenin tane boyut dağılımı grafiği.

Numunenin bakır ve demir tenörünü belirlemek için yaklaşık 0.3 gram numune kral suyunda (3 birim HCl+ 1 birim HNO<sub>3</sub>) çözündürülmüştür. 100 ml hacmindeki balon jöjeye alınan çözünmüş numune saf su ile seyreltikten sonra GBC marka SensAA model atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) kullanılarak analizler yapılmıştır. Numunenin bakır ve demir içerikleri sırasıyla %2.01 ve %25.94 olarak belirlenmiştir.

### 3.1.3. Deneylerde kullanılan reaktifler

Bu tez çalışmasında kullanılan reaktifler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneylerde 4 farklı toplayıcı, 3 farklı yağ kullanılmış ve tüm deneyler monodistile su kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deneylerde kullanılan reaktifler ve özellikleri.

Kullanım amacı	Kimyasal adı	Kimyasal bileşimi	Saflık derecesi
pH düzenleyici	Sodyum hidroksit	NaOH	97
Bastırıcı	Sodyum silikat	Na <sub>2</sub> O <sub>n</sub> SiO <sub>2</sub>	99
Toplayıcı	Aerophine 3418A	Sodyum diisobutyldithiophosphate	50
	SIPX	Sodyum İzopropil Ksantat	99
	SIBX	Sodyum İzobütil Ksantat	99
	KEX	Potasyum Etil Ksantat	99
Bağlayıcı sıvı	Gaz yağı		
	Mazot		
Köpürtücü	Bitkisel/ evsel atık yağ		
	MIBC	Metil İzobütil Karbinol (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O)	99

### 3.1.4. Deneylerde kullanılan ekipmanlar

Bu tez çalışmasında Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ekipmanlar kullanılmıştır. Boyut küçültme işlemleri için çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen kullanılmıştır. Heidolph RZR 2021 modeli mekanik karıştırıcı, Denver tipi flotasyon makinası, U150 Piramid Etüv ve pH ölçümleri için Hanna marka dijital pHmetre kullanılmıştır.

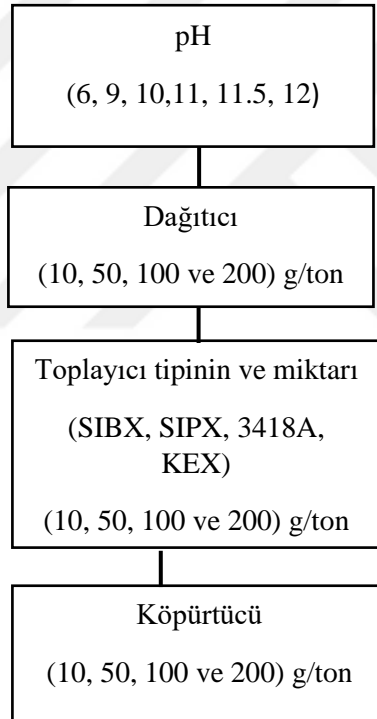
## 3.2. Metot

### 3.2.1. Flotasyon deneyleri

Flotasyon deneyleri bu tez çalışmasının asıl konusu olan agloflotasyon deneylerinde çalışılacak optimum koşulların önceden tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda flotasyon ve agloflotasyondan elde edilen

konsantrelerin verim ve tenörleri de karşılaştırılarak agloflotasyon yönteminin sülfürlü bakır cevheri üzerindeki etkinliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Flotasyon deneylerinde, saf su ve cevherden oluşan pülp homojen bir karışım için 1 dakika süre ile karıştırılmıştır. Daha sonra sırasıyla; pH düzenleyici, bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü ilavesi yapılmış sonrasında sisteme hava verilerek köpük alımı gerçekleştirilmiştir. Deneylerde katı oranı % 15, pH kondüsyon süresi 5 dakika, karıştırma hızı 1000 dev/dak, dağıtıcı kondüsyon süresi 3 dakika, toplayıcı kondüsyon süresi 10 dakika, köpürtücü kondüsyon süresi 1 dakika ve köpük alma süresi 3 dakika olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde pH, dağıtıcı miktarı, toplayıcı miktarı ve tipinin ile köpürtücü miktarı araştırılan parametrelerdir. Flotasyon deneylerinde izlenen akım şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



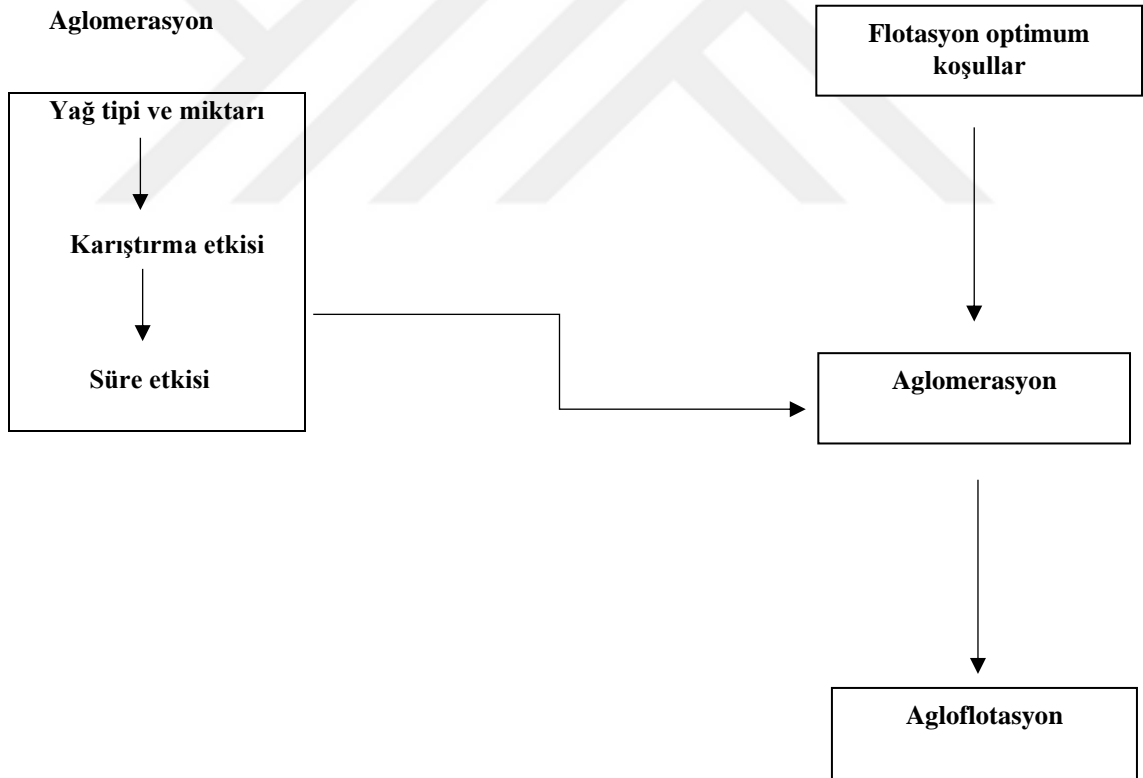
Şekil 3.3. Flotasyon deneylerinde izlenen akım şeması.

### 3.2.2. Agloflotasyon deneyleri

Agloflotasyon teoride flotasyondan farklı olarak sisteme ilave edilen yağın yardımıyla oluşturulan aglomeratların yüzdürüldüğü bir yöntemdir. Bu nedenle agloflotasyon deneyleri iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada, daha önceki flotasyon deneylerinde belirlenen optimum koşullar uygulanarak yağ aglomerasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aglomerasyon deneyleri, içerisinde 6 adet bariyer bulunan

cam beherde, toplayıcıyı sonrasında bağlayıcı sıvı (yağ) ilavesi yapılmış ve uygun şartlar altında aglomeratlar oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise bu aglomeratlar flotasyon hücrelerine transfer edilerek köpürtücü ilavesi yapılmış böylece aglomeratların yüzdürülmesi ile agloflotasyon deneyleri tamamlanmıştır. Deneylerde yağ miktarı ve tipi, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresi araştırılan deneysel parametrelerdir.

Yağ aglomerasyonunda kullanılan yağlar, su içerisinde çözünememelerinden ve yüksek viskozitelerinden dolayı mineral taneleri ile temasa geçebilmeleri oldukça zordur (Polat ve ark, 2003). Bu anlamda kullanılan yağ miktarını azaltmak ve yağın etkinliğini arttırmak için yağ-su emülsiyonlarının kullanılması uygundur (Polat ve Chander, 1995). Deneylerde yağ, su ile emülsifiye halinde sisteme eklenmiş ve bunun için mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Agloflotasyon deneylerinde izlenen akım şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Agloflotasyon deneylerinde izlenen akım şeması.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

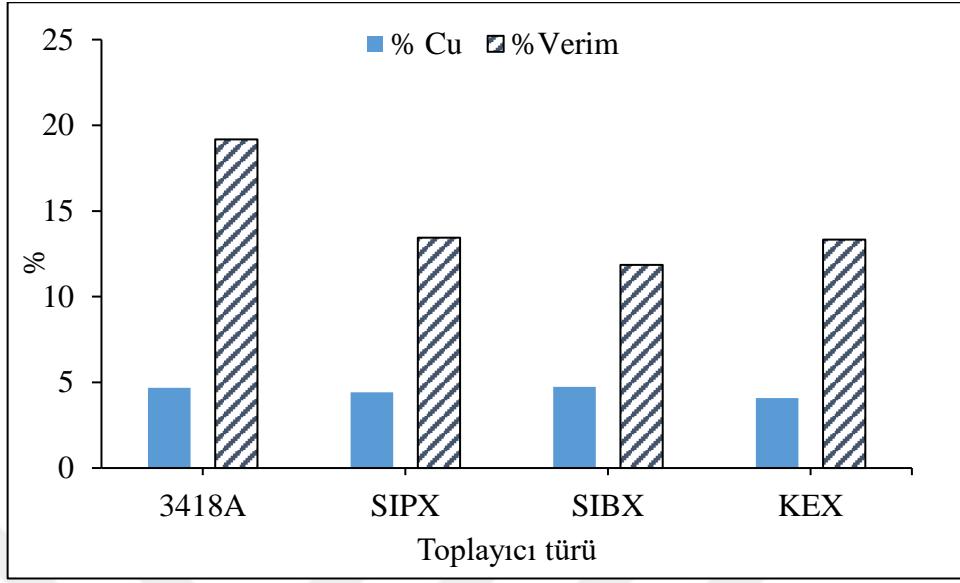
### 4.1 Kalkopirit Flotasyonu

#### 4.1.1. Kalkopiritin flotasyonuna toplayıcı türünü etkisi

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda yaygın olarak ksantat veya dithiofosfat tipinde toplayıcılar kullanıldığı bilinmektedir (Hayes,1993; O'Connor ve Dunne, 1994; Allan ve Woodcock, 2001). Deneyleerde 3418A, SIPX, SIBX ve KEX olmak üzere 4 farklı tip toplayıcının etkinliğine bakılmıştır. Tüm testlerde, 10 g/ton toplayıcı kullanılırken koşullandırma süresi 10 dakika olarak sabit tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.1.'de verilmiştir. Deneyleer süspansiyonun doğal pH'ı olan 6'da gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı toplayıcılar ile kalkopiritin flotasyon sonuçları.

Toplayıcı tipi	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
3414A	Konsantre	12.34	8.23	4.68	30.68	13.52	57.08	29.40	19.17	9.04	5.72
	Artık	137.68	91.77	1.77	25.52	5.11	51.48	43.41	80.83	90.96	94.28
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
SIPX	Konsantre	9.15	6.10	4.43	29.21	12.79	54.39	32.82	13.44	6.39	4.74
	Artık	140.86	93.90	1.85	25.73	5.35	51.78	42.87	86.56	93.61	95.26
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
SIBX	Konsantre	7.55	5.04	4.73	22.80	13.65	40.05	46.30	11.85	3.88	5.52
	Artık	142.46	94.96	1.86	26.11	5.39	52.57	42.05	88.15	96.12	94.48
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
KEX	Konsantre	9.83	6.55	4.09	24.41	11.81	44.73	43.46	13.33	5.64	6.74
	Artık	140.20	93.45	1.86	26.05	5.38	52.44	42.18	86.67	94.36	93.26
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.1. Toplayıcı türünün kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

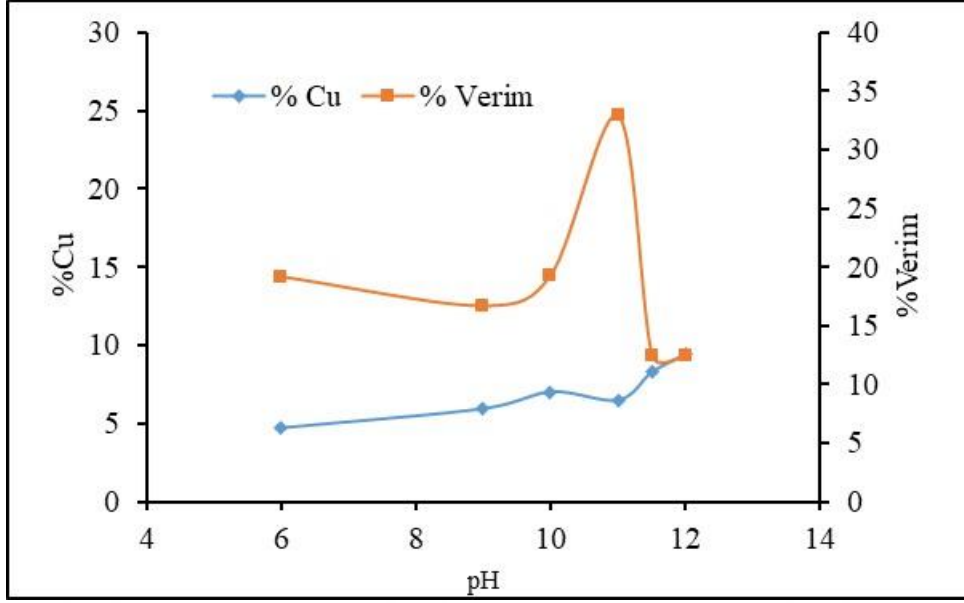
Kullanılan toplayıcıların tamamı bakır kazanımında etkili olmuştur. Ancak, Şekil 4.1'den de görüleceği gibi, 4 farklı toplayıcı kullanılarak elde edilen konsantrelerin bakır tenörleri birbirine yakın olmasına rağmen 3418A ile elde edilen konsantre verimi % 19.17 ile en yüksek değerdedir. En yaygın bakır sülfid flotasyon toplayıcıları hidrojen sülfür (-SH) sınıfı olup aynı zamanda tiyol, sülfhidril grubu veya merkaptto grubu (C-S) olarak da bilinir. Tiyol toplayıcıların polar grubunda oksijene bağlı olmayan bir kükürt atomu bulunur. Genel kimyasal formülü  $ROCS_2M$ 'dir, burada R bir alkil grubu ve M bir metaldir. Çözeltide, bu reaktif ayrışarak aktif iyon olarak  $ROCS_2^-$  ksantat iyonunu bırakır ve yüzeyde reaksiyona girer. Adsorbe olduğunda mineralin suyla olan afinitesini hidrokarbon zinciri açığa çıkararak değiştirir. (Castellón ve ark., 2022). Burada ksantat grubu toplayıcılar ve ditiyofosfat grubu toplayıcılar kalkopirit flotasyonunda etkili olmuş ve toplayıcı türünün pozitif etkisi verimde ufak bir artışla 3418A toplayıcısında gözlemlenmiştir. Aerofine 3418A fosfat tabanlı sülfürlü bir toplayıcı olduğundan bakır minerallerinin flotasyonunda özel olarak tercih edilmektedir (Agacayak ve Yılmaz, 2021) ve kalkopirit yüzeylerine adsorbsiyonu kimyasal yolla olmaktadır (Liu et al., 2023).

#### 4.1.2. Kalkopiritin flotasyonuna pH'ın etkisi

Flotasyonda seçimliliğin sağlanması için etkin bir ayırma oldukça önemli olup, reaktifler ve mineral yüzeyleri süspansiyonun pH'sından etkilenmektedir. Sülfürlü bakır minerallerinin flotasyonu için en uygun ortam genelde alkali ortamdır çünkü ksantat dahil birçok toplayıcı alkali ortamda kararlıdır (Castellón ve ark., 2022). Dolayısıyla farklı pH değerlerinde gerçekleştirilen flotasyon sonuçları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı pH değerlerinde kalkopiritin flotasyon sonuçları.

pH değerleri	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
6	Konsantre	12.34	8.23	4.68	30.68	13.52	57.08	29.40	19.17	9.04	5.72
	Artık	137.68	91.77	1.77	25.52	5.11	51.48	43.41	80.83	90.96	94.28
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
9	Konsantre	8.49	5.66	5.92	30.05	17.09	53.39	29.52	16.66	5.81	3.95
	Artık	141.53	94.34	1.77	25.69	5.13	51.85	43.02	83.34	94.19	96.05
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
10	Konsantre	8.32	5.55	7.00	27.19	20.22	45.20	34.58	19.32	4.83	4.54
	Artık	141.70	94.45	1.72	25.87	4.96	52.33	42.71	80.68	95.17	95.46
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
11	Konsantre	<b>5.73</b>	<b>3.82</b>	<b>6.46</b>	<b>24.46</b>	<b>22.52</b>	<b>37.83</b>	<b>39.66</b>	<b>32.93</b>	<b>2.78</b>	<b>3.59</b>
	Artık	144.28	96.18	1.83	26.00	5.14	52.50	42.36	67.07	97.22	96.41
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
11,5	Konsantre	4.52	3.01	8.26	21.86	23.85	31.36	44.78	12.39	1.82	3.19
	Artık	145.49	96.99	1.81	26.07	5.24	52.58	42.18	87.61	98.18	96.81
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
12	Konsantre	3.99	2.66	9.38	20.29	27.08	25.87	47.04	12.41	1.32	2.96
	Artık	146.04	97.34	1.81	26.10	5.22	52.65	42.13	87.59	98.68	97.04
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.2. pH'nın kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

Flotasyonda pH düzenleyici olarak çoğunlukla kireç ve sodyum hidroksit kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak düşük maliyeti nedeniyle kireç tercih edilirken bilimsel çalışmalarda çoğunlukla NaOH ile çalışılmaktadır. 3418A'nın, pH > 9'da bakır sülfid flotasyonu için etkili bir toplayıcı olduğu ve kalkopirit yüzeylerine adsorpsiyonunun da kimyasal yolla olduğu bilinmektedir (Buckley and Woods, 1993).

Deneylerde pH 11'de elde edilen flotasyon konsantrasyonunun bakır tenör ve verimi sırasıyla %6.46 ve %32.93 ile en yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle daha sonraki aşamalarda yapılacak olan deneylerde pH değeri 11 olarak sabit tutulmuştur.

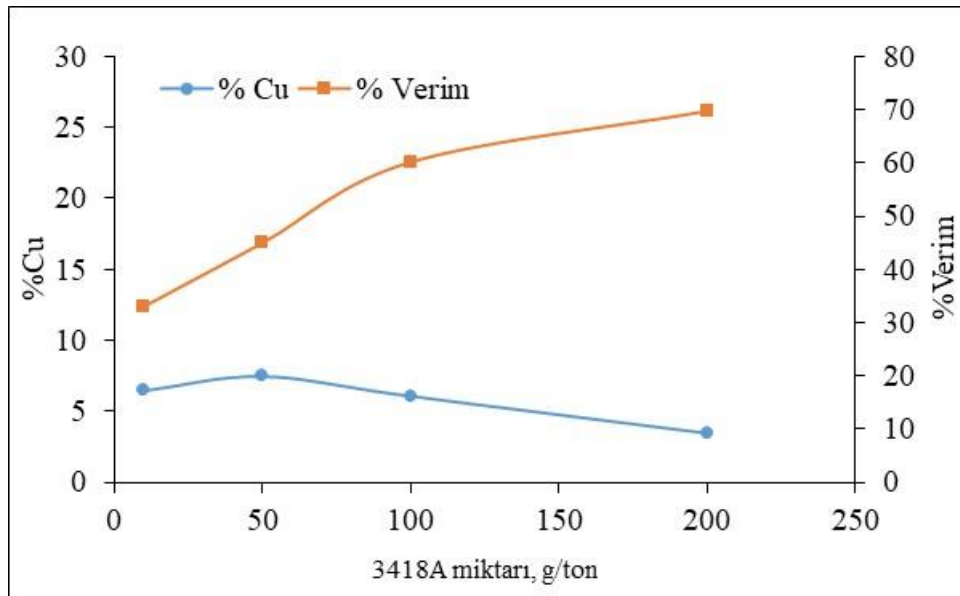
Sülfidli bakır flotasyonunda piritin bastırılması yüksek pH'da genellikle zordur. Özellikle pirit yüzeyi galvanik etkileşimle bakır minerallerinden çözünen bakır iyonları tarafından aktive edildiğinde piritin bastırılması daha güç olmaktadır (Ayışkan, 1974; Kocabağ, 1992). Piritin konsantrasyonda görünmesi istenmeyen bir durumdur. Flotasyondan sonra pirometalurjik aşamalarda oksidasyon reaksiyonları sonrasında kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ortaya çıkarak çevreye salınabilir. Piritin bastırılmasının en yaygın yöntemi pülpün pH'ını 10.5'in üzerine yükseltmektir. Bu durumda genellikle demir sülfidin yüzebilirliğinde belirgin bir azalma olur.

#### 4.1.3. Kalkopiritin flotasyonuna toplayıcı miktarının etkisi

3418A miktarının kalkopiritin verim ve bakır tenörü üzerindeki etkisinin anlaşılması amacıyla farklı miktarlarda (10, 50, 100, ve 200 g/ton) toplayıcı ile flotasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 3418A miktarına bağlı olarak kalkopiritin flotasyon sonuçları.

Toplayıcı miktarı (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
10	Konsantre	15.36	10.24	6.46	22.46	18.67	36.06	45.28	32.93	7.11	10.97
	Artık	134.66	89.76	1.50	26.34	4.34	53.75	41.92	67.07	92.89	89.03
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
50	Konsantre	18.07	12.04	7.50	29.05	21.66	48.25	30.10	44.95	11.19	8.58
	Artık	131.96	87.96	1.26	25.52	3.63	52.44	43.92	55.05	88.81	91.42
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
100	Konsantre	<b>29.86</b>	<b>19.90</b>	<b>6.08</b>	<b>35.02</b>	<b>17.56</b>	<b>63.76</b>	<b>18.68</b>	<b>60.23</b>	<b>24.43</b>	<b>8.80</b>
	Artık	120.17	80.10	1.00	23.69	2.88	49.00	48.12	39.77	75.57	91.20
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
200	Konsantre	61.72	41.14	3.41	37.16	9.85	73.40	16.75	69.85	58.13	16.31
	Artık	88.31	58.86	1.03	18.10	2.97	36.94	60.09	30.15	41.87	83.69
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.3. Toplayıcı miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

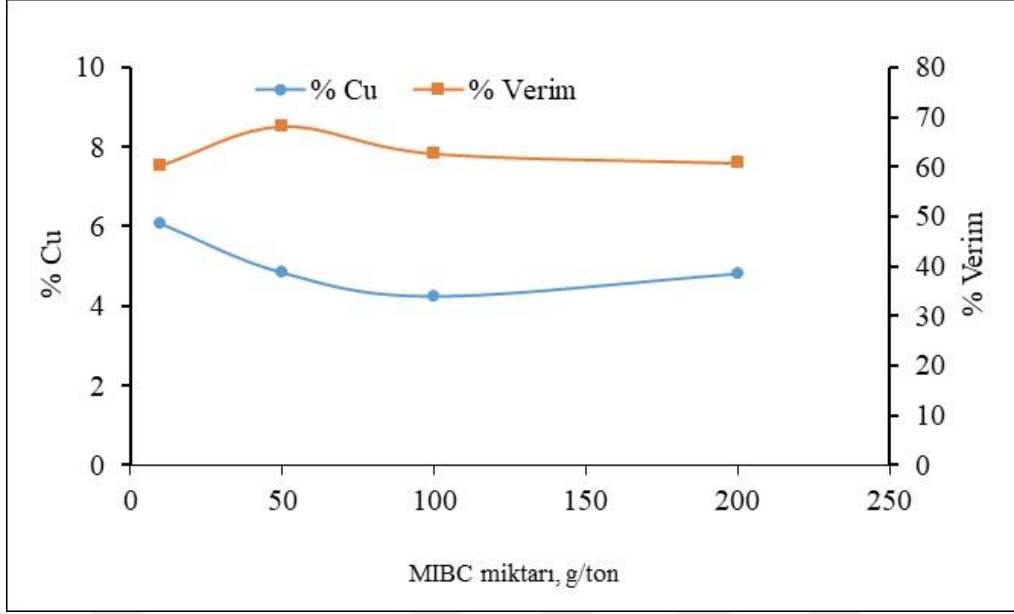
Şekil 4.3'ten görüldüğü gibi toplayıcı miktarının artmasıyla verim artmasına rağmen, bakır tenörü toplayıcının belirli bir miktarından sonra azalmaktadır. Optimum 3418A miktarı 100 g/ton olduğu bulunmuştur.

#### 4.1.4. Kalkopiritin flotasyonuna köpürtücü miktarının etkisi

Flotasyonun gerçekleşmesi için sisteme eklenen son kimyasal köpürtücülerdir. Köpük kararlılığı ve kabarcık boyutu dağılımının flotasyonun verim ve tenörleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Aldrich ve ark 1997). Köpük kararlılığı ve kabarcık boyutu ise, mineraloji, pülp viskozitesi, pH, hava miktarı, köpürtücü tipi ve miktarı gibi çok sayıda parametreye göre değişkenlik göstermektedir (Bulatovic, 2010). Bu çalışmada ise köpürtücü olarak MIBC kullanılmış ve MIBC miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisine bakılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Köpürtücü miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

Köpürtücü miktarı (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
10	Konsantre	19.98	13.32	8.46	37.62	24.44	64.84	10.72	56.10	16.63	3.38
	Artık	130.03	86.68	1.02	24.15	2.94	49.96	47.11	43.90	83.37	96.62
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
50	Konsantre	<b>42.48</b>	<b>28.31</b>	<b>4.84</b>	<b>42.74</b>	<b>13.96</b>	<b>82.69</b>	<b>3.34</b>	<b>68.15</b>	<b>45.08</b>	<b>2.24</b>
	Artık	107.54	71.69	0.89	19.31	2.58	39.79	57.63	31.85	54.92	97.76
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
100	Konsantre	44.57	29.71	4.24	41.24	12.23	80.61	7.16	62.63	46.11	5.03
	Artık	105.44	70.29	1.07	19.47	3.08	39.82	57.10	37.37	53.89	94.97
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
200	Konsantre	38.05	25.36	4.81	39.28	13.89	75.30	10.81	60.69	36.77	6.49
	Artık	111.98	74.64	1.06	21.41	3.06	44.00	52.94	39.31	63.23	93.51
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.4. Köpürtücü miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

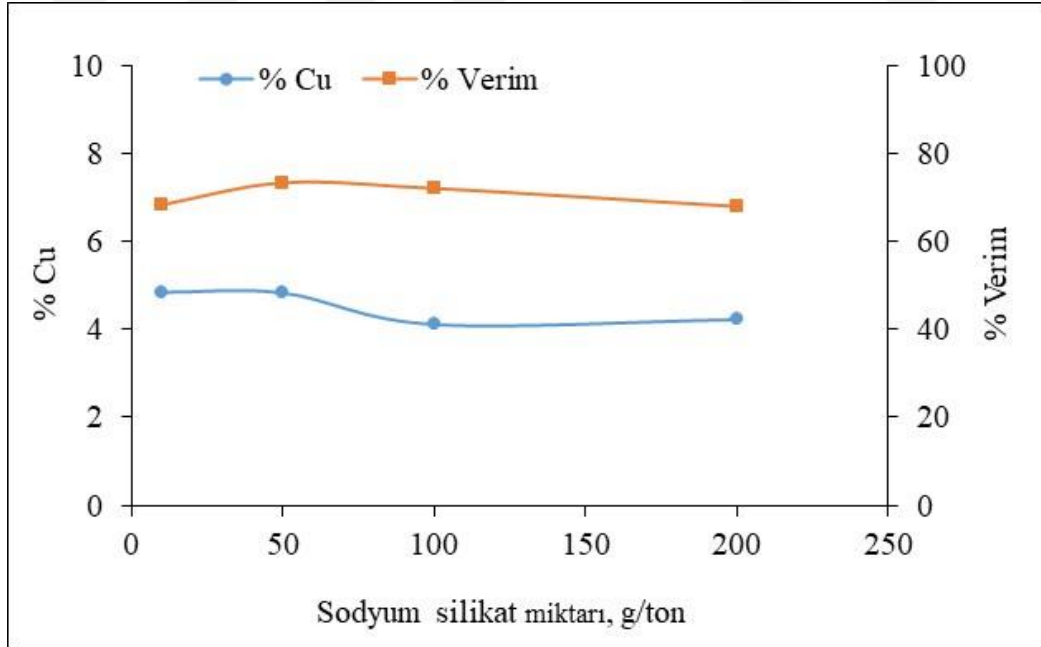
MIBC miktarının 10 g/ton dan 50 g/ton çıkarılması ile Cu tenörü % 8.46'dan %4.84'e azalırken daha da artırılması ile Cu tenöründe fazla bir değişiklik olmamıştır. Ancak kalkopirit verimi artan köpürtücü miktarı ile başlangıçta %56.10'dan %68.15'e yükselmiş daha sonra artan köpürtücü konsantrasyonu ile verimde azalma olmuştur. Bu nedenle optimum MIBC miktarının 50 g/ton olduğu belirlenmiştir.

#### 4.1.5. Kalkopiritin flotasyonuna dağıtıcı miktarının etkisi

Deneylerde, flotasyon süresince pülp içindeki küçük boyutlu gang minerallerinin topaklanmasını önlemek ve iri boyutlu tanelerin yüzeylerini kaplamalarını engellemek için sodyum silikat kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Dağıtıcı miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

Dağıtıcı miktarı (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
10	Konsantre	42.48	28.32	4.84	42.74	13.96	82.69	3.34	68.15	45.08	2.24
	Artık	107.54	71.68	0.89	19.31	2.58	39.79	57.63	31.85	54.92	97.76
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
50	Konsantre	<b>45.82</b>	<b>30.54</b>	<b>4.82</b>	<b>39.04</b>	<b>13.92</b>	<b>74.77</b>	<b>11.31</b>	<b>73.29</b>	<b>43.97</b>	<b>8.17</b>
	Artık	104.20	69.46	0.77	20.18	2.23	41.90	55.87	26.71	56.03	91.83
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
100	Konsantre	52.63	35.09	4.12	34.71	11.90	66.78	21.32	71.97	45.11	17.70
	Artık	97.38	64.91	0.87	21.20	2.51	43.92	53.58	28.03	54.89	82.30
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
200	Konsantre	48.27	32.18	4.23	39.90	12.22	77.73	10.05	67.75	48.16	7.65
	Artık	101.74	67.82	0.96	19.32	2.76	39.70	57.54	32.25	51.84	92.35
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.5. Dağıtıcı miktarının kalkopiritin flotasyonuna etkisi.

Çizelge 4.5'te verilen flotasyon sonuçlarına göre 50 g/ton sodyum silikat miktarında %4.82 Cu tenörlü konsantre %73.29 verimle kazanılmıştır. Bu bölümde kalkopiritin flotasyonu için belirlenen optimum şartlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kalkopiritin flotasyonunda optimum koşullar.

Değişkenler	pH	Dağıtıcı türü ve miktarı	Toplayıcı türü ve miktarı	Köpürtücü
Sabitler	11	Sodyum silikat (50g/ton)	3418A (100g/ton)	MIBC (50g/ton)

## 4.2. Kalkopiritin Agloflotasyonu

### 4.2.1. Kalkopiritin agloflotasyonuna yağ miktarı ve yağ tipinin etkisi

Tez çalışmasının bu aşamasında kalkopirit numunesinin flotasyonunda elde edilen optimum şartlar altında yağ aglomerasyonu işlemi ile aglomeratlar elde edilmiş sonrasında ise elde edilen bu aglomeratların flotasyon ile yüzdürülmesi işlemi olan agloflotasyon yöntemi uygulanmıştır. Bunun için bağlayıcı sıvı olarak kullanılan yağın kalkopirit yüzeylerini seçimli olarak kaplayabilmesi ve onları bir araya getirebilmesi gerekmektedir. Atık yağ, mazot ve gaz yağı olmak üzere 3 farklı tipteki yağın kalkopiriti aglomere edebilme kabiliyeti, yağ konsantrasyonunun aglomerasyon verimini etkileyen önemli bir parametre olmasından dolayı değişen yağ konsantrasyonlarında araştırılmıştır. Deneylerde aglomerasyon süresi 5 dakika olarak sabit tutulmuştur.

Kalkopiritin aglomerasyon deneylerinde ilk olarak evsel bitkisel atık yağ kullanılmıştır. Evlerde kızartmada kullanılmış atık yağların fiziksel özelliklerinde bazı değişiklikler meydana gelmekte, yoğunluğu ve viskozitesinin yüksek olduğu bilinmektedir. Literatürde benzer şekilde kullanılmış olan atık yağların yoğunluğunun 0.9-0.92 g/cm<sup>3</sup> arasında viskozitesinin ise 14.9-145.2 mm<sup>2</sup>/s arasında değiştiği belirtilmektedir (Almeida ve ark., 2015; Xie ve ark., 2015; Hisham ve ark., 2017; Vargas ve ark., 2019; Shen ve ark., 2019). Atık yağ ile elde edilen kalkopirit konsantrelerinin Cu tenörleri %5.70 ile %4.62 arasında değişirken agloflotasyon verimi %58,76 ile %48,46 arasında değişmektedir (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.6). Atık yağ miktarının artmasıyla agloflotasyon verimi ve elde edilen konsantrenin Cu tenörü kısmen azalmaktadır. Dolayısıyla optimum yağ konsantrasyonunun 600 g/t olduğu belirlenmiştir.

Gaz yağı ile gerçekleştirilen agloflotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Gaz yağı konsantrasyonu artırıldığında elde edilen

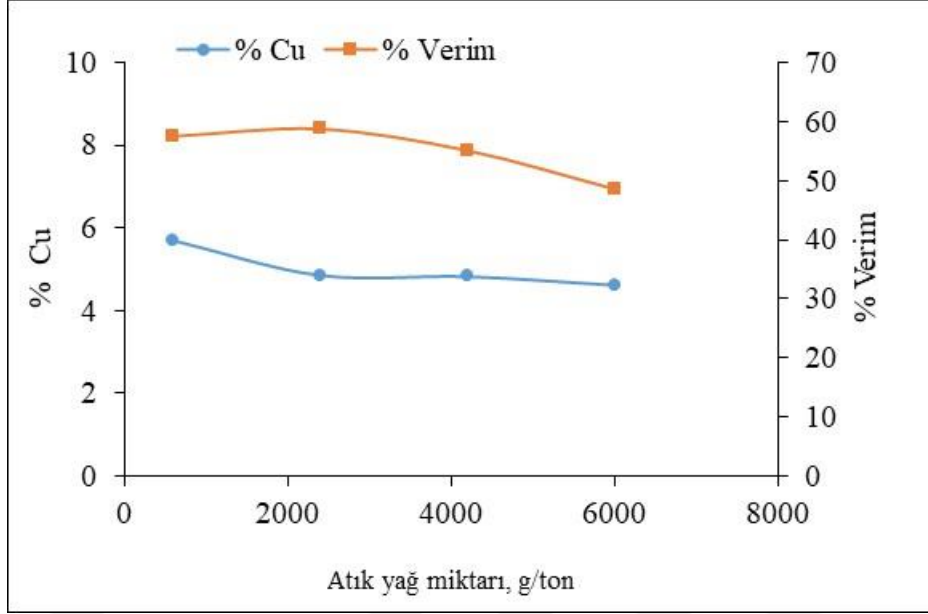
konsantrenin Cu tenöründe azalma olurken verim artmaktadır. 540 g/ton konsantrasyonunda konsantre %53 verimle %6.1 Cu içeriği ile kazanılmıştır.

Bağlayıcı yağ olarak mazotun kullanıldığı deneylerde ise elde edilen konsantrelerin hem Cu tenörlerinde hem de verim değerlerinde olumlu bir etki olmamış aksine azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8).

Bitkisel atık yağ ve gaz yağı ile yapılan agloflotasyon sonuçlarına göre çok az miktarda yağ ilavesinin elde edilen konsantrenin Cu içeriğini artırdığı tespit edilmiştir. Ancak kalkopirit verimi flotasyon ile kıyaslandığında azalmaktadır. Dolayısıyla tez çalışmasının devamında konsantre veriminin ve Cu tenörünün artırılmasının yolları araştırılmıştır.

**Çizelge 4.7.** Atık yağ miktarının agloflotasyona etkisi.

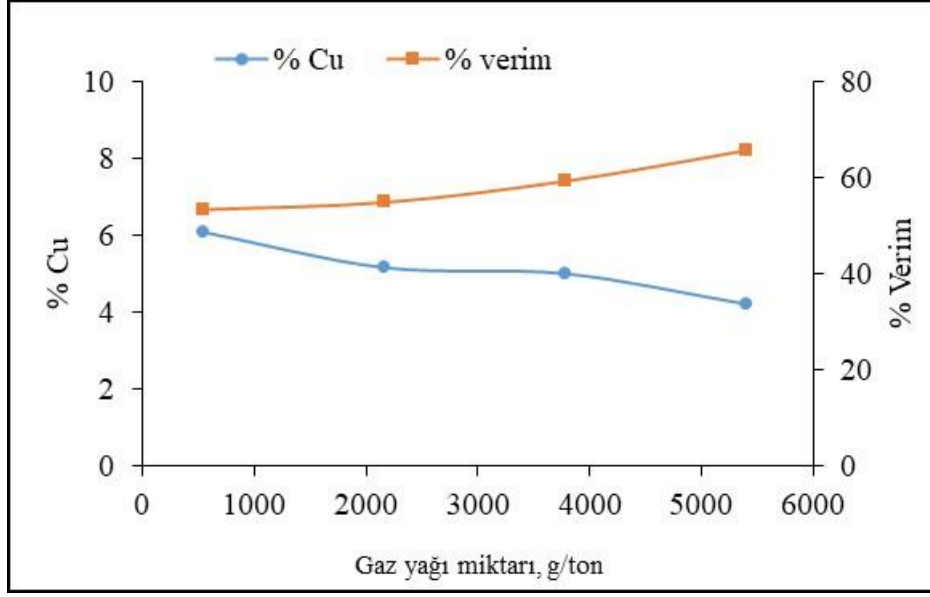
Atık yağ (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
600	Konsantre	30.42	20.28	5.70	22.09	16.45	36.69	46.85	57.51	14.33	22.48
	Artık	119.58	79.72	1.07	26.92	3.09	55.82	41.09	42.49	85.67	77.52
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2400	Konsantre	36.43	24.28	4.86	36.61	14.04	69.48	16.48	58.76	32.49	9.47
	Artık	113.60	75.72	1.09	22.52	3.16	46.31	50.53	41.24	67.51	90.53
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
4200	Konsantre	34.34	22.89	4.83	38.77	13.95	74.18	11.87	55.05	32.70	6.43
	Artık	115.66	77.11	1.17	22.13	3.38	45.34	51.28	44.95	67.30	93.57
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
6000	Konsantre	31.59	21.06	4.62	39.08	13.35	75.24	11.41	48.46	30.51	5.69
	Artık	118.42	78.94	1.31	22.44	3.79	45.72	50.49	51.54	69.49	94.31
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.6. Atık yağ miktarının agloflotasyona etkisi.

Çizelge 4.8. Gaz yağı miktarının agloflotasyona etkisi.

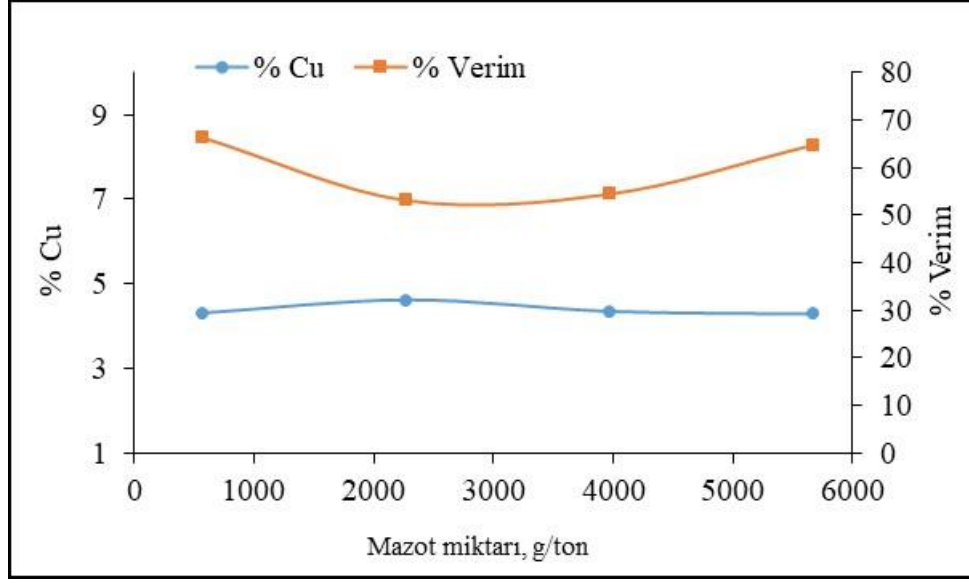
Gaz Yağı (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
540	Konsantre	26.46	17.64	6.10	39.63	17.61	73.64	8.75	53.54	25.01	3.65
	Artık	123.54	82.36	1.13	23.01	3.27	47.29	49.44	46.46	74.99	96.35
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2160	Konsantre	32.06	21.37	5.17	34.49	14.94	64.33	20.73	55.03	26.46	10.48
	Artık	117.96	78.63	1.15	23.62	3.32	48.57	48.11	44.97	73.54	89.52
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
3780	Konsantre	35.68	23.79	5.02	42.73	14.49	82.32	3.19	59.39	37.70	1.80
	Artık	114.33	76.21	1.07	20.70	3.09	42.46	54.45	40.61	62.30	98.20
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
5400	Konsantre	46.87	31.24	4.22	40.26	12.19	78.53	9.29	65.62	47.23	6.86
	Artık	103.15	68.76	1.00	19.44	2.90	39.86	57.24	34.38	52.77	93.14
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.7. Gaz yağı miktarının agloflotasyona etkisi.

Çizelge 4.9. Mazot miktarının agloflotasyona etkisi.

Mazot (g/ton)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
567	Konsantre	46.33	30.89	4.30	34.51	12.43	66.01	21.56	66.17	39.25	15.76
	Artık	103.68	69.11	0.98	22.11	2.84	45.65	51.51	33.83	60.75	84.24
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2267	Konsantre	34.65	23.10	4.61	34.34	13.31	65.08	21.61	52.99	28.94	11.81
	Artık	115.38	76.90	1.23	23.42	3.55	47.99	48.46	47.01	71.06	88.19
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
3967	Konsantre	37.73	25.15	4.34	42.03	12.54	82.09	5.37	54.34	39.75	3.20
	Artık	112.30	74.85	1.23	20.54	3.54	41.81	54.65	45.66	60.25	96.80
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
5667	Konsantre	45.54	30.35	4.28	38.27	12.36	74.14	13.51	64.64	43.33	9.70
	Artık	104.48	69.65	1.02	20.57	2.95	42.26	54.79	35.36	56.67	90.30
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.8. Mazot miktarının agloflotasyona etkisi.

#### 4.2.2. Kalkopiritin agloflotasyonuna karıştırma hızının etkisi

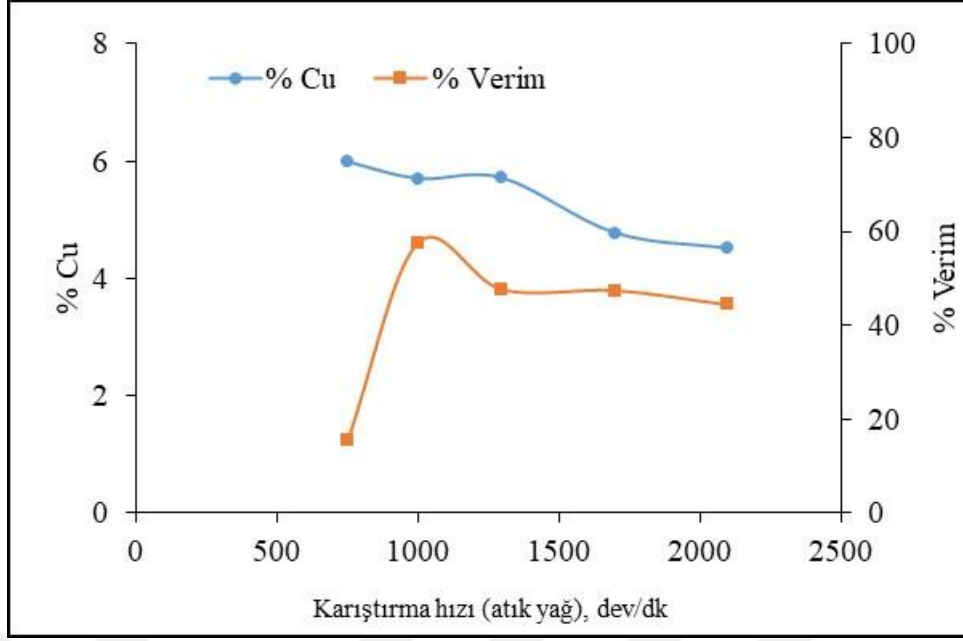
Agloflotasyonda uygun karıştırma reaktiflerin, tanelerin ve hava kabarcıklarının flotasyon sistemi içinde dengesinde önemli bir rol oynar. Aynı zamanda, aglomerasyon işleminde reaktiflerin homojen dağılımı ile bağlayıcı sıvının hidrofobik mineral yüzeylerinde yayılması ve onları bir araya getirebilme şansının olabilmesi için pülpün uygun hızda karıştırılması da önemlidir (Özer ve ark, 2017). Karıştırma hızının etkisine hem aglomerasyon hem de agloflotasyon aşamalarında ayrı ayrı bakılmıştır. İlk önce, aglomerasyon ve takibinde agloflotasyon işlemleri aynı hızda gerçekleştirilmiş yani çalışan hız hem aglomerasyon hem de agloflotasyon için aynı olacak şekilde sistem ayarlanmıştır. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.9’da atık yağ ve Çizelge 4.11 ve Şekil 4.10’da ise gaz yağı kullanılarak elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi atık yağ ile yapılan agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrenin Cu içeriği %4.5 ile %5.99 arasında değişmekte iken konsantre verimleri ise %15.41 ile %57.51 arasında değişmektedir. Karıştırma hızının artışına bağlı olarak, 1000 dev/dk kadar verimin arttığı daha sonra ise azaldığı, Cu tenörünün 750 dev/dk’dan itibaren artan hızla azaldığı görülmektedir. Benzer bir durum gaz yağı ile elde edilen sonuçlarda da görülmektedir. Gaz yağı ile elde edilen konsantrenin Cu içeriği %2.79-%6.10 olurken konsantre verimleri ise %14.47-%53.54 arasında değişmektedir. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi gaz yağı ile yapılan agloflotasyon deneylerinde karıştırma hızının artmasıyla konsantre veriminin arttığı, Cu tenörünün ise 1000 dev/dk’ya kadar

arttığı daha yüksek hızlarda ise azaldığı gözlemlenmiştir. Bhattacharyya ve ark, (1977) aglomerasyon kazanımının kritik bir hıza kadar artan karıştırma hızıyla arttığını ve bu değerin ötesinde azaldığını belirtmiştir.

**Çizelge 4.10.** Karıştırma hızının agloflotasyona etkisi (atık yağ).

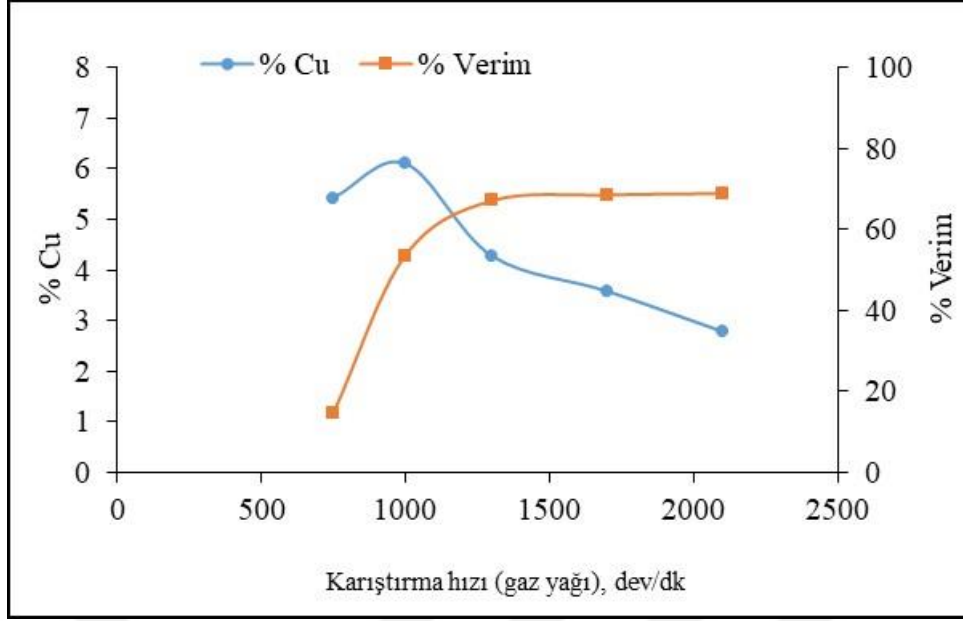
Hız (dev/dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
750	Konsantre	7.76	5.17	5.99	27.31	17.28	47.37	35.35	15.41	4.72	4.33
	Artık	142.25	94.83	1.79	25.87	5.18	52.19	42.64	84.59	95.28	95.67
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1000	Konsantre	30.42	20.28	5.70	22.09	16.45	36.69	46.85	57.51	14.33	22.48
	Artık	119.58	79.72	1.07	26.92	3.09	55.82	41.09	42.49	85.67	77.52
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1300	Konsantre	25.07	16.71	5.71	42.46	16.49	80.44	3.07	47.50	25.89	1.22
	Artık	124.94	83.29	1.27	22.81	3.66	46.62	49.72	52.50	74.75	98.00
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1700	Konsantre	29.92	19.95	4.77	30.96	13.77	57.51	28.72	47.34	22.09	13.56
	Artık	120.08	80.05	1.32	24.69	3.82	50.55	45.63	52.66	77.91	86.44
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2100	Konsantre	29.67	19.77	4.50	34.45	13.01	65.50	21.49	44.33	24.94	10.05
	Artık	120.35	80.23	1.39	23.84	4.03	48.59	47.38	55.67	75.06	89.95
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.9. Karıştırma hızının agloflotasyona etkisi (atık yağ).

Çizelge 4.11 Karıştırma hızının agloflotasyona etkisi (gaz yağı).

Hız (dev/dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
750	Konsantre	8.04	5.36	5.42	30.88	15.66	56.11	28.23	14.47	5.79	3.58
	Artık	141.98	94.64	1.82	25.66	5.24	51.70	43.05	85.53	94.21	96.42
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1000	Konsantre	26.46	<b>17.64</b>	<b>6.10</b>	<b>39.63</b>	<b>17.61</b>	<b>73.64</b>	<b>8.75</b>	<b>53.54</b>	<b>25.01</b>	<b>3.65</b>
	Artık	123.54	82.36	1.13	23.01	3.27	47.29	49.44	46.46	74.99	96.35
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1300	Konsantre	34.65	23.10	4.28	34.34	12.35	65.70	21.95	49.16	29.22	11.99
	Artık	115.38	76.90	1.23	23.42	3.55	47.99	48.46	50.84	70.78	88.01
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1700	Konsantre	37.73	25.15	3.58	42.03	10.35	83.52	6.13	44.84	40.44	3.65
	Artık	112.30	74.85	1.23	20.54	3.54	41.81	54.65	55.16	59.56	96.35
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2100	Konsantre	45.54	30.35	2.79	38.27	8.05	76.95	15.00	42.12	44.97	10.77
	Artık	104.48	69.65	1.02	20.57	2.95	42.26	54.79	57.88	55.03	89.23
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.10. Karıştırma hızının ile agloflotasyona etkisi (gaz yağı).

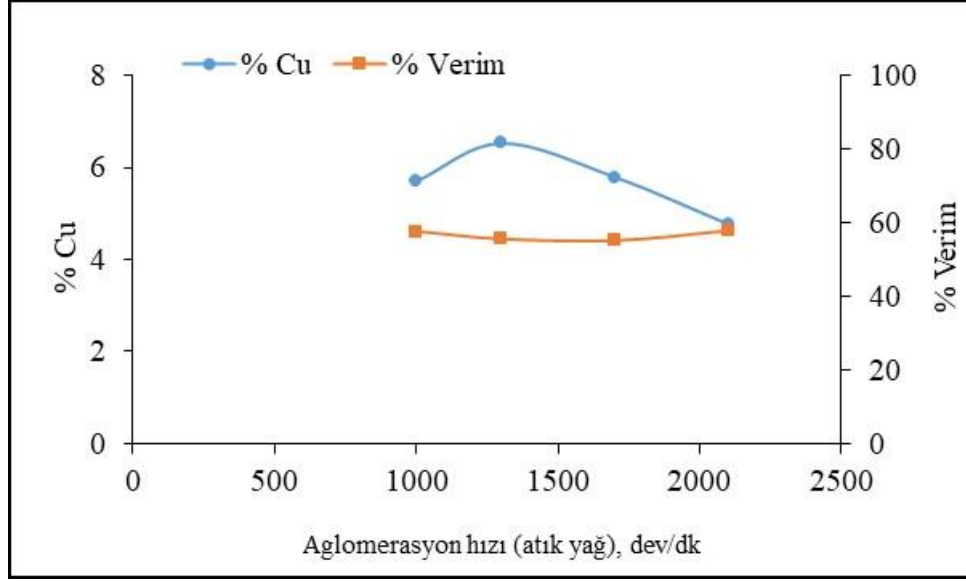
Yukarıda bahsedilen durumun, karıştırma hızının flotasyon köpük dengesini bozmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Karıştırma hızının artması, yağların ortamda daha iyi dağılmasını ve taneciklerin birbirleriyle ve yağlarla çarpışma olasılığını artırırken bir yandan da köpük dengesini bozarak, oluşan köpüğün çabuk parçalanmasına ve taşıdığı kalkopirit tanelerinin yeniden pülpe düşmesine, dolayısıyla hem verimin hem de konsantrenin Cu içeriğinin azalmasına yol açmış olabilir. Flotasyon hücresinde gerçekleştirilen karıştırma, gaz kabarcıklarının flotasyon hücresi boyunca dağılmasını sağlar. Bu kabarcıkların hidrofob mineral tanelerine yapışarak onları köpükle birlikte yüze kadar taşınması, elde edilen konsantrenin verim ve tenörünü etkiler. Aglomerasyonu takip eden flotasyon sisteminde flotasyona benzer olarak oluşturulan aglomeratların hava kabarcıkları vasıtasıyla köpüğe kadar taşınması ve bu sistemin duraylılığının bozulmaması önemlidir. Yukarıda bahsedilen deneylerde karşılaşılan bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için, yani agloflotasyonun flotasyon aşamasında köpük dengesinin bozulmasının engellenmesi için hız 1000 dev/dakikada sabit tutularak, aglomerasyon hızı değiştirilerek deneyler tekrarlanmış ve ulaşılan sonuçlar atık yağ (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.11) ve gaz yağı (Çizelge 4.13 ve Şekil 4.12) için ayrı ayrı verilmiştir.

Atık yağ ile 1300 dev/dk aglomerasyon hızında %6.53 Cu tenörlü konsantre %55.46 verimle kazanılırken, 1000 dev/dk aglomerasyon hızında gaz yağı ile %6,10 Cu tenörlü konsantre %53.57 verimle kazanılmıştır. Bu sonuçlar bir önceki sonuçlarla

kiyaslandığında atık yağ varlığında konsantrenin Cu tenörü %5.7'den %6.53'e yükselirken verimde belirgin bir değişim olmamıştır. Gaz yağında ise hız değişimi ile olumlu bir sonuca ulaşılammıştır.

**Çizelge 4.12.** Aglomerasyon hızının agloflotasyona etkisi (atık yağ) (agloflotasyon hızı 1000 dev/dk).

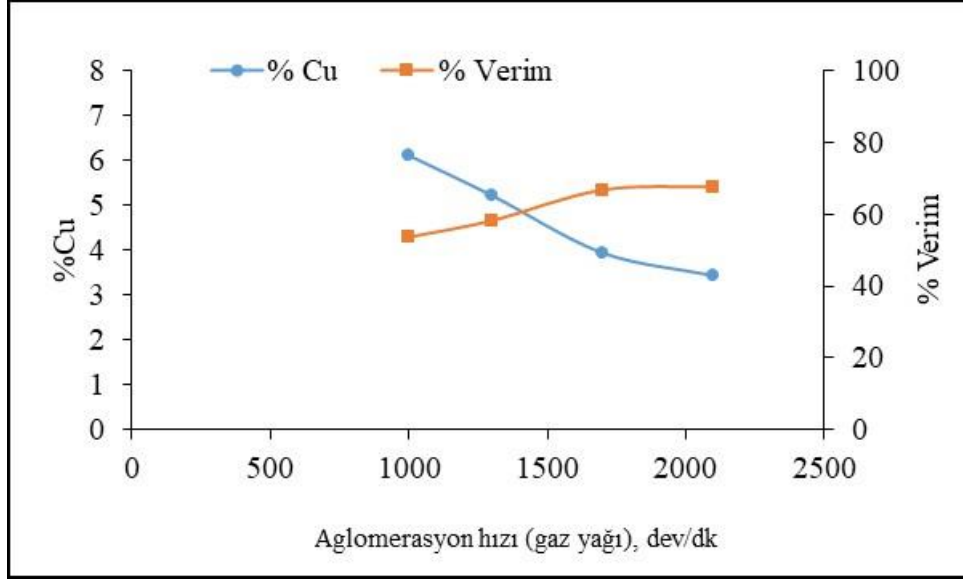
Hız (dev/dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
1000	Konsantre	30.42	20.28	5.70	22.09	16.45	36.69	46.85	57.51	14.33	22.48
	Artık	119.58	79.72	1.07	26.92	3.09	55.82	41.09	42.49	85.67	77.52
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1300	Konsantre	25.59	17.06	6.53	40.91	18.86	75.57	5.57	55.46	24.82	2.25
	Artık	124.43	82.94	1.08	22.86	3.12	47.08	49.81	44.54	75.18	97.75
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1700	Konsantre	28.63	19.08	5.79	40.84	16.72	76.81	6.47	55.00	28.22	2.92
	Artık	121.39	80.92	1.12	22.43	3.23	46.07	50.70	45.00	71.78	97.08
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2100	Konsantre	36.49	24.32	4.76	42.54	13.75	82.40	3.85	57.66	38.59	2.21
	Artık	113.52	75.68	1.12	20.50	3.25	41.92	54.83	42.34	61.08	98.19
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.11. Aglomerasyon hızının agloflotasyona etkisi (atık yağ) (agloflotasyon hızı 1000 dev/dk).

Çizelge 4.13. Aglomerasyon hızının agloflotasyona etkisi (gaz yağı) (agloflotasyon hızı 1000 dev/dk).

Hız (dev/dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
1000	Konsantre	26.46	17.64	6.10	39.63	17.61	73.64	8.75	53.54	25.01	3.65
	Artık	123.54	82.36	1.13	23.01	3.27	47.29	49.44	46.46	74.99	96.35
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1300	Konsantre	33.59	22.39	5.21	43.37	15.06	83.33	1.61	58.11	35.93	0.85
	Artık	116.42	77.61	1.08	20.91	3.13	42.88	53.99	41.89	64.07	99.15
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
1700	Konsantre	50.86	33.90	3.95	44.45	11.40	88.03	0.57	66.64	57.46	0.45
	Artık	99.16	66.10	1.01	16.45	2.93	33.43	63.64	33.36	42.54	99.55
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
2100	Konsantre	59.10	39.39	3.45	43.95	9.95	87.92	2.13	67.57	66.68	1.98
	Artık	90.93	60.61	1.08	14.24	3.10	28.55	68.34	32.43	33.32	98.02
	Besleme	150.03	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00



Şekil 4.12. Aglomerasyon hızının agloflotasyona etkisi (gaz yağı) (agloflotasyon hızı 1000 dev/dk).

#### 4.2.3. Kalkopiritin agloflotasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi

Aglomerasyonda hidrofobik tanelerin birbirleriyle temas ederek aglomeratlar oluşturabilmesi için yeterli sürenin verilmesi gerekmektedir. Bu sürede reaktiflerle muamele edilen taneler, birbirleri ile çarpışma, yapışma ve bağlanma fırsatı bularak böylece daha büyük agregatlar yani aglomeratlar oluşur. Aglomerasyon süresi, oluşan aglomeratların boyut dağılımını da etkiler. Uzun aglomerasyon süreleri genellikle daha büyük aglomeratların oluşmasına yol açarken, kısa sürelerde daha küçük aglomeratların oluşmasına neden olabilir. Bu sayede flotasyon için uygun olmayan ince boyutlu mineral tanelerinin boyutları flotasyona uygun boyuta getirilerek rahatlıkla yüzdürülebilir (Özer ve ark, 2017).

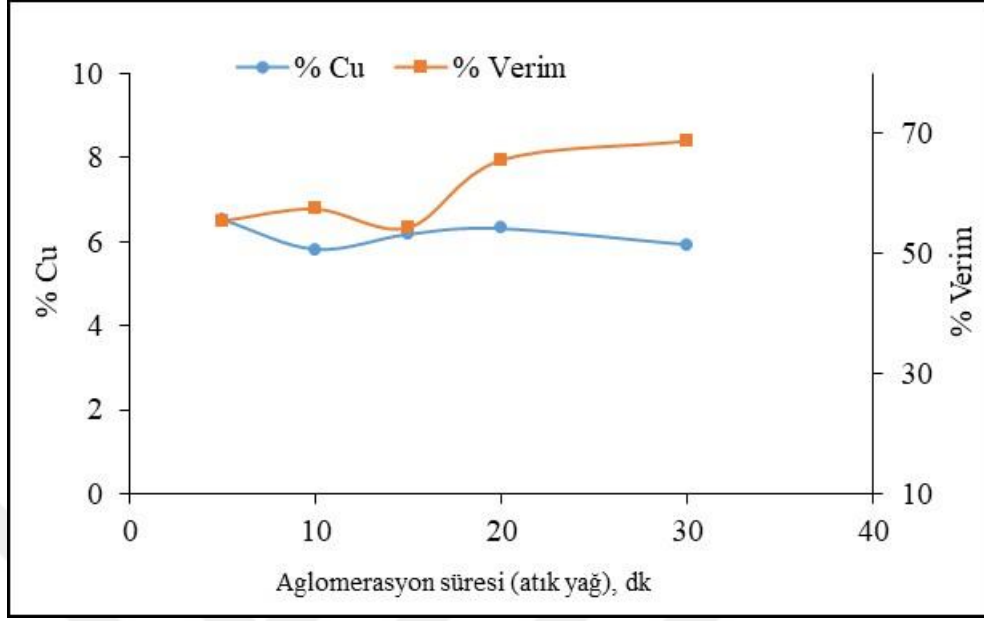
Aglomerasyon süresinin kalkopiritin agloflotasyonuna etkisi, atık yağ (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.13) ve gaz yağı (Çizelge 4.15 ve Şekil 4.14) varlığında incelenmiştir. Aglomerasyon süresinin artmasıyla elde edilen konsantrelerin Cu tenörlerinin azaldığı ancak yüksek verimle kazanımın olduğu tespit edilmiştir. Atık yağla en yüksek Cu içerikli konsantr (%6.53) 5 dakika aglomerasyon süresinde, en yüksek verim ise (%68,65) 30 dakika aglomerasyon süresinde elde edilmiştir. Gaz yağı ile en yüksek Cu (%6.10) tenörlü kalkopirit konsantrisi 5 dakika aglomerasyon süresinde %53.54 verimle kazanılırken, en yüksek verimli konsantr (%77.01) 30 dakika aglomerasyon süresinde %4.96 Cu içeriği ile elde edilmiştir.

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi aglomerasyon flotasyon işleminde, aglomerasyon süresi arttıkça önce verim arttığı, belirli bir zamana kadar az da olsa azaldığı ve daha sonra da arttığı, tenör ise ilk önce azaldığı, daha sonra arttığı gözlemlenmiştir.

Karıştırma süresinin artması, güçlü aglomeratların oluşmasına ve verimin artmasına yol açmaktadır. Ancak literatürde kömür ile yapılan çalışmalarda, artan karıştırma süresiyle pirit ve diğer inorganik maddelerin aglomerat içine girmesi nedeniyle kül ve piritik kükürt gideriminin azaldığı belirtilmektedir (Chary and Dastidar, 2010; Cebeci ve ark., 2002; Şahinoğlu ve ark., 2008). Düşük karıştırma hızlarında karıştırma süresinin uzun tutulması aglomeratların boyutunun artmasına neden olmakta (Sahinoglu ve ark., 2008, Kawashima ve ark., 1981; Bos ve ark., 1985) bu da kül içeriğinin artmasına ve piritik kükürt gideriminin azalmasına yol açabilmektedir (Rao and Vanangamudi, 1984, Düzyol, 2015).

**Çizelge 4.14.** Aglomerasyon süresinin agloflotasyona etkisi (atık yağ).

Süre (dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
5	Konsantre	25.59	17.06	<b>6.53</b>	<b>40.91</b>	<b>18.86</b>	<b>75.57</b>	<b>5.57</b>	<b>55.46</b>	28.43	2.25
	Artık	124.43	82.94	1.08	22.86	3.12	47.08	49.81	44.54	86.14	97.75
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
10	Konsantre	29.77	19.84	5.81	24.15	16.79	40.90	42.32	57.41	17.90	19.87
	Artık	120.24	80.16	1.07	26.39	3.08	54.67	42.25	42.59	96.67	80.13
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
15	Konsantre	26.52	17.68	6.18	27.63	17.84	47.70	34.46	54.37	18.60	14.42
	Artık	123.49	82.32	1.11	25.58	3.22	52.85	43.93	45.63	95.98	85.58
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
20	Konsantre	31.26	20.83	<b>6.32</b>	<b>21.50</b>	<b>18.24</b>	<b>34.27</b>	<b>47.49</b>	<b>65.49</b>	15.75	23.41
	Artık	118.77	79.17	0.88	27.11	2.53	56.59	40.88	34.51	83.05	76.59
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
30	Konsantre	34.91	23.28	<b>5.93</b>	<b>26.31</b>	<b>17.11</b>	<b>45.33</b>	<b>37.56</b>	<b>68.65</b>	20.31	20.69
	Artık	115.09	76.72	0.82	25.83	2.37	53.94	43.69	31.35	79.69	79.31
	Besleme	150.00	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00

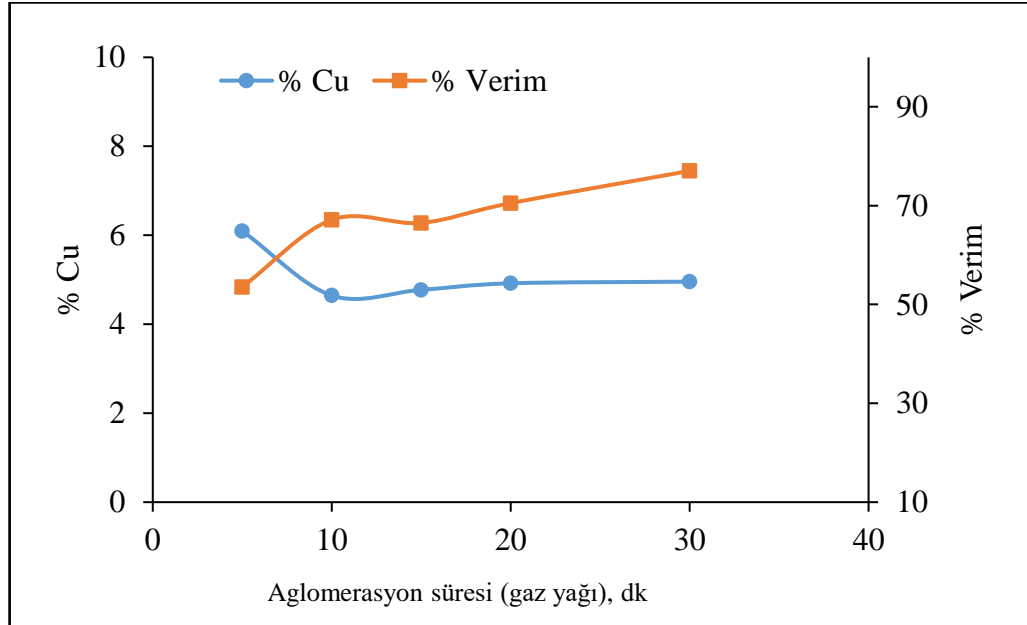


Şekil 4.13. Aglomerasyon süresinin agloflotasyona etkisi (atık yağ).

Şimşek (1999), taşkömürü üzerindeki çalışmasında gaz yağı kullanarak yaptığı aglomerasyon deneylerinde, aglomerasyon süresi arttıkça verimin de arttığını, 1 dakikalık aglomerasyon süresinde %78 olan verimin 25 dakikalık aglomerasyon süresinde %88 olduğunu bulmuştur. Şahinoğlu (2006) ise aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak yanabilir verimin önce arttığını sonra azaldığını, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise arttığını belirtmiştir.

**Çizelge 4.15.** Aglomerasyon süresinin agloflotasyona etkisi (gaz yağı).

Süre (dk)	Ürünler	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Tenör (%)		Mineral (%)			Verim (%)		
				Cu	Fe	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang	CuFeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	Gang
5	Konsantre	26.46	17.64	6.10	39.63	17.61	73.64	8.75	53.54	25.01	3.65
	Artık	123.54	82.36	1.13	23.01	3.27	47.29	49.44	46.46	74.99	96.35
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
10	Konsantre	43.55	29.03	4.65	40.52	13.42	78.27	8.31	67.13	43.74	5.71
	Artık	106.47	70.97	0.93	19.98	2.69	41.17	56.14	32.87	56.26	94.29
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
15	Konsantre	41.98	27.99	4.77	32.25	13.78	60.28	25.93	66.49	32.48	17.18
	Artık	108.03	72.01	0.93	23.49	2.70	48.70	48.60	33.51	67.52	82.82
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
20	Konsantre	43.19	28.79	4.92	36.46	14.21	69.03	16.76	70.49	38.26	11.42
	Artık	106.82	71.21	0.83	21.69	2.40	45.03	52.57	29.51	61.74	88.58
	Besleme	150.01	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00
30	Konsantre	46.82	31.21	4.96	26.62	14.32	47.82	37.86	77.01	28.73	27.96
	Artık	103.20	68.79	0.67	25.64	1.94	53.81	44.25	22.99	71.27	72.04
	Besleme	150.02	100.00	2.01	25.94	5.80	51.94	42.26	100.00	100.00	100.00

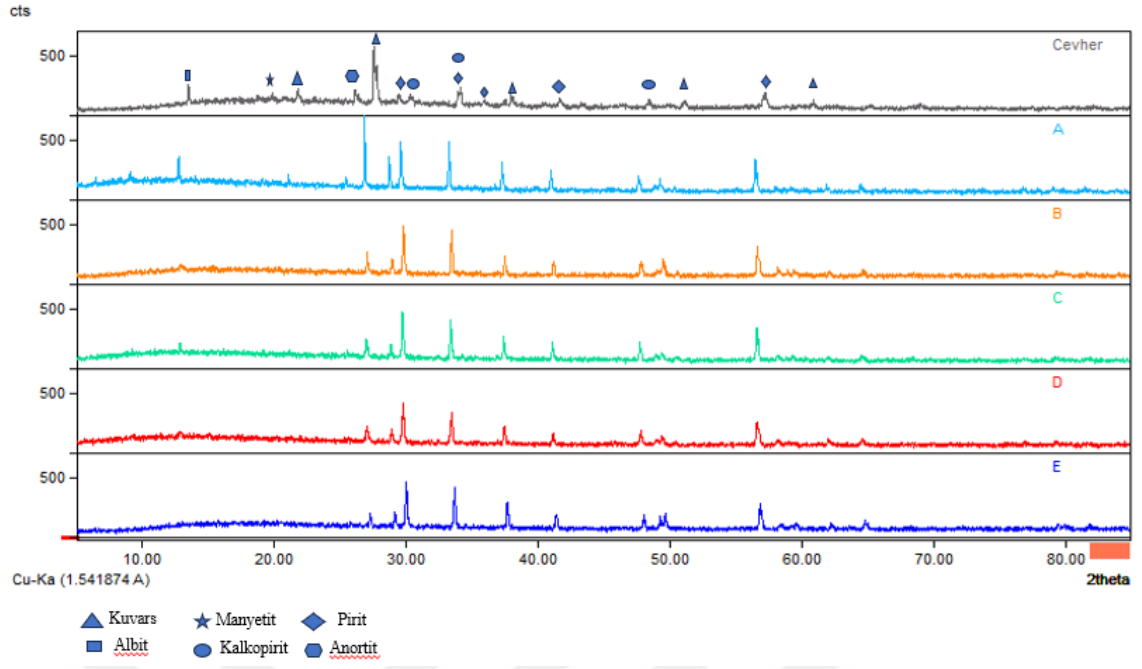


**Şekil 4.14.** Aglomerasyon süresinin agloflotasyona etkisi (gaz yağı).

Şekil 4.15'te agloflotasyon ile zenginleştirilme sonrasında elde edilen en iyi konsantrelerin XRD grafikleri, cevher numunesinin XRD grafiği ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Cevher numunesinin XRD pikleri incelendiğinde baskın mineralin 28° de kuvars olduğu ve buna farklı derecelerde pirit, kalkopirit, albit ve anortitin eşlik ettiği çok az miktarda da manyetit bulunduğu görülmektedir.

Flotasyon (A) ve agloflotasyon (B, C, D ve E) ile elde edilen konsantrelerin XRD grafikleri incelendiğinde kuvars, kalkopirit ve piritin belirgin pikler yaptığı ve bunların baskın mineraller olduğu belirlenmiştir. A'da belirgin olan albit piki diğerlerinde azalarak E konsantresinde kaybolmuştur. Benzer şekilde A'da görülen anortit piki diğer konsantrelerde görülmemektedir. A konsantresinde kuvars pikleri belirginken, diğerlerinde azalmış hatta bazı pikleri kaybolmuştur. İlaveten manyetit cevher numunesinde verdiği pik hiçbir konsantrenin XRD grafiğinde görülmemektedir.

XRD grafiklerinden elde edilen bu verilerin flotasyon ve agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin AAS ile belirlenen Cu içerikleri ve verim değerleri ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Şöyle ki; en iyi flotasyon konsantresi olan A'nın XRD sonuçlarında pirit, kalkopirit, kuvars ve albit pikleri belirginken konsantrenin Cu tenörü %4.82 ve verimi ise %73.3'tür. Agloflotasyon ile elde edilen konsantrelerin XRD grafiklerinde albit piki azalmış anortit piki kaybolmuştur. Kuvars pikleri ise azalmıştır. Bu numunelerin Cu içeriklerinin A konsantresinden daha yüksek olması ve verim değerlerinin kısmen azalmış olması, bahsi geçen minerallerin yüzmediği ya da daha az yüzdüğünün kanıtıdır. 3418A ile yüzeyleri hidrofobik hale gelen kalkopirit mineral taneleri, kullanılan yağ ile bir araya gelmiş ancak yeterli seçimliliğe ulaşamamıştır. Pirit ve kuvars piklerinin konsantrelerin XRD grafiklerinde görülmesi, kaba yüzdürmede alkali pH'ta (11) piritin yeterince bastırılmadığını ifade etmektedir.



Şekil 4.15. En iyi deneylerin XRD sonuçları (A:19, B:30, C:59, D:62, E:63).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sülfürlü bakır cevherinin agloflotasyon ile zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Tesisten alınan numunede bakır ve demir içerikleri sırasıyla %2.01 ve %25.94 olarak belirlenmiştir. XRD sonuçlarında cevher içerisinde pirit, kalkopirit ve manyetit görünürken ilaveten gang minerallerinden ise kuvars, albit ve anortitin varlığı tespit edilmiştir. Serbestleşme boyutları %80'nin geçtiği elek açıklığı (d80) 60.65 µm iken tanelerin yaklaşık %60'ı ise 30 µm altındadır olduğu görülmüştür. Cevherin özgül ağırlığı ise 2.57 g/cm<sup>3</sup> dur

Flotasyon deneylerde optimum pH, dağıtıcı miktarı, toplayıcı türü ve miktarı ile köpürtücü miktarı araştırılmıştır. En iyi sonuç 3418A ile alınmış olup %4.82 Cu tenörlü konsantre %73.29 verimle kazanılmıştır. Agloflotasyon deneyleri için, araştırılan deneysel parametreler yağ miktarı ve tipi, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresidir. Bu parametrelerden testlerin sonucunda bitkisel atık yağ ve gaz yağı çok az miktarda yağ ilavesinin elde edilen konsantrenin Cu içeriğini artırırken verimi değerlerinde flotasyon sonucuna göre bir miktar düşüş gözlenmiştir.

Karıştırma hızının artmasının agloflotasyona olumlu bir katkısı olmamış aksine arttan karıştırma hızı ile flotasyon selülünde köpük dengesi bozularak konsantrenin Cu içeriği ve verimi azalmıştır. Ancak aglomerasyon hızının artırılıp flotasyon hızı sabit tutulduğunda elde edilen konsantrenin bakır içeriğinde bir artış olmuştur.

Aglomerasyon süresi ise, süre artmasıyla elde edilen konsantrelerin Cu tenörlerinin azaldığı ancak yüksek verimle kazanımın olduğu tespit edilmiştir. Atık yağla en yüksek Cu içerikli konsantre (%6.53) 5 dakika aglomerasyon süresinde, en yüksek verim ise (%68.65) 30 dakika aglomerasyon süresinde elde edilmiştir. Gaz yağı ile en yüksek Cu (%6.10) tenörlü kalkopirit konsantresi 5 dakika aglomerasyon süresinde %53,54 verimle kazanılırken, en yüksek verimli konsantre (%77.01) 30 dakika aglomerasyon süresinde %4.96 Cu içeriği ile elde edilmiştir.

Cevher numunesi, flotasyon ve agloflotasyon ile elde edilen en iyi konsantrelerin XRD analizleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Cevher numunesinde baskın mineral 28° de kuvars olup buna farklı derecelerde pirit, kalkopirit, albit, anortit ve manyetit eşlik etmektedir.

Flotasyon ve agloflotasyon konsantrelerin XRD grafiklerinde ise kuvars, kalkopirit ve pirit belirgin pikler yapmaktadır. XRD grafiklerinden elde edilen verilerin flotasyon ve agloflotasyon deneylerinden elde edilen konsantrelerin AAS ile belirlenen Cu içerikleri ve verim değerleri ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Agloflotasyon ile elde edilen konsantrelerin Cu içerikleri daha yüksek olurken verim değerlerinde az da olsa azalma olmuştur.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, literatürde henüz çalışılmamış olan sülfürlü bakır mineralini agloflotasyon ile zenginleştirilebildiği hatta flotasyona kıyasla daha yüksek Cu tenörlü konsantrelerin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak konsantredeki pirit ve kuvarsın seçimli olarak bastırılmasının sağlanması, daha ince tane boyutlarında çalışmaların yapılması, farklı reaktiflerin etkilerinin araştırılması gibi konularda çalışmaların geliştirilerek daha iyi sonuçlara ulaşılacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Abakay, T.H. ve Bozkurt, V., 2008, Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Yıkama Olanaklarının Araştırılması. Madencilik Dergisi, 47, 13-21.
2. Agacayak, T. and Yilmaz N.B., 2021, The effect of Aerophine 3418A collector dosage on Niğde (Ulukışla-Madenköy) complex Pb-Zn sulphide ore flotation. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 9-2, 309-313.
3. Akar, A.H., 1985, Aglomerasyon flotasyonu ve antimonit cevherlerinin zenginleştirilmesinde Etkinliği. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Ankara, 180-194
4. Aktaş, Z., 2002, Some factors affecting spherical oil agglomeration performance of coal fines. International Journal of Mineral Processing 65: 177–190.
5. Aldrich C., D.W. Moolman, S.-J. Bunkell, M.C. Harris, and. Theron, D.A., 1997, Relationship between surface froth features and process conditions in the batch flotation of a sulphide ore. Minerals Engineering, Vol. 10, No. 11, Pp. 1207-1218
6. Allan, G. C., and Woodcock, J. T., 2001, A review of the flotation of native gold and electrum. Minerals Engineering, 14(9), 931-962.
7. Almeida, V.F., García-Moreno, P.J., Guadix, A., Guadix, E.M., 2015, Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: optimization of fuel properties. Fuel Processing Technology, 133, 152-160.
8. Alonso, M. I., Valdés, A. F., Martinez-Tarazona, R. M., and Garcia, A. B., 2002, Coal recovery from fines cleaning wastes by agglomeration with colza oil: a contribution to the environment and energy preservation. Fuel Processing Technology, 75(2), 85-95.
9. Aşık S., 2018, Farklı toplayıcı türleri ve karışımlarının bir sülfürlü cevherin flotasyon performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
10. Ayışkan, Ö., 1974, Sülfürlü bakır cevherleri ve zenginleştirme yönünden problemleri. Bilimsel Madencilik Dergisi, 13(2), 35-41.
11. Ba, W., 1997, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. Mineral Processing Technology: 6th Ed. Boston: Butterworth Heinemann.
12. Bensley, C.N., Swanson, A.R., Nicol, S.K., 1977, The effect of emulsification on the selective agglomeration of fine coal. Int. J. Miner. Processing, 4, 173–184.

13. Bhattacharyya, R. N., Moza, A. K., and Sarkar, G. G., 1977, Role of operating variables in oil-agglomeration of coal. *Agglomeration*, 77, 931-938.
14. Bilal, M., Park, I., Hornn, V., Ito, M., Hassan, F. U., Jeon, S., & Hiroyoshi, N., 2022, The challenges and prospects of recovering fine copper sulfides from tailings using different flotation techniques: A Review. *Minerals*, 12(5), 586.
15. Biswas A., Davenport, Wg., 1994, *Extractive metallurgy of copper*. Pergamon.
16. Bos A., and Zuiderweg, F., 1985, Kinetics of continuous agglomeration in suspension, *Powder Technology*, 44: 43–51.
17. Buckley, A. N., and Woods, R., 1993, Underpotential deposition of dithiophosphate on chalcocite. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 357(1-2), 387-405.
18. Bulatovic, S. M., 2007, *Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice. Volume 1: flotation of sulfide ores*. Elsevier.
19. Bulatovic, S.M., 2010, *Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: flotation of gold, pgm and oxide minerals. Volume 2*, ISBN 978-0-444-53082-0.
20. Bulut, G., ve Göktepe, F., 2012, Madencilik ve cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan kimyasallar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), 37-56.
21. Capes, C. E., McIlhinney, A. E., and Sirianni, A. F., 1977, Agglomeration from liquid suspension-research and applications. *Agglomeration*, 77, 910-930.
22. Castellón, C. I., Toro, N., Gálvez, E., Robles, P., Leiva, W. H., and Jeldres, R. I., 2022, Froth flotation of chalcopyrite/pyrite ore: A critical review. *Materials*, 15(19), 6536.
23. Cebeci, Y., and Sönmez, I., 2002, The investigation of coal–pyrite/lignite concentration and their separation in the artificial mixture by oil agglomeration. *Fuel*, 81(9), 1139-1146.
24. Cebeci, Y., Ulusoy, U., and Şimşek, S., 2002, Investigation of the effect of agglomeration time, pH and various salts on the cleaning of zonguldak bituminous coal by oil agglomeration. *Fuel* 81: 1131–1137.
25. Chary, G., and Dastidar, M., 2010, Optimization of experimental conditions for recovery of coking coal fines by oil agglomeration technique. *Fuel* 89: 2317–2322.

26. Choi, J., Lee, E., Choi, S. Q., Lee, S., Han, Y., and Kim, H., 2016, Arsenic removal from contaminated soils for recycling via oil agglomerate flotation. *Chemical Engineering Journal*, 285, 207-217.
27. Düzyol, S. 2015. Investigation of oil agglomeration behaviour of Tuncbilek clean coal and separation of artificial mixture of coal–clay by oil agglomeration. *Powder Technology* 274: 1–4.
28. Düzyol, S., 2009, Cevher hazırlamada ıslanabilirliğe dayanan işlemlerde hidrofobisite ve yüzey geriliminin etkisi, Doktora tezi, Selçuk üniversitesi
29. Garcia, A. B., Martinez-Tarazona, M. R., and Vega, J. G., 1996, Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils. *Fuel*, 75(7), 885-890.
30. Garcia, A. B., Martínez-Tarazona, M. R., Vega, J. G., and Wheelock, T. D., 1998, On the role of oil wetting in the cleaning of high rank coals by agglomeration. *Fuel*, 77(5), 387-392.
31. Gence, N., 2006, Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils. *Fuel* 85: 1138–1142.
32. Gray, M., Champagne, K. J. Soong, Y. and Finseth, D. H., 2001, Parametric study of the column oil agglomeration of fly ash. *Fuel* 80: 867–871.
33. Hacifazlıoğlu, H., Yakup, E., ve Korkmaz, A. V., 2019, Soya Yağı ile kömür yıkama tesis atıklarından temiz yakıt üretimi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 200-204.
34. Hayes Pc, 1993, Principles in minerals and materials production. 2nd Ed. Sherwood, Qld. Hayes Publishing.
35. Hisham, S., Kadirgama, H., Ramasamy, D., Noor M.M., Amirruddin, A.K., Najafi, G., and Rahman, M.M., 2017, Waste cooking oil blended with the engine oil for reduction of friction and wear on piston skirt. *Fuel*, 205, 247-261.
36. Hornn, V., 2020, Development of agglomeration-flotation for finely ground copper sulfides. PhD Thesis, Hokkaido University.
37. Hornn, V., Ito, M., Shimada, H., Tabelin, CB., Jeon, S., Park, I., and Hiroyoshi, N., 2020 (a), Agglomeration–flotation of finely ground chalcopyrite using emulsified oil stabilized by emulsifiers: implications for porphyry copper ore flotation. *Minerals MDPI*.
38. Hornn, V., Ito, M., Shimada, H., Tabelin, CB., Jeon, S., Park, I., and Hiroyoshi, N., 2020 (b), Agglomeration-flotation of finely ground chalcopyrite and quartz:

- effects of agitation strength during agglomeration using emulsified oil on chalcopyrite. Minerals MDPI.
39. <https://fr.statista.com/statistiques/571213/reserves-de-cuivre-dans-le-monde-par-pays/> (Erişim tarihi: 07 Őubat 2024)
  40. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari> (Erişim tarihi: 28 Ocak 2023)
  41. <https://www.yemmak.com/tr/aglomerasyon-turleri-ve-proses-icinde-istenmeyen-aglomerasyonu-azaltma-onerileri> (Erişim tarihi: 15 Mart 2024)
  42. İnan, K., 2019, Kömürün yağ aglomerasyonuna mikrodalga ısıl  n işleminin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi.
  43. Jiangang, F., Kaida, C., Hui, W., Chao, G., and Wei, L., 2012, Recovering molybdenite from ultrafine waste tailings by oil agglomerate flotation. *Minerals Engineering*, 39, 133-139.
  44. Kawashima, Y., Furukawa, K., and Takenaka, H., 1981, The physicochemical parameters determining the size of agglomerate prepared by the wet spherical agglomeration technique. *Powder Technology* 30: 211–216
  45. Kawatra, S. K., and Eisele, T. C., 1992, Recovery of pyrite in coal flotation: entrainment or hydrophobicity. *Minerals and Metallurgical Processing*, Vol. 9, No. 2, 57-61.
  46. Kayataz, Y., 1990, Cevher Hazırlama. 1.Baskı.
  47. Kocabağ, D., 1992, Flotation of sulphide ores, 1: The properties of sulphide minerals and their effects on flotation. *Scientific Mining Journal*, 31(3), 33-50.
  48. Laskowski, J. S., and Yu, Z., 2000, Oil agglomeration and its effect on beneficiation and filtration of low-rank/oxidized coals. *International Journal of Mineral Processing*, 58(1-4), 237-252.
  49. Liu, Y., Chen, J., Li, Y., Ding, M., and Hu, H., 2023, Adsorption behaviors of dibutyl dithiophosphate and sodium-diisobutyl dithiophosphate (3418A) on chalcopyrite: A combined experimental and theoretical study. *Applied Surface Science*, 157810.
  50. Mazzone, D. N., Tardos, G. I., Pfeffer, R., 1986, The effect of gravity on the shape and strength of a liquid bridge between two spheres. *Journal of Colloid and Interface. Science*, 113(2), 544-556.

51. Mehrotra, V. P., Sastry, K. V. S., and Morey, B. W., 1983, Review of oil agglomeration techniques for processing of fine coals. *International Journal of Mineral Processing*, 11(3), 175-201.
52. O'Connor, C. T., and Dunne, R. C., 1994, The flotation of gold bearing ores: A review. *Minerals Engineering*, 7(7), 839-849.
53. Özer, M., Basha, O. M., & Morsi, B., 2017, Coal-agglomeration processes: A review. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37(3), 131-167.
54. Polat, H. and Chander, S., 1995, Improved efficiency of coal cleaning by a flotation – regrind – flotation process. *Symposium on Fundamentals of Mineral Processing-Processing of Hydrophobic Minerals and Fine Coal. Canadian Inst. of Mining and Metallurgy*, Pp. 179 – 189
55. Polat, M., Polat, H., and Chander, S., 2003, Physical and chemical interactions in coal flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 72(1-4), 199-213.
56. Ralston, J., 1992, *Colloid chemistry in mineral processing (Vol. 12)*, Elsevier, 203–224.
57. Rao, T.C., and Vanangamudi, M., 1984, Quantitative studies on the coal–oil agglomeration process. *Powder Technology*, 40, 195–205.
58. Shen, L., Min, F., Liu, L., Zhu, J., Xue, C., Cai, C., Zhou, W., Wang, C., 2019, Application of gaseous pyrolysis products of the waste cooking oil as coal flotation collector. *Fuel*, 239, 446-451.
59. Şahinoğlu, E., 2006, Kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
60. Şahinoğlu, E., 2018, İnce boyutlu kömürün fizikokimyasal yöntemlerle temizlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18, 315-323.
61. Şahinoğlu, E., and Uslu, T., 2008, Amenability of muzret bituminous coal to oil agglomeration. *Energy Conversion and Management* 49: 3684–3690.
62. Şimşek, S., 1999, Taşkömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde bazı işletme parametrelerinin etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.
63. Valderrama, L., Rubio, J., 2008, Unconventional column flotation of low-grade gold fine particles from tailings. *International Journal of Mineral Processing*, 75-84.

64. Vargas, E.M., Neves, M.C., Tarelho, L.A.C., and Nunes, M.I., 2019, Solid catalysts obtained from wastes for fame production using mixtures of refined palm oil and waste cooking oils. *Renewable Energy*, 136, P. 873 – 883.
65. Woodburn, E. T., 1998, Frothing in Flotation II.
66. Xie, W., Li, R., and Lu, X., 2015, Pulsed ultrasound assisted dehydration of waste oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 136-141.
67. Young, T., 1805, An Essay on the Cohesion of Fluids, *Phil. Trans R. Soc.*, 95, 65-87 London.

