



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NİĞDE (ULUKIŞLA-MADENKÖY)
BOLKARDAĞI SÜLFÜRLÜ KURŞUN-ÇİNKO
KOMPLEKS CEVHERİNİN OPTİMUM
FLOTASYON ŞARTLARININ
BELİRLENMESİ

Nur Benan YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nur Benan YILMAZ tarafından hazırlanan “Niğde (Ulukışla-Madenköy) Bolkardağı Sülfürlü Kurşun-Çinko Kompleks Cevherinin Optimum Flotasyon Şartlarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 24/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN


Danışman

Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali ARAS

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza



Nur Benan YILMAZ

Tarih: 30.12.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİĞDE (ULUKIŞLA-MADENKÖY) BOLKARDAĞI SÜLFÜRLÜ KURŞUN-ÇİNKO KOMPLEKS CEVHERİNİN OPTİMUM FLOTASYON ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Nur Benan YILMAZ

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

Danışman: Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK

2019, 52 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN
Dr. Öğr. Üyesi Ali ARAS**

Bu çalışmada, Niğde-Ulukışla yöresine ait Pb-Zn kompleks cevherinin optimum flotasyon şartları araştırılmıştır. Niğde (Ulukışla-Madenköy) yöresinden alınan sülfürlü Pb-Zn kompleks cevheri numunesinde öğütme+flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan cevher numunesinin mineralojik analiz sonucuna göre, cevher bileşiminde kalsit, kuvars, pirit, kalkopirit, hematit, götit, limonit, jips, galen, sfalerit, jarosit, arsenopirit ve markazit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Au ve Ag tanelerinin hematit, götit ve jarosit mineralleri içerisinde kapanım halinde olduğu belirlenmiştir. Deneyler, %30 katı oranında, 10 L/dk hava akım hızında, 1250 dev/dk karıştırma hızında kurşun devresi pH=9 ve çinko devresi pH=12'de gerçekleştirilmiştir. Öğütme, Pb ve Zn kaba flotasyonu devresinde kullanılması gerekli olan reaktifler ve miktarları belirlenmiştir. Flotasyon testlerinde, pH ayarlayıcı olarak kurşun devresinde sodyum karbonat, çinko devresinde sönmemiş kireç, bastırıcı olarak, çinko sülfat, sodyum silikat, canlandırıcı olarak bakır sülfat, toplayıcı olarak sodyum izobütül dithiofosfin- potasyum amil ksantat ve köpürtücü olarak ise metil izobütül karbinol kullanılmıştır. Deneylerde, öğütme devresinde 8 dakika, Pb devresinde 4 dakika kondüsyon, Zn devresinde 5 dakika kondüsyon süresi uygulanmıştır. Sonuç olarak, %80,63 verim ile %55,13 Pb ve %77,60 verim ile %37,32 Zn kazanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: : Kaba flotasyon, kurşun-çinko kompleks cevheri, Niğde-Ulukışla, öğütme, sülfürlü cevher.

ABSTRACT

MSc THESIS

DETERMINATION OF OPTIMUM FLOTATION CONDITIONS OF NİĞDE (ULUKIŞLA-MADENKÖY) BOLKARDAĞI SULFURED LEAD-ZINC COMPLEX ORE

Nur Benan YILMAZ

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK

Year, 52 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK
Assist. Prof. Dr. Muhammed Fatih CAN
Assist. Prof. Dr. Ali ARAS**

In this study, optimum flotation conditions of Pb-Zn complex ore of Niğde-Ulukışla region were investigated. Grinding + flotation experiments were carried out on the sulphide Pb-Zn complex ore sample taken from Niğde (Ulukışla-Madenköy) region. According to the mineralogical analysis of the ore sample used in the experimental studies, the ore composition contained calcite, quartz, pyrite, chalcopyrite, hematite, goethite, limonite, gypsum, galena, sphalerite, jarosite, arsenopyrite and marcasite minerals. In addition, Au and Ag grains were found to be inclusions in hematite, goethite and jarosite minerals. Experiments were carried out at 30% solids, 10 L / min air flow rate, 1250 rpm stirring speed lead circuit pH = 9 and zinc circuit pH = 12. Reagents and quantities required for grinding, Pb and Zn rough flotation were determined. In flotation tests, sodium carbonate in the lead circuit, quicklime in the zinc circuit are used as the pH regulator, zinc sulphate, sodium silicate as the depressant, sodium isobutyl dithiophosphine as the collector and methyl isobutyl carbinol as the frother. In the experiments, 8 minutes in the grinding circuit, 4 minutes in the Pb circuit and 5 minutes in the Zn circuit were applied. As a result, The lead grade of lead concentrate for 55.13%, the recovery for 80.63%, and zinc grade of zinc concentrate for 37.32%, the recovery for 77.60% were obtained.

Keywords: Coarse flotation, lead-zinc complex ore, Niğde-Ulukışla, grinding, sulfured ore.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda öneri, yönlendirme ve verdiği destek için değerli tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK'a teşekkür ederim.

Tez projemi destekleyerek ekipman, malzeme, ve teknik bilgi desteği sağlayan Gümüştaş Madencilik A.Ş.'ye,

Yine çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen; bu imkanları bana sunan her konuda bilgileri, deneyimleri ve birikimleriyle yanımda olan diğer bölüm hocalarıma saygılarımı sunar ve bana her konuda destek olan aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Nur Benan YILMAZ
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kurşun-Çinko-Bakır Yatakları	3
2.1.1. Hidrotermal damar yatakları	4
2.1.2. Sedimanter yatakları	4
2.1.3. Masif sülfür yatakları	4
2.2. Kurşun-Çinko Yataklarının Cevher Kalitesi	5
2.2.1. Cevherdeki yararlı-zararlı bileşenlerin metal içeriği	5
2.2.2. Mineral parajenezi ve dokusu	5
2.2.3. Tenör seyreltilmesi ve cevher kaybı	6
2.2.4. Satılabilir konsantrasyon prim ve cezaları	6
2.3. Kurşun-Çinko Cevherinin Zenginleştirilmesi	8
2.3.1. Gravite yöntemleri	8
2.3.2. Flotasyon yöntemleri	8
2.4. Flotasyon	9
2.4.1. Bakır-kurşun-çinko cevherlerinin flotasyonu	11
2.4.2. Flotasyon reaktifleri	12
2.4.2.1. Kontrol reaktifleri	13
2.4.2.1.1. pH düzenleyiciler	13
2.4.2.1.2. Bastırıcılar	13
2.4.2.1.3. Canlandırıcılar	14
2.4.2.2. Toplayıcılar	14
2.4.2.2.1. Köpürtücüler	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.2. Yöntem.....	20
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	24
4.1. Öğütme Devresinde Kullanılacak ZnSO ₄ Miktarının Belirlenmesi	24
4.2. Öğütme Devresinde Kullanılacak Na ₂ SiO ₃ Miktarının Belirlenmesi	25
4.3. Pb Devresinde Kullanılacak ZnSO ₄ Miktarının Belirlenmesi	26
4.4. Pb Devresinde Kullanılacak Na ₂ SiO ₃ Miktarının Belirlenmesi	28
4.5. Pb Devresinde Kullanılacak 3418 A Miktarının Belirlenmesi	29

4.6. Zn Devresinde Kullanılacak CuSO_4 Miktarının Belirlenmesi.....	30
4.7. Zn Devresinde Kullanılacak Z-5 Miktarının Belirlenmesi	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	34
5.1. Sonuçlar	34
5.2. Öneriler	34
KAYNAKLAR	35
EKLER	38
ÖZGEÇMİŞ	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

Au: Altın
Pb: Kurşun
Zn: Çinko
As: Arsenik
Cd: Kadmiyum
Fe: Demir
Cu: Bakır
Z-5: Potasyum amil ksantat
MGS: Multi gravitiy seperatör
MIBC: Metil izobütıl karbınol
ZnSO₄: Çinko sülfat
Na₂SiO₃: Sodyum silikat
Na₂CO₃: Sodyum karbonat
CaO: Kalsiyum oksit
CuSO₄: Bakır sülfat
PbS: Galenit
ZnS: Sfalerit
FeS₂: Pirit
FeOOH: Götüt
NaOH: Sodyum hidroksit
H₂SO₄: Sülfürük asit
CuFeS₂: Kalkopirit
Fe₂O₃: Demir (III) Oksit
CaCO₃: Kalsit
SiO₂: Kuvars

1. GİRİŞ

Niğde Ulukışla (Bolkardağı) ve yöresinde ekonomik açıdan oldukça önemli olan ve çok eskiden beri işletilen altın ve gümüş içeriği yüksek kurşun-çinko yatakları bulunmaktadır. Bu yatakların, Horoz Köy ile Madenköy arasında geniş bir alana yayıldığı bilinmektedir. Yataklar hem sülfürlü hem karbonatlı, hem de karst plaseri tipi cevherler olmak üzere üç şekilde bulunmaktadır (Temur, 1992). Şişman ve ark., (1981), birincil cevherleşmenin genellikle sülfidli minerallerden (pirit, pirotin, markasit, galenit, sfalerit, kalkopirit gibi) oluştuğunu ikincil cevherleşmenin ise sülfidli minerallerin değişmesiyle oluştuğunu yani hidrotermal kökenli oldukları belirtmişlerdir.

Flotasyon, arayüzlerin fizikokimyasal özelliklerinde farklılıklara dayanan bir ayırma ve zenginleştirme işlemidir. Yüzdürme ya sıvı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-katı ya da katı-gaz arayüzünde gerçekleşebilir. İstenilen serbestleşme tane boyutuna indirilmiş bir cevherin içerisindeki minerallerin yüzey/ara yüzey özelliklerinden yararlanarak, hidrofob olan minerallerin hidrofil tanelerden ayrılmasını sağlamaktadır (Gaudin, 1957). Yüzeylerin hidrofobik ve hidrofilik karakterleri, yüzey aktif maddeler kullanılarak değiştirilebilir. Yüzeyi hidrofobik yapan bir yüzey aktif maddeye kolektör adı verilir. Bu kolektörler ile yüzeyi değiştirilmiş mineral tanesi ile hava kabarcığı arasındaki adhezyon kuvveti artma veya azalma eğilimi gösterecektir. Hidrofob minerallerde adhezyon kuvveti artarken; hidrofil minerallerde adhezyon kuvveti azalacaktır. Bu nedenle flotasyon gerçekleşebilmesi için minerallerin hidrofob ve hidrofil olma özellikleri büyük önem taşımaktadır. Sülfür içerikli mineraller, oksit yapılı bütün mineraller ve metalik- olmayan minerallerin tümü flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmektedir. Flotasyon işleminin köpük, film ve yağ flotasyonu olmak üzere üç tipi bulunmaktadır. Maden ve metalurji endüstrisinde en çok kullanılan yöntem ise köpük flotasyonu olarak bilinmektedir (Laskowski, 1998; Parekh ve Miller, 1999). Sonuç olarak, yüzeyde oluşan köpük tabakası hidrofobik mineralleri yüzeye taşıyarak yüzmesini sağlarken, hidrofilik taneler hava kabarcıklarına yapışma eğilimi az olduğundan süspansiyon halinde kalacak veya çökecektir (Whelan ve Brown, 1956). Bilimsel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kurşun-çinko cevherinin zenginleştirilmesinde etkin ve yaygın bir yöntem olan flotasyon devamlı olarak geliştirilmekte, bunun neticesinde uygulamaya ekonomiklik ve randıman

kazandırılmaktadır. Ekonomik ve uygulanabilir olması nedeniyle kurşun ve çinko cevherinin zenginleştirilmesinde flotasyon yöntemi kullanılmaktadır.

1900'lü yılların başlarından itibaren geliştirilmeye başlanan flotasyon yöntemi, günümüzde sorunlu kurşun-çinko cevherlerinden de, bugünkü teknolojinin gereksinimlerine cevap verecek konsantreler üretmeye olanak sağlamıştır. 1500 yıldan fazla bir zamandır uygulanan kurşun ve çinko madenciliği nedeniyle iri tanede serbestleşen ve yüksen Pb-Zn tenörlü yataklar yok denecek azalmıştır (Çilingir, 1996).

Sülfürlü minerallerin kazanımında yapılan çalışmaların çoğunda, yaygın olarak ksantat tipi toplayıcılar, alkol tipi köpürtücüler, bunun yanında değişik inorganik ve organik düzenleyici reaktifler kullanılmaktadır (Atak, 1990; Leja, 1982; Arbiter, 1985; Wills, 1988). Pb-Zn-Cu kompleks cevherlerinin flotasyonunda sfaleritin bastırılması için özellikle $ZnSO_4$ kullanılmaktadır. Çinko sülfatın siyanür ile birlikte kullanıldığı bilinmektedir (Cao ve Liu, 2006, Bulatovic, 2007). Pirit, sfalerit ve galenin bastırılmasında sodyum sülfid, sodyum bi-sülfid, sodyum metabisülfid veya sülfürdioksit formundaki reaktifler de kullanılmaktadır (Grano ve ark., 1997; Khmelave ve ark., 2006). Silikatları bastırmak için ise genellikle sodyum silikat ilavesi yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Niğde-Ulukışla yöresine ait Pb-Zn kompleks cevherinin optimum flotasyon şartları araştırılmıştır. Öğütme ve Pb ve Zn kaba flotasyonu devresinde kullanılması gerekli olan reaktifler ve miktarları belirlenmiştir. Öğütme aşamasında çinko sülfat ve sodyum silikat eklenmiştir. Pirit, arsenopirit ve bastırılmış sfalerit minerallerine karşı büyük bir seçimlilik sağlamak amacıyla Pb devresinde ksantatların yerine Aerophine 3418A, Zn devresinde ise Z-5 çinkoyu toplamak için kullanılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyada cevher hazırlama ve zenginleştirilmesinde problem yaratmayan az sayıda cevher bulunmaktadır. Genellikle mineralojisi kompleks yapıda bulunan cevherlerden bakır, kurşun ve çinko gibi metaller elde edilmektedir. Kompleks yapılı cevherler pirit içeriği yüksek olan kalkopirit, sfalerit ve galenden oluşmaktadır. Ayrıca önemli miktarda altın, gümüş ve platin grubu metalleri içermektedir. Kompleks yapılı cevherin ortak özellikleri aşağıdaki gibidir. (Bayraktar ve Altun, 1996).

- Yüksek oranda pirit içermektedir.
- Çinko-kurşun, çinko-bakır veya kurşun-çinko-bakır mineralleri 1 µm -1 mm aralığında pirit içerisinde bulunmaktadır.
- Cezai içerikler (As, Sb, Bi vb.) diğer cevherlerden daha fazladır.
- Önemli miktarda altın, gümüş ve platin grubu metalleri içermektedir

Kompleks yapılı kurşun-çinko-bakır cevherleri dünya üretiminin %15'ini karşılamaktadır (Cebeci, ve ark., 1998).

Kurşun-çinko-bakır yüksek tenörlü cevherlerin azalması ile düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi gerekmektedir. Flotasyon yöntemi kompleks yapıdaki düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesinde önemli olmuştur. Kompleks yapılı kurşun-çinko-bakır cevherlerinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesinde minerolojik yapısı ve izabe giderleri önemli rol oynamaktadır (Cebeci, ve ark., 1998).

Sülfürlü kompleks cevherlerde serbestleşme tane boyu, minerolojik yapısı ve flotasyon koşullarına karşı davranışı başlıca sorunlardır. Sülfürlü kompleks cevherlerde bu sorunlar birçok cevher yatağının işletilmesini engellemektedir. Sorunlu yapıdaki sülfürlü kompleks cevherlerin flotasyonunda iyileştirici AR-GE çalışmaları yapılmaktadır.

2.1. Kurşun-Çinko-Bakır Yatakları

Bakır-kurşun-çinko cevherleri ekonomik anlam taşıyan minerallerdir. Bu cevherler bünyelerinde altın, gümüş gibi değerli metal, az miktarda kobalt ve az miktarda nikel barındırırlar.

Bakır-kurşun-çinko cevherleri birbirleri ile yakın cevher yataklarından gelmektedirler. Bunlar hidrotermal damar yatakları, volkanojenik kökenli masif sülfür yatakları ve sedimanter yataklarıdır.

2.1.1. Hidrotermal damar yataklar

Hidrotermal damar yatakları damar şeklinde veya zayıf zonlar boyunca görülen yer değiştirme hareketine bağlı olarak gelişmiş yataklardır.

Bakır-kurşun-çinko hidrotermal damar yatakları geniş bir tane boyutu aralığında pirit, galen, sfalerit ve kalkopiritle beraber, haricinde altın ve gümüş içeriği bulunmaktadır.

Kuars, kalsit ve florit gibi pirit, sfalerit ve gang mineralleri katman düzlemleri oldukça elverişli zonlardır. Bu yatakların oluşumu için gerekli şartlar aşağıdadır:

- Kayaç içerisinde boşluk ve geçiş yollarının olması,
- Cevher mineralinde bulunan elementlerin çözünerek taşınabileceği çözelti,
- Çözeltinin cevher minerallerini çökeltecek ortamın olması,
- Çözeltiden minerali çökeltmek için kimyasal yapısının değişmesidir (Bulatovic, 2007).

2.1.2. Sedimanter yataklar

Sedimanter maden yatakları, herhangi bir çökel havzasında, kimyasal ve klastik olarak oluşan malzemenin tortulaşması ile oluşan maden yataklarıdır.

2.1.3. Masif sülfür yataklar

Masif sülfür yatağı fazla miktarda sülfür içeren kayaca verilen addır. Masif sülfür yatakları volkanik yada volkanik-sedimanter kayalar arasında oluşur. Genellikle kurşun-çinko-bakır, bakır-çinko veya bakır içermektedir.

Asıl cevher mineralleri galen, sfalerit, pirit, pirotin ve kalkopirit bazı cevherlerde kalkozin ve bornit olabilir. Nadir rastlanan mineraller arsenopirit ve tetrahedritdir. Gang

minerali kuvarstır. Yan ürün olarak altın ve gümüşün olma ihtimali vardır. Bazı yataklarda Altın içeriği 3 ppm gibi yüksek değerlere ulaşabilir.

Cevher zenginleştirme aşamasında oksitli ve alterasyona uğramış masif sülfür yatakları sorun yaratmaktadır.

2.2. Kuşun-Çinko Yataklarının Cevher Kalitesi

Kuşun-çinko yataklarının cevher kalitesi aşağıdaki parametrelerle ilişkilendirilebilir;

- ✓ cevherde yararlı-zararlı bileşenlerin metal içeriği,
- ✓ mineral parajenezi ve dokusu,
- ✓ tenör seyreltilmesi ve cevher kaybı.

2.2.1. Cevherdeki yararlı-zararlı bileşenlerin metal içeriği

Kuşun-çinko cevherlerinin kalitesi metal analizlerine göre belirlenerek cevher zengin, orta ve fakir cevher olarak sınıflandırılır. Metal analizine göre bu sınıflandırma ekonomik değer açısından bir anlam taşımamaktadır. Kuşun içeriği %2-4 fakir cevherler, %4-12 orta zenginlikteki cevherler ve %12 den büyük analiz içerikli cevherler zengin tenörü sınıfında adlandırılmaktadır.

Endüstriyel anlamda en düşük seviyelerde çalışma koşulları değişkenlik göstererek % 5 kurşun ve çinko tenörünün kolay zenginleşebilen ve ekonomik kazanç elde edilebileceği söylenebilir.

Düşük tenör içeriğiyle (%2 Pb) yüksek üretime sahip yataklar; örnek olarak ABD Missouri kazançlı olabilir (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

2.2.2. Mineral parajenezi ve dokusu

Kuşun-çinko cevherlerinde oksitli yapı, sülfürlü yapı, serbestleşme tane boyu ve istenmeyen minerallerin yapısı tesisin yapısını belirlemektedir.

Metasomatik damar biçimli yataklarda oluşan orta ve büyük taneli cevherlerin zenginleşmesi daha kolaydır.

Skarn cevherleri, silikatlı ve ince taneli olmasından dolayı zenginleşmesi daha zordur.

Kil içeriği bulunan bakırlı pirit ve kurşun- çinko yatakları zor zenginleşebilir gruptadır. Fakat ince tane boyutunda düşük oranda çalışma sağlamaktadır (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

2.2.3. Tenör seyreltilmesi ve cevher kaybı

Sondaj numuneleri, galeri numuneleri veya cevher stoğundan alınan numuneler ile işletme sırasında alınan tüvenan numunelerde tenör farklılık olabilir.

İşletmede bu farklılığa tenör seyreltilmesi denilmektedir. Gerçekte kurşun-çinko cevherlerinin kalitesi hakkında rakamlar vermek doğru olmamakla birlikte kurşun-çinko yatakları kendi içerisinde değerlendirilmelidir. Rezerv hesabına göre kurşun-çinko yataklarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Küçük yataklar; 40-50 bin ton kurşun ve 50-60 bin ton çinko,
- Orta büyüklükteki yataklar; 50- 500 bin ton kurşun ve çinko,
- Büyük yataklar; 500 bin- 1 milyon ton kurşun ve çinko,
- Çok büyük yataklar; > 1 milyon ton kurşun ve çinko.

Bu sınıflandırmaya rağmen cevherin kalitesine göre ekonomik olup olmadığını yorumlamak daha doğrudur. Zengin içerikli cevherlerde zenginleştirme az rezerv olması, fakir içerikli cevherlerde de yüksek rezerv bulunması ekonomik açıdan olumludur (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

2.2.4. Satılabilir konsantre prim ve cezaları

Satılabilir konsantre hesabı yapılırken kullanılacak metaller için prim ve istenmeyen ürünler içinde ceza uygulanmaktadır. Prim ve ceza uygulamaları satışı yapılan firmalara göre azda olsa farklılık gösterir. En çok uygulanan prim ve ceza hesaplamaları aşağıdadır (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

Primler:

- 1 g/t altın hesaba katılmayarak kalan tenör üzerinden %90-100 arası hesaplama yapılır.
- 31-150 g/t gümüş göz ardı edilerek geriye kalan miktarda piyasaya göre hesap yapılır.
- Kurşun konsantre içeriğindeki bakır için %1' in üstünden %25-60 arası hesaplama yapılır.
- %0,15 ile %0,20 kadmiyum miktarı düşülerek kalanın miktar üzerinden %60-75 arası piyasa üzerinden fiyat hesaplanır (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

Cezalar:

- Bizmut: Kurşun konsantrelerinde %0,1'e kadar bizmut katlanılabilir. Bu tenörü aşan her %0,01 bizmut için konsantrenin Kurşun tenöründen 0,2 indirim yapılır. Kurşun konsantrelerindeki bizmutu değerlendiren bazı izabehaneler, yüksek bizmut tenörlü kurşun konsantrelerine, kendi şartlarına göre prim öderler (Çilingir, 1996).
- Çinko: Kurşun konsantrelerindeki çinko için, izabehanelere göre değişen bir sınır değerden sonra ceza uygulanır. ABD'deki izabehaneler %2'den fazla olan çinko tenörlerinde, her tenör için ton konsantreye belirli miktarda fiyat indirimi uygulamaktadır. Zira kurşun konsantresindeki çinko; izabe anında kurşun matında bulunan gümüşün cürufa kaçmasına neden olur. Ayrıca bir kısım çinko buharlaşarak fırın cidarında çinko oksit tabakası oluşturarak fırının içini daraltır (Çilingir, 1996).
- Arsenik: Çevre kirliliğine neden olması ve bir kısım arseniğin de kurşun matına geçmesi nedeniyle kurşun konsantrelerinde arsenik istenmez. Yüksek tenörlü kurşun konsantrelerinin %0,5'ten az arsenik içermesi bazı alıcılar tarafından sorun oluşturmaz. Anlaşılmış tenörden fazla olan her %0,1 arsenik için kurşun konsantresi tenöründen %0,6 indirim uygulanır. Bazı izabehaneler; kurşun, gümüş, altından başka belli sınır tenörlerden fazla olan bakır, çinko, bizmut, antimuan ve platin için prim ödemektedirler (Çilingir, 1996).

2.3. Kurşun-Çinko Cevherinin Zenginleştirilmesi

Kurşun-çinko cevherlerinin doğrudan izabesi ekonomik açıdan uygun olmamaktadır bu nedenle ilk başta zenginleştirme işlemleri uygulanarak konsantre haline getirilmeleri gerekir. Kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde iki yöntem uygulanmaktadır (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

2.3.1. Gravite yöntemleri

Gravite yöntemler tane boyutuna serbestleşmesine bağlı olarak sallantılı masa, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve jig tek veya ikili olarak uygulanabilir. Gravite yöntemlerin uygulanmasında işletme ve yatırım maliyetleri açısından düşük olması olumludur. Fakat bu yöntemlerin uygulanmasında kazanım randımanlarının düşük olması, kaçak miktarının fazla olması ve ayırım sağlanamaması olumsuz olmasıyla ön zenginleştirme aşamasında yol gösterici rol oynamaktadır. Ayrıca küçük taneli cevherlerin (-0,5 mm) zenginleştirilmesinde Multi Gravite Ayırıcısı'nda sarsıntılı masaların yerine kullanımı uygun olmaktadır (Madencilik ÖİK Raporu, 2001).

2.3.2. Flotasyon yöntemleri

Flotasyon yönteminde ayırma bazı minerallerin yüzey özellikleri yardımıyla yada şartlandırıcılar kullanılarak yüzey özelliklerinin kabarcıklarına yapışması (hidrofob) ile su içinde yüzmesi ve hava kabarcığına yapışmayarak su içinde batması zenginleştirmeyi sağlar.

Flotasyon yöntemi ile zenginleştirmede dikkat edilmesi gereken parametreler aşağıdadır;

- Cevherin maksimum 0,5-0,2 mm boyut aralığına öğütülmesi,
- Katı oranının %15-35 arasındaki ayarlanması,
- Yüzey özelliklerine istinaden gerekli reaktifinin ilavesi,
- Toplayıcı özelliği bulunan kimyasalın ilavesi,
- Hava kabarcığı oluşması için köpürtücü kimyasalının ilavesi,

- Köpüğün doğal havalandırma yada şartlandırıcı kullanılarak oluşturulması,
- Zenginleştirme sağlanacak mineraller ile ayırım yapılacak gang minerallerinin pülpün içinde köpük zonuyla ayırımının sağlanmasıdır.

Flotasyon yöntemi metal zenginleştirilmesi harici çevre kirliliğine karşı ince atık malzemelerinin endüstriyel ürünlerden ayırımının sağlanması amacıyla uygulanabilmektedir (Önal ve Ateşok, 1994).

Hidrometalurjik yöntemler flotasyon yöntemine göre daha pahalı fakat daha yüksek verimlidir (Atak,1990).

2.4. Flotasyon

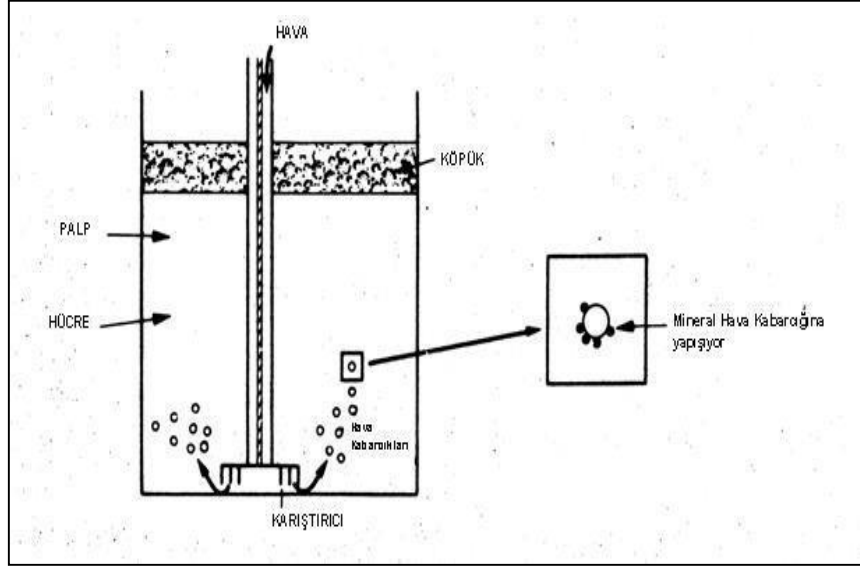
Flotasyon yöntemi sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Flotasyon yöntemiyle zenginleştirmede şimdiye kadar birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle ana kaynağı sülfürlü yapıda olan kompleks cevherlerin zenginleştirilmesinde uygulanmıştır.

Kimyasal ve fiziksel faktörler flotasyon yönteminin tanınmasında ve iyileştirilmesinde yönlendirici rol oynamıştır (Fuerstenau ve ark., 2007).

20. Yüzyılın başından beri flotasyon yöntemi fazlaca önem kazanmıştır. Bunun sebebi de yüksek tenörlü cevherlerin azalarak kompleks yapıları cevherlerin varlığıdır (Arbiter, 1985).

Flotasyon yöntemi fiziko-kimyasal yüzey özelliklerinden faydalanarak selektif ayırım yapılabilmesidir (Kohad, 1998; Cilek 2009; Chandra ve Gerson, 2009).

Flotasyon yöntemi cevherin yapısına göre şartlandırıcı kimyasalların ilavesiyle satılabilir ürünün köpükten alınarak konsantre elde edilmesi ve istenmeyen minerallerin batırılarak atık olarak adlandırılmasına dayanmaktadır (Wills ve Napier-Munn, 2006). Genel flotasyon mekanizması Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1. Temel flotasyon mekanizması (Wills ve Napier-Munn, 2006).

Kompleks yapılı cevher flotasyonu diğer cevherlere göre karışık ve farklılık gösteren bir yöntemdir. Kompleks yapılı cevher flotasyonunda her cevherin özellikleri dikkate alınarak uygulanmaktadır. Flotasyon yönteminde uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıdadır;

- Kompleks yapılı cevherlerden ayrı ayrı konsantre elde etmek için öncelikle bakır sonrasında kurşun ve çinko yüzdürülmektedir.
- Öncelikle bakır ve kurşun birlikte alınır, sonrasında çinko yüzdürülür. Birlikte alınan bakır ve kurşun kaba konsantreye tekrar işlem uygulanarak birbirinden ayrılır.
- İçeriğinde kovelin, bornit ve ikincil bakır sülfür mineralleri olan cevherlerde öncelikle bakır-kurşun-çinko toplu konsantre alınır, sonrasında seçimli flotasyon yapılır.

Yöntem seçimi yapılırken cevherin yapısı ve flotasyon sürecindeki davranışı önemlidir. Bazen toplu bazen de selektif flotasyon uygulaması uygun olabilmektedir. Fakat flotasyon yöntemine karar vermeden önce yol gösterici parametreler göz önüne alınmalıdır. Bunlar;

- Bazı cevherlerde seçimli kurşun ve çinko flotasyon sonuçları yerine toplu kurşun-çinko flotasyon sonuçları daha iyi olabilmektedir. Bu tür cevherlerde içeriğindeki değerli metaller göz önüne alınarak konsantre içeriğindeki altın ve gümüş oranına göre yöntem seçimi yapılmaktadır. Buna en iyi örnek olarak Kanada'da bulunan Silver Queen Madeni'dir.

- Bazı cevherlerde de toplu bakır-kurşun flotasyonu uygulamasından sonraki kurşun bakır ayırımı zor olabilir. Böyle cevher yapılarında kurşun, çinko selektif flotasyon çalışması daha uygun olabilmektedir. Buna en iyi örnek Güney Afrikada bulunan Black Mountain cevheridir.

- Birbirlerine kenetli halde bulunan masif sülfür cevherlerinde toplu flotasyon yerine selektif flotasyon çalışması tercih edilmelidir. Bu cevherlerde kaba konsantrenin kazanımı ardından ikincil öğütmeye tabi tutularak daha ince tane boyutunda çalışma kazanım ve randıman açısından daha iyidir. Buna örnek olarak Tazmanyada bulunan Hellyer Madeni'dir.

- Bakır-Kurşun flotasyonu esnasında içeriğinde bulunan sfalerit mineralinin canlanmasıyla karşılaşılırsa seçimli flotasyon uygulanması daha doğru olmaktadır. Buna örnek olarak Avustralya'daki Rosebert zenginleştirme tesisi örnek verilebilir.

Flotasyon yöntemi tercihinde öncelikle cevherin özellikleri, mineralojisi, tane boyutu önemli rol oynamaktadır. Seçimli ve toplu flotasyon yöntemlerinin uygulama şekli de reaktif seçimleri de birbirinden çok farklıdır. Yol gösterici etken cevher yapısının karakteridir (Bulatovic, 2007).

2.4.1. Bakır-kurşun-çinko cevherlerinin flotasyonu

Bakır, kurşun ve çinko cevherlerinin flotasyonunda, öncelikle selektif olarak bakır-kurşun sonrasında çinko yüzdülür veya kurşun konsantre eldesinden sonra bakır konsantre ve çinko konsantre elde edilir (Atak, 1990).

Kurşun cevherini yüzdürmek için çinko ve demir minerallerini bastırarak içeriği zengin konsantre elde edilir. Demir cevheri ortamı alkali yapmakla (pH:8-10) bastırılabilir. Kirecin salkımlaştırma özelliği olduğundan pülpü dağıtmak için sodyum silikat, kalgon gibi reaktifler kullanılabilir. Etil ksantat gibi zayıf bir kollektör kullanmak faydalıdır. Aksi halde istenmeyen mineraller de köpükte toplanabilir. Kurşun devresinde pülpde çözülmüş halde bulunan muhtelif iyonlar (Cu^{+2}) çinkoyu canlandırarak yüzdürebilir. Bu durumu önlemek için alkali siyanür ilave edilebilir. Siyanür ve sülfitle birlikte genellikle çinko sülfat da kullanılır. Bakır ve kurşun minerali toplu alınmak istendiğinde Sodyum siyanür miktarı bakırı bastırmayacak oranda ilave

edilmelidir. Sodyum sülfat, sülfüroz asit veya kükürtdioksit gazı da çinkoyu bastırmada kullanılır (Atak, 1982) .

Çinkoyu yüzdürmek için, bakır sülfatla canlandırmak gerekir. Bakır sülfat piriti de canlandırdığından, ortam pH'sını çok yükseltmek faydalıdır (pH:10-12). Çinkonun canlandırılması yavaş bir reaksiyon olduğundan 5-30 dk karıştırma süresi verilmelidir. Çinko ve piritin yüzebilirliğini sağlamak için ksantat tipi bir reaktifle kullanılması gerekmektedir. Kollektör genellikle bakır sülfatla karıştırıldıktan sonra ilave edilir. Daha uzun zincirli bir ksantatın kullanılması faydalıdır. Mesela amil veya izopropil ksantat kullanılabilir. Çamyacı veya bir alkol köpürtücü olarak kullanılır (Atak, 1982).

Demir ve kükürt veya içindeki kıymetli metaller zenginleştirme amacıyla üçüncü kademedeki pirit ve pirotin flotasyonu yapılır. Önceden bastırılmış olmaları bu flotasyonda zorluk çıkartabilir. Sülfürik asit kullanılarak pH 4'ün altına indirilir. Asit kısa zamanda harcanarak pH 6-7'ye yükselir. Yüzeyleri oksit ve siyanür temizleninceye kadar, uzun süre karıştırmak faydalıdır. Bundan sonra, daha fazla miktarda uzun karbon zincirli ksantatlarla demir mineralleri yüzdürülür (Atak, 1982).

2.4.2. Flotasyon reaktifleri

Değerli metaller buldukları yerden çıkartılıp konsantre haline getirilinceye kadar çokça cevher zenginleştirme aşamalarından geçmektedirler. Zenginleştirme sürecinde yardımcı olması ve proseslerdeki verimi yükseltmek amacıyla çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Genellikle minerallerin yüzeyine ve kimyasına etki etmektedirler. Bunlara reaktif adı verilmektedir. Değerli metal zenginleştirme tesislerinde kazanım için reaktif kullanımı gereklidir. Genellikle flotasyon ve liç tesislerinde gerekli görülmektedir (Bulut ve Göktepe, 2012).

Kazanımı istenilen minerallerin hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye çıkması için yüzeyde bulunan suyun uzaklaştırılması ve su sevmeyen özellikte olması gerekmektedir. Ayrıca hava kabarcığına yapışan mineralin daha kararlı olması ve köpük oluşturması gerekmektedir. Kararlı halde davranmaz ise hava kabarcıkları yüzeye doğru yol alırken patlar ve düşer. Bu işlemi sorunsuzca devam ettirmek için kimyasal ilave miktarları önemlidir. İlave edilecek reaktif olması gerekenden az ise yüzdürmede süreklilik sağlanamaz, yarıda kalır ve atık artar, gereken miktardan az ise kritik misel değişimi meydana gelir. Yani reaktif oranı fazla gelirse tam ters etki yaratır (Wills ve

Napier-Munn, 2006). Flotasyonun ilk şartlandırması kontrol reaktifleri ile yapılır. Yüzmesi istenilen minerallerin aktifleştirilmesi için canlandırıcılar, pasifleştirmek içinde bastırıcılar kullanılır. Bu aşamada gang minerallerinin yüzmesini engellemek içinde dağıtıcılar kullanılır. Kendiliğinden, doğal yüzme özelliğine sahip mineraller oldukça azdır. Bu şartlandırmalardan sonrada mineralin yüzmesini kolaylaştırmak için toplayıcı reaktif ilavesi gerekir. Flotasyonda yüzme için şartlandırılan mineralin köpük yapısını arttırmak için köpürtücü kullanılmalıdır (Booth ve Freyberger, 1962).

2.4.2.1. Kontrol reaktifleri

Flotasyonda yalnızca toplayıcının kullanımı pek mümkün değildir. Çünkü minerallerin, flotasyon aşamasında davranışları birbirlerinden farklı ise toplayıcının tek başına kullanımı uygundur. Fakat uygulamada böyle bir durum olmamaktadır. Bu nedenle minerallerin flotasyon aşamasındaki farklılıkların ortaya çıkması düzenleyici reaktiflerin etkisindedir. Düzenleyiciler, mineral yüzeyini şartlandırarak seçimini sağlamaktadır. pH düzenleyici, canlandırıcılar ve bastırıcılar olarak üç gruba ayrılır.

2.4.2.1.1. pH düzenleyiciler

Flotasyonda uygun koşulları sağlayabilmek için ortamı şartlandırmak yani asidik veya bazik ortam oluşturmak için kullanılan reaktiflerdir. Sülfürlü veya oksitli minerallerin flotasyonunda pH'ını arttırmak yada azaltmak için sodyum hidroksit (NaOH), sülfürik asit (H_2SO_4), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve kireç (CaO) kullanılır.

2.4.2.1.2. Bastırıcılar

Flotasyonda, belli bir minerali yada mineral topluluğunu yüzürmek (seçimli veya toplu flotasyon) amacıyla, diğer mineral ve gangın çöktürülmesi için kullanılan reaktiflerdir. Çöktürme gecikmeli veya daimi olabilir. Bu amaçla farklı reaktif kullanmak gerekir (Ethem, 1974).

Flotasyondaki minerallerin hepsi flotasyona uygun yüzey özellikleri kazanırsa ayırım sağlanamaz. Cevher içerisindeki istenilen ile istenilmeyen mineralleri ayırmak için, zenginleştirmek istediğimiz minerallerin uygun şartlarda toplayıcı ile kaplanarak

su sevmeme özelliği kazanırken, istenmeyen minerallerinde etkilenmeden su sevme özelliklerine devam etmeleri gerekebilir. Bu aşamada da mineral yüzeyine bastırıcı adı verilen kimyasal reaktiflerin kullanılması uygundur. Bastırıcı reaktifler, zenginleştirilmesi istenmeyen mineral ve gang minerallerinin bastırılması etki etmelidir.

Masif sülfür yataklarına ait cevherlerin zenginleşmesindeki en büyük sorun kullanılan bastırıcı reaktiflerin etkili olmamasından kaynaklanmaktadır. Bastırıcı reaktiflerinin seçimli liginin azalması ile konsantre verimini artırmak yerine konsantre tenörünün satılabilir duruma getirmek amaçlanmaktadır. Bu sebeple bakır, kurşun, çinko gibi değerleri metallerin flotasyon ile zenginleşmesinde atık tenörleri artmaktadır.

Bastırıcı sisteminin seçimi için belirli bir kural olmayıp seçiminde aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Minerallerin serbestleşme boyutu,
- Minerallerin çözünürlükleri,
- Minerallerin doğal aktivasyon dereceleri (Bulatovic ve Wyslouzil, 1995).

2.4.2.1.3. Canlandırıcılar

Canlandırıcılar, mineral yüzeyine etki ederek toplayıcıların mineral yüzeyine yapışmasını kolaylaştırmak için hazır duruma getirirler. Gang minerallerinin aktifleşmesini az miktara indirmeleri önemli olup bu minerallerin aktifleştiği durumda konsantre tenörlerinin düşmesine etki edecektir.

Sülfürlü kurşun-çinko mineral flotasyonunda kurşun devresinde sfaleritin canlandırılmaması için çinko sülfat ilave edilerek çinkonun bastırılması sağlanır.

2.4.2.2. Toplayıcılar

Flotasyonda toplayıcı türünün seçiminde yüzdürülmesi istenen mineralin yanında bastırılması istenen minerale olan seçimliliğide göz önünde olmalıdır. Bu yüzden toplayıcı reaktif seçimi oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Toplayıcı reaktif seçiminde verim artırarak seçimli ligi en yüksek olan tercih edilmelidir.

Kompleks yapılu sülfürlü cevherler çeşitli kontrol reaktiflerinin yardımı ile uygun toplayıcı ilave edilerek şartlandırılması sağlanır.

Bazı mineraller yapısal özellikleri ile şartlandırma sağlamadan hava kabarcığına yapışarak yüzme davranışı göstermektedir. Toplayıcılar mineralin yüzeyine yapışarak yüzmesini sağlayan organik bileşiklerdir. Toplayıcılar polar olan ve olmayan grup içeren hetepolar moleküllerdir. Mineral yüzeyine etki ederek yüzmesini sağlayan polar gruplardır, Sulu ortamda su sevmeyen bir ortam yaratan ise polar olmayan gruptur (Önal ve ark., 2014).

Toplayıcılar anyonik ve katyonik yapıda olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Anyonik toplayıcılar sülfürlü yapıdaki cevherin flotasyonunda, katyonik toplayıcılardan oksitli yapıdaki cevherin flotasyonunda kullanılır.

Sülfürlü cevher flotasyonunda; ksantatler, ditiyofosfin, ditiyofosfat ve tiyonokarbamat, oksitli cevher flotasyonunda amin grubu toplayıcılar kullanılmaktadırlar.

Ksantatlar; Etil alkol, bütil alkol ve amil alkol gibi basit doymuş yapıli alkollerden elde edilir. Hidrokarbon zinciri arttıkça daha güçlü olurlar, azaldıkça suda kolay erirler. Fakat hidroliz sırasında meydana gelen karbon ve asit alkol sülfüre yapışarak etkisini azaltır. Bu yüzden hazırlanan çözelti kısa sürede tüketilecek şekilde hazırlanmalıdır. Ksantatlar yüksek pH'larda daha etkilidir. Düşük pH'larda etkisini kaybedebilir.

Ditiyofosfin (DTPI); Fosfin gazı, olefin ile tepkimeye girerek alkin fosfin oluşur. Bunun sonucunda alkin fosfin sülfür ile tepkimeye girerek NaOH ile nötralize edilir ve ditiyofosfinin tepkimesi sonucunda dialkil oluşur. Bu aşamaların oluşumu pahalıdır bu yüzden ditiyofosfin diğer sülfürlü toplayıcılar ile karşılaştırıldığında maliyetlidir (Bulatovic, 2007).

Kompleks yapıli cevher flotasyonunda Ditiyofosfin içerikli toplayıcılar bakır ve kurşun minerallerinin kazanımında seçimli ve yüksek toplayıcı özelliğine sahiptirler. Seçimliliği çinko ve demire karşı yüksek olduğundan dolayı kurşun ve bakır devresinde tercih edilen bir toplayıcı türüdür. İçeriğinde çinko minerallerinin yüzmesini engelleyici ve kurşun-gümüş için toplayıcı özelliği yüksek seçimli özelliktedir. Benzer yapıdaki toplayıcılar ile karşılaştırılmak istense aynı kazanımı sağlamak için daha yüksek oranda dozajlanması gerekmektedir.

Ditiyofosfat; Ditiyofosfat türü toplayıcılar bakır ve kurşun cevherinin flotasyonunda kurşun cevherine karşı etkisinin az olmasından dolayı tercih edilerek bakıra yönelik toplayıcı etki göstermektedir. Ditiyofosfat türü toplayıcılar bakır iyonları tarafından çinkonun aktifleştigi flotasyonda ve bakır- çinko cevher ayırımında bakır toplayıcı olarak tercih edilebilir. Ayrıca altın ve gümüş toplama özelliği bulunmaktadır (Cytec, 2002).

Tiyonokarbamat; Karbon sülfürün amonyak ve amin grubunun birleşmesi ile elde edilirler. Kurşun üzerinde toplayıcı özelliği azdır, çinko ve bakır flotasyonunda kullanılmaktadır. Kurşun içeriği yüksek cevherlerde seçimli flotasyon yapılması istenildiğinde kullanımı uygundur. Çok güçlü bir toplayıcıdır. Metallerle karşı seçimli özelliği azdır.

Tek ya da kombinasyon halinde kullanılabilirler. Verimi iyileştirmede kombinasyon halinde kullanımı artırıcı etkiye sahiptir. Toplayıcı reaktiflerinin kombinasyonu flotasyon performansına etkisi karışımın mineral yüzeyine daha etkin olmasına bağlıdır. (Bağcı, 2006).

Pulp numunenin yüzmesini sağlamak için su sever özelliğinin etkisizleştirilmesi gerekir. Su sevmez hale getirildikten sonra taneciğin üzerine yüzmesini sağlayacak hava kabarcıklarının yapışması gerekerek flotasyonun amacı sağlanmış olur. Toplayıcılar su ile temas yüzeyi oluşan veya su seven uç ile su ile temas kuramayan veya su sevmeyen zincirlerden meydana gelirler (Ethem, 1974).

Bir mineral tanesinin toplayıcı ile şartlanması için yüzeyinin %20'sinin su sevmez özelliğe getirilmesi gerekmektedir. Toplayıcı sarfiyatının az olması için aşağıdaki parametrelere dikkat edilmelidir;

- Kırılan cevher yüzeyi oksitlenmemiş olmalı,
- Cevher tanesinin yüzeyi reaksiyona uğramış olmamalı,
- Cevher yüzeyinde gang minerallerinin varlığı olabildiğince az olmalı,
- Ortam sıcaklığı oda sıcaklığını geçmemeli ve 35° C üzerine çıkmamalı,
- Toplayıcı özelliğini yitirmiş olmamalı,
- Cevherin minerolojisine göre uygun toplayıcı seçimi yapılmalı,
- Gerekli olursa ısıtılarak flotasyon yapılmalıdır (Ethem, 1974).

Kollektörleri iki şekillerde sınıflandırabiliriz.

- ✓ Anyonik kollektörler: Ksantatlar, tiofosfat, karbonat, karbamat tipi bileşikler, karbosilik asit ve tuzları, organik sülfat ve sülfonatlarıdır.
- ✓ Katyonik kollektörler: Aminler ve tuzları.

Aerophine 3418A: Fosfat kökenli, etkili bir sülfür kollektörüdür. Başlangıçta bakır ve aktif çinko flotasyonu için geliştirilmiştir. Ancak, kompleks veya masif sülfür cevherlerinin flotasyonu için de çok değerli hale gelmiştir. Bu cevherler de çok selektif ayrımlar yapabilmektedir. Galen ve değerli metallerde, özellikle gümüş, yüksek bir verimliliğe sahiptir. En temel niteliği yüksek toplama gücüne rağmen demir sülfür minerallerine, aktif hale getirilmemiş sfalerite ve ceza elementlerine karşı seçici olmasıdır. Birçok cevherde kullanılması gereken miktar, yaygın olarak kullanılan ksantatlara göre, oldukça azdır (Day, 2002).

Diğer özellikleri:

- Köpürtücü özelliği oldukça azdır,
- Hızlı bir hareket mekanizması vardır,
- Kaba ara ürün toplayıcı özelliği vardır (Day, 2002).

2.4.2.3. Köpürtücüler

Bazı minerallerin yüzeyine su sevmeye özelliği ile bazı minerallerin su sevmeme özelliği yüzey özelliği kazandırılması olarak tanımlanan flotasyon şartlarının oluşmasında etkili bir diğer reaktifte köpürtücülerdir.

Köpürtücüler, su seven grup ile su hava arasında oluşan hidrokarbon zinciri içeren heteropolar yüzey aktif bileşikleridir (Bulatovic, 2007). Köpürtücüler sıvı ile gaz aralığına yerleşerek yüzeydeki gerilimi azaltırlar.

Köpürtücü reaktifler, polar ve polar olmayan bileşiklerden oluşarak yüzey gerilimi azaltıp köpük oluşumunu sağlarlar. Aslında flotasyoncunun yoluna belirleyen en önemli şey köpüklerdir. Kontrolünü en basit bu şekilde yapar. Genellikle kaba devrede köpük küçük kabarcıklı, daha koyu renkli ve dayanıklıdır. Temizleme devrelerinde ise bunun aksinedir. Kullanılan reaktif miktarı cevher miktarına göre hesaplanır. Köpürtücünün sıvı-gaz arasındaki yüzeyde taşıyabilir etkiye sahip olması ve

cevherin tane iriliğine de bağlıdır. Köpürtücü reaktifler suda çözünebilmelidir (Ethem, 1974).

Köpürtücüler pulpta eşit dağılım sağlayan özelliğe sahip olmaktadır (Fuerstenau ve ark., 2007).

Köpürtücü olarak alkol kökenli bir yapıya sahip Metil izobütil karbinol yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanımı saf olarak ve az miktarlarda ilave edilir toplayıcı özelliği çok az miktarda vardır.

Güçlü ve kararlı bir köpük yapısına sahip olan çam yağı ve poliglikol etherler kullanımı yaygın olan köpürtücülerdir. Poliglikol ether; sentetik, küçük ve kırılğan köpük oluşturan seçimli ve hiçbir toplayıcı özelliği olmayan köpürtücülerdir (Önal ve ark., 2014).

Köpürtücü reaktifler kollektörlük özelliğine sahip olmamalı; az konsantrasyonda köpük oluşturacak şekilde yüzey-aktif olmalı; çözeltide bulunan diğer çözünenlerden etkilenmemeli; bol, uzun ömürlü, kolay patlayan fakat çokta dayanıklı olmayan köpük oluşturmamalı; sabun ve diğer kolloidler tarafından adsorblanmamalı; stoklamaya karşı dayanıklı olmalı, sıcaklık değişimlerinde sıvı durumu muhafaza etmeli ve ucuz olmalıdır (Önal ve Ateşok, 1994).

Tesislerde kullanılan en önemli köpürtücüler, çamyacı, okaliptüs yağı, kresilik asit, uzun zincirli alkoller ve genelde bu maddelere ve bazı sentetik organik bileşiklere dayanan, çeşitli firmaların ticari isimlerle piyasaya sundukları reaktiflerdir (Önal ve Ateşok, 1994). MIBC, Shell firmasının ürünü olan isobutil karbinol, metal-amin alkol yapısında bir köpürtücüdür (Önal ve Ateşok, 1994). Flotasyonda en yaygın olarak kullanılan köpürtücü türüdür. Nörtral olduğundan hem asidik hem de bazik pülpte çalışılabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

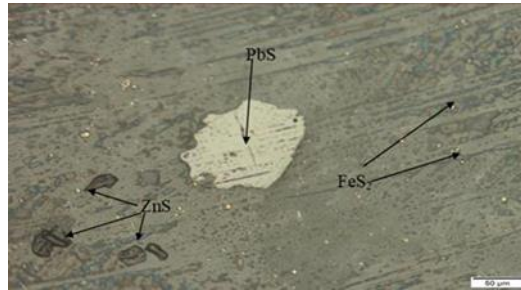
Deneylerde kullanılan cevher, Niğde-Ulukışla bölgesinde bulunan bir maden ocağından temin edilmiş sülfür içerikli Pb-Zn kompleks cevheridir. Stok sahasından 100 kg cevher alınarak spiter ayırıcı kullanılarak konileme dörtleme yöntemi ile hazırlanmıştır.

Cevher içeriğinin belirlenmesi için, konik kırıcı sonrası alınan temsili numuneler halkalı değirmende $-75 \mu\text{m}$ tane boyutuna öğütülerek, kral suyunda (3 hacim HCl + 1 hacim HNO₃) çözündürülmüştür. Agilent marka AAS cihazı kullanılarak, Ag, Pb, Zn, Fe, Cu ve S elementleri analiz edilmiştir. Au analizi için Fire- Assay yöntemi uygulanmıştır. Bu cevhere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunenin metal analizi.

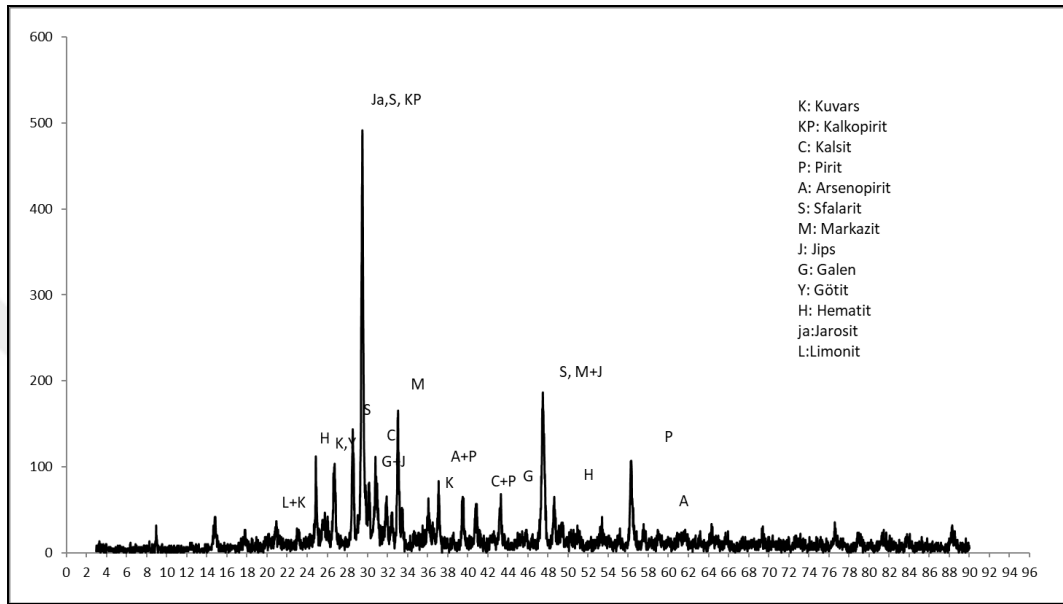
Element	Au (ppm)	Ag (ppm)	Zn (%)	Pb (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	S (%)
İçerik	2,98	178	5,98	2,95	14,44	254	18,72

Mineralojik yapısında, cevher bileşiminde bulunan sülfürlü minerallerin çoğunluğunu galen (PbS), sfalerit (ZnS) ve pirit (FeS₂) oluşturmakta ayrıca, kalkopirit (CuFeS₂), hematit (Fe₂O₃), götit (FeOOH), limonit (FeO(OH).nH₂O), arsenopirit (FeAsS) ve markazit (FeS₂) mineralleri ile birlikte kalsit (CaCO₃), kuvars (SiO₂) yaygın gang minerallerini oluşturmaktadır. Ayrıca, yer yer jarosit (KFe₃+3(SO₄)₂(OH)₆) ve jips (CaSO₄.2H₂O) mineralleri de görülmektedir. Cevher numunesi içerisinde bol miktarda pirit-markazit, galen ve sfalerit mineralleri olduğu parlak kesit yapıları saptanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Numunesinin ince ve parlak kesiti.

Cevher numunesinin mineralojik analizi için X-Işınları Difraktometre (XRD) analizi yapılmıştır (Şekil 3.2). Ana mineraller olarak, kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), hematit (Fe_2O_3), götit (FeOOH), limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), galen (PbS) ve sfalerit (ZnS) görünürken; yer yer jarosit ($\text{KFe}^{+3}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), arsenopirit (FeAsS) ve markazit (FeS_2) görülmektedir.



Şekil 3.2. Cevher numunesinin XRD grafiği (X eksen: 2θ , Y eksen: Intensity).

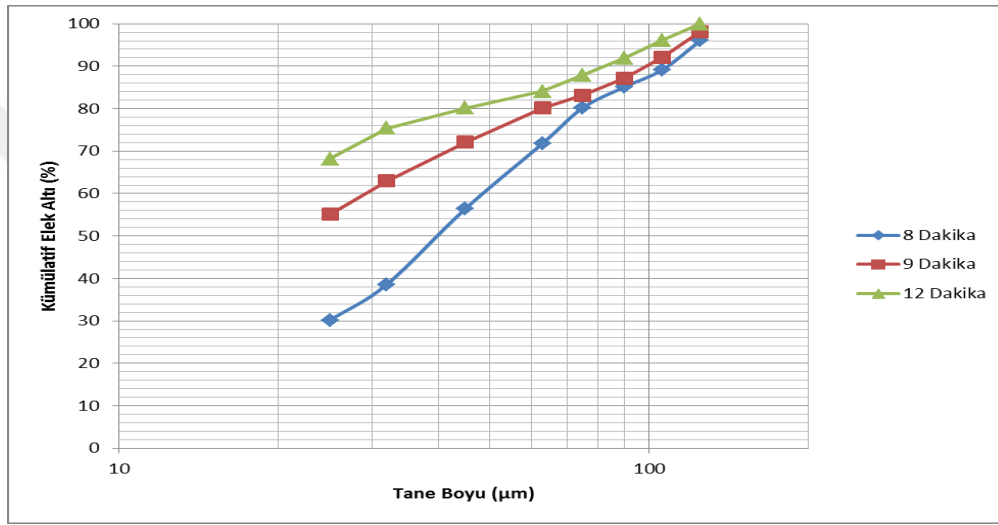
Ayrıca, parlak kesit yapılmış ve bol miktarda pirit-markazit, galen ve sfalerit mineralleri olduğu saptanmıştır (Şekil 3.2). Şekil 3.1 incelendiğinde, metalik parlaklıkta, öz şekilsiz, gri renkte galen, koyu yeşil, siyaha yakın yeşil, öz şekilsiz metalik renkte sfalerit, yarı öz şekilli, sarı, metalik parlak görünümünde pirit ve markazit mineralleri görülmektedir. Bununla birlikte, cevher numunesi temel olarak doğal altın, doğal gümüş ve elektrüm içermekte olup; hematit, götit ve jarosit mineralleri içerisinde kapanım halinde bulunmaktadır.

3.2. Yöntem

Tüvenan cevher iki kırma aşamasından sonra 6,3 mm tane boyutunun altına indirilmiştir. Öğütme ve Pb-Zn kaba flotasyonu deneylerinde kullanılmak üzere homojenlik sağlanarak paketlenmiştir.

Daha önceden hazırlanmış -6,3 mm tane boyutuna kırılmış cevher numunesi, iç hacmi 9 litre olan, Ø180x362 mm boyutundaki çubuklu değirmende öğütülmüştür.

Öğütme aşamasında çubuklu değirmen kullanılarak %60 pulp katı oranında yapılmıştır. Flotasyon hücresine aktarılan cevherin istenilen tane boyunda elde edebilmek için gerekli öğütme süresinin belirlenmesi amacıyla 15, 30, 45 ve 60 dakika sürede öğütme işlemi yapılmış olup, çok ince boyutta öğütme gerçekleştiği için 8, 9 ve 12 dakikalık öğütmeler ve elek analizi testleri yapılmıştır. Her öğütme sonrası yaş elek analizi ile tane boyu dağılımları elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. 8, 9 ve 12 Dakikalık öğütme elek analizi grafiği

Bu sonuçlara göre 8, 9 ve 12 dakikalık öğütme sürelerinde % 80’i 75, 63, 45 µm’nin (d80=75-63-45 µm) altına indirilerek flotasyon hücresine beslenmiştir.

Flotasyon deneylerinde parametreler sabit tutularak seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Flotasyon deneylerinde kullanılan reaktif tipi ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi	Zn devresi
pH (Kireç ile)		9	11,80
ZnSO ₄ , g/t		1600	
Na ₂ SiO ₃ , g/t		1600	
3418 A, g/t		20	
MIBC, g/t		20	20
CuSO ₄ , g/t			800
Z-5, g/t			160
Öğütme Süresi, dk.	8		
Flotasyon süresi, dk.		4	5

Tablo 3.1'deki koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre konsantre, atık tenör değerleri ve konsantre verimleri Tablo 3.2'de özetlenmiştir. Tane boyutu etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Tane boyutu flotasyon deney sonuçları

Tane Boyutu (mikron)	Tenör, %				Verim, %	
	Konsantre		Nihai Atık		Konsantre	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
75	24,15	14,91	0,62	1,50	77,51	73,59
63	28,68	16,72	0,76	1,87	74,02	68,52
45	28,96	24,80	0,73	1,96	73,84	68,20

Tablo 3.2' de görüldüğü gibi, 75 mikron tane boyutunda %77,51 verim ile Pb konsantredeki Pb atık içeriği değeri %0,62 ve %73,59 verim ile Zn konsantredeki en düşük Zn atık içeriği değeri %1,50 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılan diğer testler 75 mikron tane boyutunda yapılmasına karar verilmiştir.

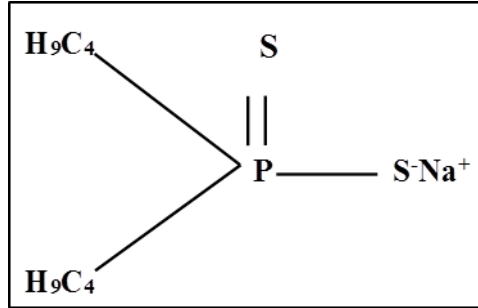
Flotasyon deneyleri, Denver tipi (Şekil 3.4) flotasyon cihazı kullanılarak % 30 katı oranında, 10 L/dk hava akım hızında, 1250 dev/dak karıştırma hızında ve pH=9'da sabit parametrelerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan flotasyon cihazı

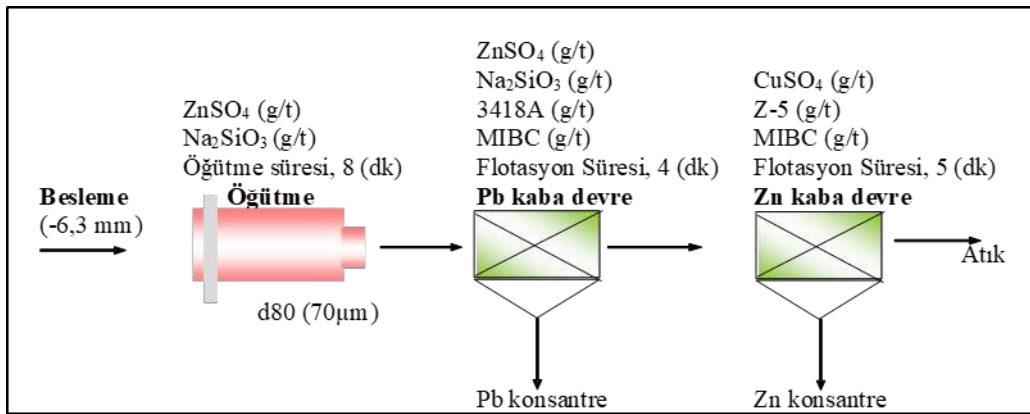
Flotasyon testlerinde, kurşun devresinde pH ayarlayıcı olarak Sodyum Karbonat, bastırıcı olarak, $ZnSO_4$ (çinko sülfat), Na_2SiO_3 (sodyum silikat), toplayıcı olarak Aerophine 3418A (sodyum izobütil dithiofosfin) ve köpürtücü olarak ise MIBC (Metil

izobutil karbinol) kullanılmıştır. Kimyasal yapısı Şekil 3.5’de verilen, Aerophine 3418A (sodyum izobütil dithiofosfin) Cytech firması tarafından üretilen P-esaslı sülfürlü mineral toplayıcısı olarak bilinmektedir (Cytec, 2002).



Şekil 3.5. Aerophine 3418A kimyasal yapısı.

Çinko devresinde pH ayarlayıcı olarak kireç, canlandırıcı olarak CuSO_4 (Bakır Sülfat), toplayıcı olarak Z-5 (Potasyum amid ksantant) ve köpürtücü olarak ise MIBC (Metil izobutil karbinol) kullanılmıştır. Öğütme, Pb ve Zn kaba flotasyonu devresinde kullanılması gerekli olan reaktifler ve miktarları belirlemek için 35 farklı deney yapılmıştır. Yapılan deneylere ait olan basit akım şeması Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Flotasyon deneyleri akım şeması.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Öğütme Devresinde Kullanılacak ZnSO₄ Miktarının Belirlenmesi

Öğütme devresinde Çinko sülfat (ZnSO₄) farklı dozajlarda değirmene ilave edilmiştir. İlave edilen ZnSO₄ miktarları 200, 500, 1000, 1500 ve 2000 g/t olarak seçilmiştir. Öğütme esnasında, ZnSO₄ ilaveli flotasyon deneyleri için seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Öğütme-ZnSO₄ ilaveli flotasyonunda kullanılan reaktif tipi ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi	Zn devresi
ZnSO ₄ , g/t	200, 500, 1000, 1500, 2000	1600	
Na ₂ SiO ₃ , g/t		1600	
3418 A, g/t		20	
MIBC, g/t		20	20
CuSO ₄ , g/t			800
Z-5, g/t			160
Öğütme Süresi, dk.	8		
Flotasyon süresi, dk.		4	5

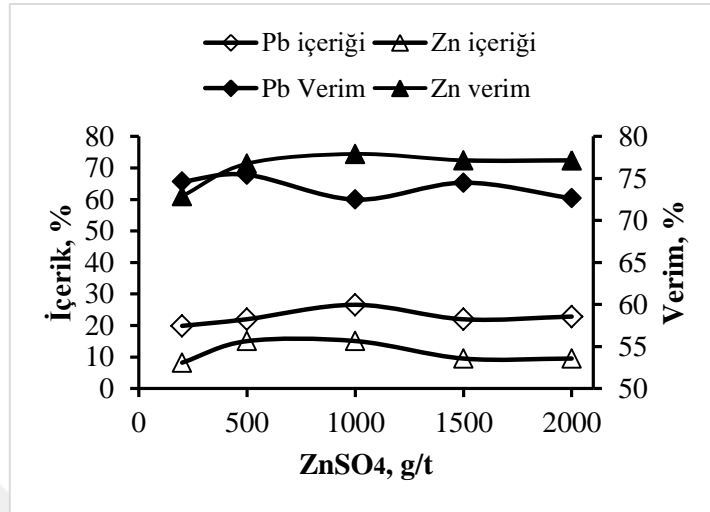
Tablo 4.1’deki koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre konsantre, atık tenör değerleri ve konsantre verimleri Tablo 4.2’de özetlenmiştir. Öğütme devresinde kullanılan çinko sülfat miktarının sfalerit ve galen üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Öğütme ZnSO₄ ilaveli flotasyon deney sonuçları

Öğütme devresinde kullanılan ZnSO ₄ miktarı, g/t	Tenör, %				Verim, %	
	Konsantre		Nihai Atık		Konsantre	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
200	19,89	8,22	0,67	1,28	74,64	72,90
500	22,00	15,05	0,49	1,27	75,44	76,77
1000	26,58	15,08	0,59	1,03	72,49	77,92
1500	21,98	9,52	0,61	1,31	74,50	77,16
2000	22,84	9,52	0,83	1,58	72,64	77,16

Tablo 4.2 ve Şekil 4.1’den görüldüğü gibi, 1000 g/ton ZnSO₄ kimyasalı ilave edildiğinde %72,49 verim ile Pb konsantredeki en yüksek Pb içeriği değeri %26,58 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılan diğer testlerde değirmene 1000 g/t ZnSO₄ ilave edilmesine karar verilmiştir.

Kuşun kaba konsantre, çinko kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-1' de bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Öğütme devresinde kullanılan ZnSO₄ miktarına bağlı olarak kurşun ve çinko konsantrasyonunun Pb-Zn içeriği ve kazanma verimi.

4.2. Öğütme Devresinde Kullanılacak Na₂SiO₃ Miktarının Belirlenmesi

Öğütme devresinde Sodyum silikat (Na₂SiO₃) farklı dozajlarda değirmene ilave edilmiştir. İlave edilen Na₂SiO₃ miktarları 200, 500, 1000, 1500 ve 2000 g/t olarak seçilmiştir. Öğütme esnasında, ZnSO₄ ilaveli flotasyon deneyleri için seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 4.3'de verilmiştir.

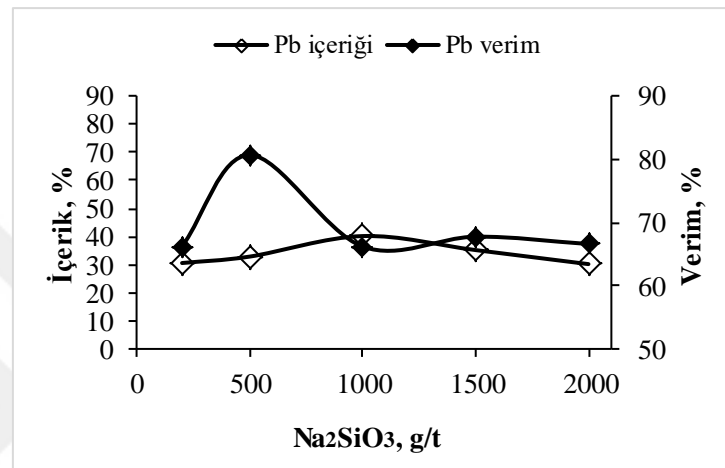
Tablo 4.3. Öğütme- Na₂SiO₃ ilaveli flotasyonunda kullanılan reaktif tipi ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi
ZnSO ₄ , g/t	1000	1600
Na ₂ SiO ₃ , g/t	200, 500, 1000, 1500, 2000	1600
3418 A, g/t		20
MIBC, g/t		20
Öğütme Süresi, dk.	8	
Flotasyon süresi, dk.		4

Tablo 4.3'deki koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre konsantre, atık tenör değerleri ve konsantre verimleri Tablo 4.4'de özetlenmiştir. Öğütme devresinde kullanılan sodyum silikat miktarının flotasyona etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Öğütme- Na₂SiO₃ ilaveli flotasyon deney sonuçları

Öğütme devresinde kullanılan Na ₂ SiO ₃ miktarı, g/t	Tenör, %		Verim, %
	Konsantre	Nihai Atık	Konsantre
	Pb	Pb	Pb
200	28,78	0,86	66,22
500	37,81	0,76	80,70
1000	27,48	0,87	66,20
1500	24,10	0,90	67,76
2000	23,32	0,87	66,60

**Şekil 4.2.** Öğütme Devresinde Kullanılan Na₂SiO₃ Miktarına Bağlı Olarak Kurşun Konsantrinin Pb İçeriği ve Kazanma Verimi

Tablo 4.4 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, 500 g/ton Na₂SiO₃ kimyasalı ilave edildiğinde % 80,70 verim ile Pb konsantredeki en yüksek Pb içeriği değeri %37,81 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılan diğer testlerde öğütme devresinde 500 g/t Na₂SiO₃ ilave edilmesine karar verilmiştir.

Kurşun kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-2’ de bulunmaktadır.

4.3. Pb Devresinde Kullanılacak ZnSO₄ Miktarının Belirlenmesi

Pb devresinde çinko sülfat (ZnSO₄) farklı dozajlarda flotasyon hücrelerine ilave edilmiştir. İlave edilen ZnSO₄ miktarları 200, 500, 1000, 1500 ve 2000 g/t olarak seçilmiştir. Pb devresinde, ZnSO₄ ilaveli flotasyon deneyleri için seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Pb devresinde ZnSO₄ miktarının belirlenmesi için kullanılan reaktif tipleri ve miktarları

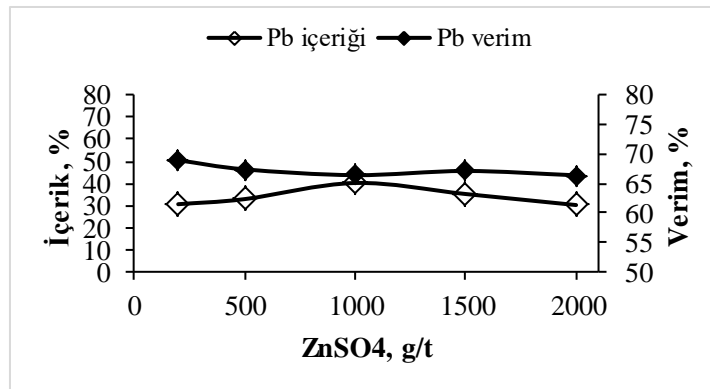
Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi
pH (Soda ile)		9
ZnSO ₄ , g/t	1000	200, 500, 1000, 1500, 2000
Na ₂ SiO ₃ , g/t	500	1600
3418 A, g/t		20
MIBC, g/t		20
Öğütme Süresi, dk.	8	
Flotasyon süresi, dk.		4

Tablo 4.5'deki koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre konsantre, atık tenör değerleri ve konsantre verimleri Tablo 4.6'da özetlenmiştir. Pb devresinde kullanılan çinko sülfatın ve miktarının kurşun kazanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Pb devresinde ZnSO₄ miktarının belirlenmesi için yapılan flotasyon deney sonuçları

Pb devresinde kullanılan ZnSO ₄ miktarı, g/t	Tenör, %		Verim, %
	Konsantre Pb	Nihai Atık Pb	Konsantre Pb
200	30,57	0,85	68,94
500	32,87	0,89	67,39
1000	40,18	0,89	66,40
1500	35,19	0,91	67,11
2000	30,18	0,89	66,37

Tablo 4.6 ve Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, 1000 gr/ton ZnSO₄ kimyasalı ilave edildiğinde % 66,40 verim ile Pb konsantredeki en yüksek Pb içeriği değeri %40,18 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılan diğer testlerde Pb devresinde 1000 g/t ZnSO₄ ilave edilmesine karar verilmiştir. Kurşun kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-3'de bulunmaktadır.

**Şekil 4.3.** Pb devresinde kullanılan ZnSO₄ miktarına bağlı olarak kurşun konsantresinin Pb içeriği ve kazanma verimi

4.4. Pb Devresinde Kullanılacak Na₂SiO₃ Miktarının Belirlenmesi

Pb devresinde sodyum silikat (Na₂SiO₃) farklı dozajlarda flotasyon hücresine ilave edilmiştir. İlave edilen Na₂SiO₃ miktarları 200, 500, 1000, 1500 ve 2000 g/t olarak seçilmiştir. Pb devresinde, Na₂SiO₃ ilaveli flotasyon deneyleri için seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Pb devresinde Na₂SiO₃ miktarının belirlenmesi için kullanılan reaktif tipleri ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi
pH (Soda ile)		9
ZnSO ₄ , g/t	1000	1000
Na ₂ SiO ₃ , g/t	500	200, 500, 1000, 1500, 2000
3418 A, g/t		20
MIBC, g/t		20
Öğütme Süresi, dk.	8	
Flotasyon süresi, dk.		4

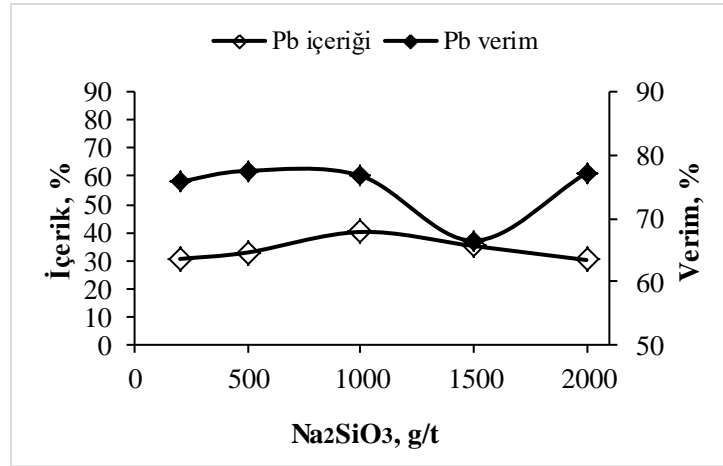
Tablo 4.7’deki koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre konsantre, atık tenör değerleri ve konsantre verimleri Tablo 4.8’de özetlenmiştir. Pb devresinde kullanılan sodyum silikat miktarının flotasyona etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Pb devresinde Na₂SiO₃ miktarının belirlenmesi için yapılan flotasyon deney sonuçları

Pb devresinde kullanılan Na ₂ SiO ₃ miktarı, g/t	Tenör, %		Verim, %
	<u>Konsantre</u>	<u>Nihai Atık</u>	<u>Konsantre</u>
	Pb	Pb	Pb
200	38,12	0,65	75,84
500	39,00	0,69	77,54
1000	35,40	0,62	76,75
1500	26,32	0,96	66,48
2000	35,72	0,72	77,19

Tablo 4.8 ve Şekil 4.4’de görüldüğü gibi, 500 g/ton Na₂SiO₃ kimyasalı ilave edildiğinde % 77,54 verim ile Pb konsantredeki en yüksek Pb içeriği değeri %39,00 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılan diğer testlerde Pb devresinde 500 g/t Na₂SiO₃ ilave edilmesine karar verilmiştir.

Kurşun kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-4’ de bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Pb devresinde kullanılan Na₂SiO₃ miktarına bağlı olarak kurşun konsantrasyonunun Pb içeriği ve kazanma verimi

4.5. Pb Devresinde Kullanılacak 3418 A Miktarının Belirlenmesi

Pb devresinde Aerophine 3418A (sodyum izobütil dithiofosfin) kollektör dozajının etkisi araştırılmıştır. Aerophine 3418A miktarları 5, 10, 15 ve 20 g/t kullanılmıştır. Deney şartları ise Tablo 4.9'da özetlenmiştir.

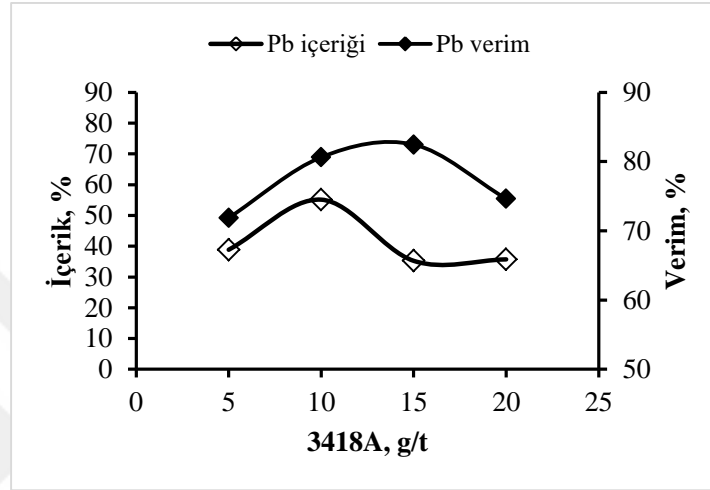
Tablo 4.9. Pb devresinde 3418A miktarının belirlenmesi için kullanılan reaktif tipleri ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi
pH (Soda ile)		9
ZnSO ₄ , g/t	1000	1000
Na ₂ SiO ₃ , g/t	500	500
3418 A, g/t		5,10,15,20
MIBC, g/t		20
Öğütme Süresi, dk.	8	
Flotasyon süresi, dk.		4

Tablo 4.9'daki koşullar altında yapılan deney Tablo 4.10'da verilmiştir. Pb devresinde kullanılan sodyum izobütil dithiofosfin miktarının flotasyona etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Pb devresinde 3418A miktarının belirlenmesi için yapılan flotasyon deney sonuçları

Pb devresinde kullanılan miktarı, g/t	3418A	Tenör, %		Verim, %
		Konsantre	Nihai Atık	Konsantre
		Pb	Pb	Pb
5		38,85	1,03	71,87
10		55,13	0,74	80,63
15		35,25	0,67	82,46
20		35,72	0,98	74,63

**Şekil 4.5.** Pb devresinde kullanılan 3418A miktarına bağlı olarak kurşun konsantresinin Pb içeriği ve kazanma verimi

Tablo 4.10 ve Şekil 4.5'den görüldüğü gibi, 10 g/ton 3418A toplayıcı ilave edildiğinde % 80,63 verim ile %55,13 Pb elde edilmiştir. Kurşun kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-5' de bulunmaktadır.

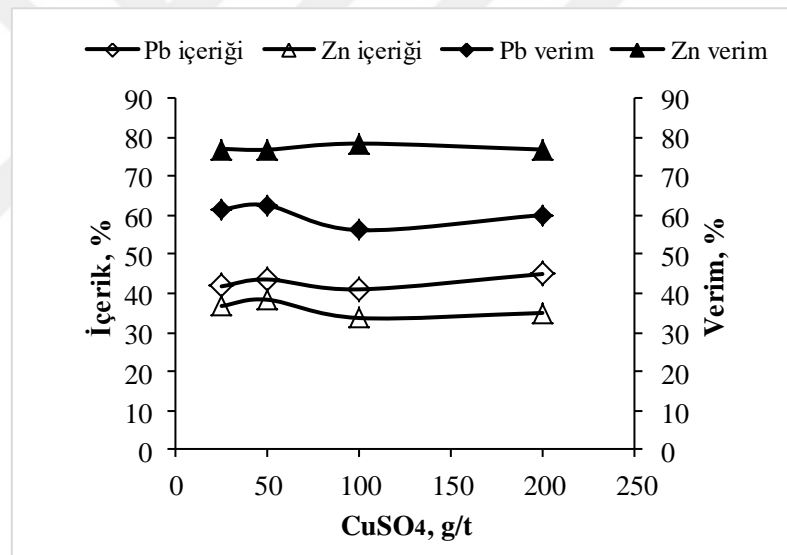
4.6. Zn Devresinde Kullanılacak CuSO_4 Miktarının Belirlenmesi

Zn devresinde canlandırıcı olarak bakır sülfat ilave edilmiş ve çinkoyu canlandığı görülmüştür. İlave edilen CuSO_4 miktarları 500, 1000, 1500 ve 2000 g/t olarak seçilmiştir. Zn devresinde, CuSO_4 ilaveli flotasyon deneyleri için seçilen reaktifler ve miktarları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Zn devresinde CuSO₄ miktarının belirlenmesi için kullanılan reaktif tipleri ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi	Zn devresi
pH (Kireç ile)		9	9
ZnSO ₄ , g/t	1000	1000	
Na ₂ SiO ₃ , g/t	500	500	
3418 A, g/t		10	
MIBC, g/t		20	20
CuSO ₄ , g/t			500, 1000, 1500, 2000
Z-5, g/t			160
Öğütme Süresi, dk.	8		
Flotasyon süresi, dk.		4	5

Tablo 4.11'deki şartlar altında yapılan flotasyon deney sonuçları Tablo 4.12'de verilmiş olup, sonuçlardan elde edilen Pb, Zn kazanım yüzdeleri ve verimleri ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

**Şekil 4.6.** Zn devresinde kullanılan CuSO₄ miktarına bağlı olarak konsantrasyonunun Pb ve Zn içeriği ve kazanma verimi**Tablo 4.12.** Zn devresinde CuSO₄ miktarının belirlenmesi için yapılan flotasyon deney sonuçları

Zn devresinde kullanılan CuSO ₄ miktarı, g/t	Tenör, %				Verim, %	
	Konsantre		Nihai Atık		Konsantre	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
500	41,81	36,77	0,64	1,64	61,55	77,07
1000	43,56	38,37	0,63	1,64	62,56	76,87
1500	41,03	33,68	0,62	1,64	56,22	78,43
2000	44,97	34,98	0,60	1,76	60,10	76,90

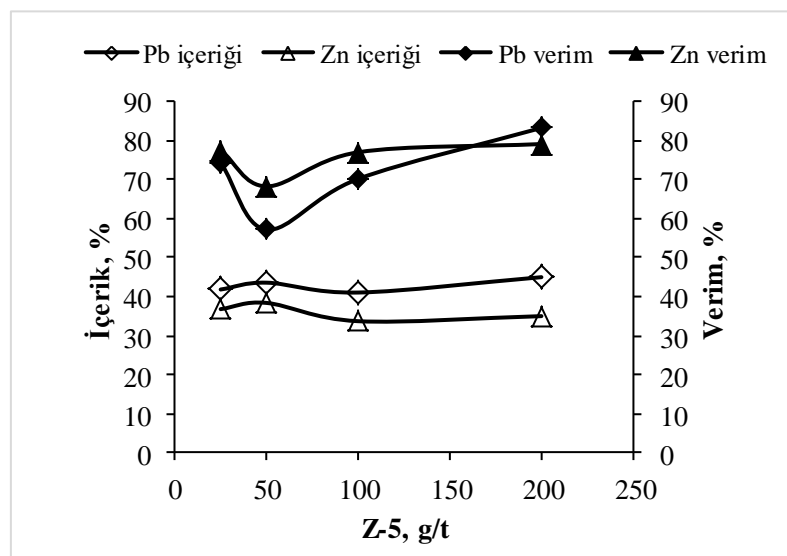
Elde edilen sonuçlara göre, 1000 g/t CuSO₄ ilave edilmesi ile konsantreler içerisinde % 43,56 kurşun ve % 38,37 çinko elde edildiği görülmektedir. Konsantre kazanım verimi ise sırasıyla, % 62,56 ve % 76,87 olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak daha sonra yapılan testlerde Zn devresinde 1000 g/ton bakır sülfat (CuSO₄) ilave edilmesi uygun görülmüştür. Kurşun kaba konsantre, çinko kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-6'da bulunmaktadır.

4.7. Zn Devresinde Kullanılacak Z-5 Miktarının Belirlenmesi

Zn devresinde Z-5 (Potasyum amil ksantat) kollektörünün çinko flotasyonuna etkisini araştırmak için deneyler yapılmıştır. Deney şartları Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Zn devresinde Z-5 miktarının belirlenmesi için kullanılan reaktif tipleri ve miktarları

Flotasyon koşulları ve deney şartları	Öğütme devresi	Pb devresi	Zn devresi
pH (Kireç ile)		9	9
ZnSO ₄ , g/t	1000	1000	
Na ₂ SiO ₃ , g/t	500	500	
3418 A, g/t		10	
MIBC, g/t		20	20
CuSO ₄ , g/t			1000
Z-5, g/t			25,50,100,200
Öğütme Süresi, dk.	8		
Flotasyon süresi, dk.		4	5



Şekil 4.7. Zn devresinde kullanılan Z-5 miktarına bağlı olarak konsantresinin Pb ve Zn içeriği ve kazanma verimi

Tablo 4.13’de verilen şartlar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.14’de özetlenmiştir. Bu verilere bağlı olarak konsantrelerin Pb, Zn yüzdeleri ve hesaplanan verimleri ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir

Tablo 4.14. Zn devresinde Z-5 miktarının belirlenmesi için yapılan flotasyon deney sonuçları

Zn devresinde kullanılan miktarı, g/t	Z-5	Tenör, %				Verim, %	
		Konsantre		Nihai Atık		Konsantre	
		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
25		48,07	37,32	0,66	1,39	74,39	77,60
50		37,82	36,43	0,69	2,29	57,17	68,27
100		42,82	33,44	0,61	1,62	70,17	77,01
200		42,84	25,57	0,52	1,46	83,26	79,13

Tablo 4.14 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, 25 g/t potasyum amil ksantat ilave edilmesi ile konsantrelerin içerisinde % 48,07 kurşun ve % 37,32 çinko elde edildiği görülmektedir. Konsantre kazanım verimi ise sırasıyla, % 74,39 ve % 77,60 olduğu belirlenmiştir. Kurşun kaba konsantre, çinko kaba konsantre ve nihai atık miktarları, metal analiz değerleri ve verim hesabı EK-7’de bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Niğde-Ulukışla bölgesine ait sülfür içerikli Pb-Zn cevherleri kullanılmıştır. %18,72 sülfür içeren cevher oldukça kompleks yapıda olup, % 5,95 Zn, %3,62 Pb, %12,44 Fe, 2,17 ppm Au, 221 ppm Ag ve 254 ppm Cu içermektedir. Analiz sonuçlarına göre, sülfürlü minerallerin çoğunluğunu galen, sfalerit ve pirit minerallerinin oluşturduğu görülmektedir. Bunun yanında az da olsa kalkopirit, markazit, kalsit, kuvars, jips, diğer demir mineralleri ve kil minerallerinin varlığı da gözlenmiştir. Ayrıca altın ve gümüş minerallerinin ise diğer minerallerin içerisinde kapanım halinde olduğu tahmin edilmektedir.

Yapılan 35 farklı deney sonucunda, öğütme, Pb ve Zn kaba flotasyonu devresinde kullanılması gerekli olan reaktifler ve miktarları belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, çinko sülfatın çinkoyu bastırdığı, sodyum silikatın silikatlı gang minerallerini bastırdığı, bakır sülfatın çinkoyu canlandırdığı, metil izobütül karbinol'un ise iyi bir köpük oluşturduğu belirlenmiştir. Pb devresinde kullanılan sodyum izobütül dithiofosfin'in ise iyi bir kurşun toplayıcısı olduğu tespit edilirken ksantatların yerine kullanılmasının mümkün olabileceği ortaya konulmuştur. Zn devresinde ise Potasyum amil ksantat'ın ise iyi bir kurşun toplayıcısı olduğu açıkça görülmektedir. Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde optimum flotasyon şartlarında, % 80,63 verim ile %55,13 Pb ve %77,60 verim ile %37,32 Zn içeren konsantrelerin kazanıldığı ortaya konulmuştur.

5.2. Öneriler

Bu çalışmaların devam ettirilmesi durumunda, Pb ve Zn temizleme flotasyonu deneylerinin gerçekleştirilmesi uygun görülmektedir. Bunun yanında, 3418A, F2216 ve bunların karışımı gibi farklı kollektörler kullanarak kompleks cevher içerisindeki altın gibi değerli metallerin kazanılmasının mümkün olabileceği yada pirit konsantresi elde edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarkan, N., Bulut, G., Gül, A., Kangal, O., Karakaş, F., Kökkılıç, O., Önal, G. (2011). The Effect of Collector's Type on Gold and Silver Flotation in a Complex Ore, *Separation Science and Technology*, 46, 283–289.
- Arbiter, N., 1985, Flotation. *SME Mineral Processing Handbook, Volume I, Section 5*, New York.
- Atak, S., 1990, *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*. İTÜ Vakfı, İstanbul, Kitap yayın no.34.
- Atak, S., 1982, *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- Bağcı, E., 2006, *Sülfürlü Minerallerin Flotasyonunda Toplayıcı Karışımlarının Sinerjik Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- Bayraktar, L., Altun, Y., 1996, *Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Özellikleri, Ekonomik Değeri ve Zenginleştirilmesi*, *Madencilik Dergisi*, 35,11-21.
- Bulatovic, S.M. 2007, *Handbook of flotation reagents, chemistry. theory and practice, flotation of sulfide ores*. Elsevier, Amsterdam.
- Bulatovic, S., Wyslouzil, D.M., 1995, *Selection and Evaluation of Different Depressant Systems for Flotation of Complex Sulphide Ores*, *Minerals Engineering* 8 (1/2), 63- 76.
- Bulut, G. ve Göktepe, F., 2012. *Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt : XXV, Sayı : 1, Eskişehir.
- Booth, R.B., Freyberger, W.L., 1962, *Froths and frothing agents*. In *Froth Flotation, 50th Anniversary Volume*, Edited Fuerstenau, New York.
- Cao, M. & Liu, Q. 2006, *Re-examining the functions of zinc sulphate as a selective depressant in differential sulphide flotation the role of coagulation*. *Journal of Colloid and Interface Science*. 301, 523– 531.
- Cebeci, Y., Kuvvetli, A.A., Özkan, A., 1998, *Koyulhisar Pb-Cu-Zn Cevherinin Seçimli Flotasyonla Zenginleştirilmesinde Optimum Koşulların Belirlenmesi*, *Madencilik Dergisi*, 37, 35- 43.
- Cilek E.C., 2009, *The Effect Of Hydrodynamic Conditions on True Flotation and Entrainment in Flotation of A Complex Sulphide Ore*, *International Journal of Mineral Processing*, 90, 35-44.

- Çilingir, Y., 1996, Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, Cilt 1, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:198, İzmir.
- Chandra, A.P., Gerson A.R., 2009, A Review of the Fundamental Studies of the Copper Activation Mechanisms for Selective Flotation of the Sulfide Minerals, Sphalerite and Pyrite, *Advances in Colloid and Interface Science* 145, 97–110.
- Cytec, 2002, *Mining Chemicals Handbook*.
- Day. A. (Ed), 2002., *Mining Chemical Handbook*, Cytec, U.S.A.
- Durmaz, C. (2012). Kuyumculuk Kökenli Curüflardan Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ile Altının Geri Kazanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ethem, M.Y., 1974. Reaktifler Üzerine Temel Bilgiler, *Madencilik Dergisi*, Cilt 13, Sayı:4, Ankara.
- Fuerstenau M.C., Jameson, G., Yoon, R., 2007, *Froth Flotation, A Century of Innovation*, SME.
- Gaudin, A. M. 1957. *Flotation*. McGraw Hill, New York, pp.182–189.
- Grano, S.R., Sollaart, M., Skinner, W., Prestidge, C.A. & Ralston, J. 1997, Surface modifications in the chalcopyrite-sulphite ion system. I. collectorless flotation, XPS and dissolution study. *International Journal of Minerals Processing*. 50(2), 1–26.
- Khmeleva, T.N., Chapelet, J.K., Skinner, W.M. & Beattie, D.A. 2006, Depression mechanisms of sodium bisulphite in the xanthate-induced flotation of copper activated sphalerite. *International Journal of Minerals Processing*. 79, 61–75.
- Mason, J., 1832, *Map of the countries lying between Spain and India*, 1:8.000.000, London: Ordnance Survey.
- Kohad, V.P., 1998, *Froth Flotation: Recent Trends, Flotation of Sulphide Ores – HZL Experience*, 18-41.
- Laskowski, J. S. 1998, *Frothing in Flotation II*. G&B Science.
- Leja, L. 1982, *Surface Chemistry of Froth Flotation*. Plenum Press, New York.
- Önal, G. ve Ateşok, G., 1994, *Cevher Hazırlama Kitabı, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı*, İstanbul.
- Önal G., Ateşok, G., Perek K.T., 2014, *Cevher Hazırlama El Kitabı, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı*.
- Parekh, B.K. & Miller, J. D. 1999, *Advances in flotation technology*, Soc. for Mining Metallurgy. New York.

Madencilik Özel Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. Ankara.

Şişman, N., Şenocak, M.H., Dilek, S. & Yazgaç, M. 1981, Bolkardağ yöresinin jeolojisi ve maden yatakları. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 7202, Ankara.

Temur, S. (1992). Bolkardağ yöresi (Ulukışla/Niğde) çinko-kurşun yataklarının jeokimyasal incelemesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 101–114.

Whelan, P. F. & Brown, D. J. 1956. Particle-Bubble Attachment in Froth Flotation. Bulletin of the Institute of Mining and Metallurgy, 591, 181–192.

Wills, B. A. and Napier-Munn, T. J., 2006, Mineral Processing Technology, 7th Edition, Elsevier Science & Technology Books, 109-351.

Wills, B.A. 1988. Mineral Processing Technology. Fourth Edition.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nur Benan YILMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Meram/21.05.1991
Telefon : 0532 684 35 54
Faks : -
E-Posta : nurylmz@outlook.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Türmak Lisesi	Selçuklu	Konya	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2017-2019
Doktora	: -			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	Gümüştaş Madencilik	AR-GE Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Altın, Gümüş, Kurşun, Çinko, Demir, Bakır, Tank Liçi ve Flotasyon ile Zenginleştirme

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Tevfik Ağaçayak, **Nur Benan Yılmaz** (2019). Niğde (Ulukışla-Madenköy) Sülfürlü Pb-Zn Kompleks Cevheri Flotasyonuna Aerophine 3418A Kolektör Dozajının Etkisi. Ereğli International Science and Academic Congress, Konya-Ereğli, 9-10 Mart 2019, Vol:2, 138-145.