



Orijinal Araştırma / Original Research

ARTVİN-MURGUL BÖLGESİ KOMPLEKS Cu-Zn CEVHERİNİN JAMESON HÜCRESİ KULLANILARAK ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF CONCENTRATION OF COMPLEX Cu-Zn ORE IN ARTVİN-MURGUL REGION BY USING THE JAMESON CELL

Cengiz Karagüzel^a, Oktay Şahbaz^a, Kenan Oğul^b, Ali Uçar^{a,*}

^a Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., KÜTAHYA

^b Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi 2.Etap Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük/BİLECİK

Geliş Tarihi / Received : 18 Nisan / April 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 8 Ağustos / August 2016

Anahtar Sözcükler:

Bakır-Çinko cevheri, serbestleşme, mekanik hücre flotasyonu, jameson hücre flotasyonu.

Keywords:

Copper - zinc ore, liberalization, mechanical flotation cells, jameson flotation cell.

ÖZET

Bu araştırmada Artvin-Murgul yöresi kompleks bakır-çinko cevherinin ilk defa Jameson flotasyon hücresi ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında flotasyonu özellikle oksitlenme ve tane boyutundan dolayı sorunlu olan Doğu Karadeniz Bölgesi Akarşen ocağındaki ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko cevheri çalışılmıştır. Cevher numunesinin mikroskobik incelemeleri sonucu, cevherin mineralojik bileşimi ve serbestleşme boyutu tespit edilmiştir. Cevherin serbestleşme boyutu mikroskobik çalışmalara ilaveten ve mekanik flotasyon yöntemiyle de kontrol edilerek Jameson hücresinde zenginleştirilebilen olanakları araştırılmıştır. Jameson hücresiyle tek kademede yapılan zenginleştirme deneyleri sonunda %2 Cu içeren cevherden %12 Cu içerikli ürün %79 verim ile kazanılabileceği görülmüştür.

ABSTRACT

In this research, the application of Jameson cell for the first time has been applied to Artvin – Murgul's copper zinc ore. In the frame of the present study, complex copper-zinc ore, obtained from the Eastern Blacksea Region, was difficult to float characteristics due to the oxidization and fine liberation size was examined. The mineralogical features and liberation size were determined in the study and performance of the Jameson cell for the sample has been figured out. According to results obtained from the one stage of flotation, the floating part having 12% Cu grade with the recovery of 79% was obtained from the sample having 2% Cu.

* ali.ucar@dpu.edu.tr

GİRİŞ

Bakır, insanlık tarihinde çok eski çağlardan beri kullanılmakta olup, günümüzde ise sanayinin temel hammaddeleri arasında yer alan önemli bir metaldir. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özellikleri bakırı, endüstrinin vazgeçilmez girdisi haline getirmektedir. En geniş kullanım alanları; elektrik üretim ve iletimi ile ilgili tesislerde, inşaatta, ulaşım makine ve teçhizatındadır.

Dünyada bakır üretimi, sülfürlü ve oksitli bakır cevherlerinin madencilik yöntemleri ile çıkarılması ve zenginleştirilmesi ile yapılmaktadır. Flotasyon minerallerin yüzey özelliklerinin farklılığından yararlanılarak değerli minerallerin gang minerallerinden ayrılmasını sağlayan bir zenginleştirme yöntemi olarak günümüzde, bakır cevherinin zenginleştirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Flotasyon, hidrofob minerallerin seçimli olarak üç fazlı (katı, sıvı ve hava) ortamdan hava kabarcıkları yardımıyla hidrofob tanelerden ayrılmasını sağlayan, fiziko-kimyasal bir zenginleştirme yöntemidir. Bu işlem genelde diğer zenginleştirme yöntemleriyle ekonomik olarak kazanılamayan ince boyutlu ve düşük tenörlü minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılmakta olup, çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Flotasyon işleminde kullanılan aletler genel olarak iki farklı grupta toplanır. Bunlar; çalışma prensipleri farklı mekanik karıştırmalı flotasyon aletleri (klasik flotasyon hücresi vb.) ve hava ile karıştırmalı flotasyon aletleridir (klasik flotasyon kolonu, Jameson flotasyon hücresi vb.) (Finch, 1995; Jameson, 1991 ve Öteyaka, 1993).

Cevherlerin mineralojik yapısı, serbestleşme boyutu, kullanılan reaktifler ve aletlerin çalışma mekanizması flotasyon prosesinde önemli parametreler olup, flotasyon veriminde ve uygun flotasyon makinesi seçiminde etkili rol oynar. Bazı cevherler, özellikle sülfürlü metalik cevherler oldukça ince boyutta serbestleşmektedir. Bu cevherlerin (20-25 mikron altı) klasik flotasyon hücresinde zenginleştirilmesinde sorunlar yaşanmaktadır ve genellikle flotasyon randımanı düşük olmaktadır. Bu sorun, ince taneli cevherler için gerekli olan uygun küçük çaplı hava kabarcıklarının (0,4-1 mm) klasik flotasyon hücresinde oluşturulamamasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi flotasyonun mikro olaylarından biri olan çarpışma olayı tane çapı ile doğru, hava kabarcığı çapı ile ters orantılıdır. İnce taneli minerallerin flotasyonunda çarpışma olasılığının

artabilmesi için sistemde küçük çaplı hava kabarcıklarının oluşturulması gerekir. Klasik flotasyon hücrelerinde sistemin yapısından dolayı bu mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla ince taneli minerallerin flotasyon verimi klasik flotasyon hücreleri ve klasik kolonlarda düşük olmaktadır (Öteyaka, 1993,1994; Yoon and Luttrell, 1989; Schulze, 1984).

Çalışma prensipleri ve dizaynı açısından diğer flotasyon makinelerinden farklılıklar gösteren Jameson hücresi; kompakt tasarımı ve oluşturduğu ince hava kabarcıkları sayesinde ince taneli minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılan ve flotasyon performansı yüksek bir alet olarak göze çarpmaktadır (Gürsoy, 2007, Taşdemir et al., 2007, Şahbaz, 2006). Jameson Hücresi, flotasyonu sorunlu olan Jameson hücresi kömür, endüstriyel mineraller ve metalik cevherlerde başarıyla kullanılmaktadır. Dünya genelinde 300'ün üzerinde kullanım alanı bulunan aletin ülkemizde henüz endüstriyel çapta bir uygulaması bulunmamaktadır.

Çalışmaya konu olan kompleks Cu-Pb-Zn sülfür mineralleri genellikle çok ince boyutlarda serbestleşmektedir. Oldukça ince boyutlarda serbestleşen minerallerin klasik flotasyon hücrelerinde zenginleştirilmesinde tane boyutundan dolayı sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıca bu tür cevherlerin açılan yeni yüzeyleri kısa sürede oksitlenmektedir. Bu nedenle sülfürlü cevherler için kinetiği hızlı olan flotasyon cihazlarının kullanılması zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Artvin- Murgul Akarşen Bölgesine ait kompleks sülfürlü Cu-Zn cevherinin mineralojisi, serbestleşme çalışmaları yapılarak, cevherin mekanik hücrede ve Jameson flotasyon hücresinde zenginleştirilebilme olanaklarını araştırılmıştır.

1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.1. Malzeme ve Yöntem

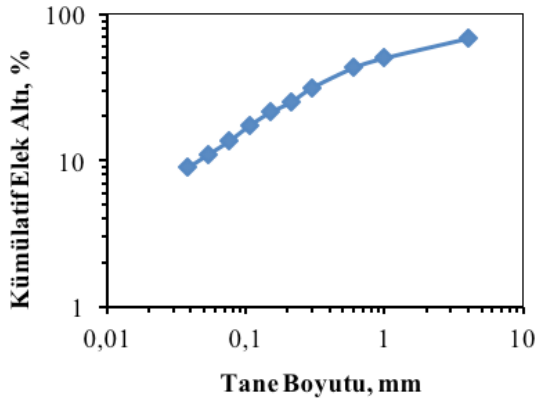
Çalışmalarda kullanılan numune, ETİ BAKIR A.Ş. nin Akarşen ocağından getirilen cevherin Murgul zenginleştirme tesislerinde 18 mm'nin altına kırılmasıyla elde edilen değirmen beslemesinden alınmış ve hava almayacak şekilde paketlenerek çalışmanın yapılacağı Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarı'na getirilmiştir. Numune yığın haline getirilerek birkaç kez harmanlanmıştır. Daha sonra numuneler konileme – dörtleme

yöntemi ve numune bölücü ile beş'er kilo olacak şekilde bölünmüş ve oksitlenmesini belli bir oranda önleyebilmek için hava almayacak şekilde çift numune poşetleriyle paketlenmiştir. Paketlenen numuneler derin dondurucuda deneylerde kullanılmak üzere saklanmıştır.

Elek analizi yapılan numunenin boyut dağılımı Şekil 1'de, kimyasal analizi de Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunenin kimyasal analizi

Bileşim	İçerik, %
Cu	2.12
Zn	3.33
Fe	28.59
S	32.79



Şekil 1. 18 mm'nin altına kırılmış numunenin tane boyut dağılımı

1.2. Minerolojik İncelemeler

Cevherden alınan el numunelerinin parlak kesitleri yapılarak cevher mikroskobunda incelenmiştir. Parlak kesitlerin mikroskobik incelemeleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji Laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda numunelerin fotoğrafları çekilmiş ve elde edilen görüntüler Foto 1-8'de verilmiştir.

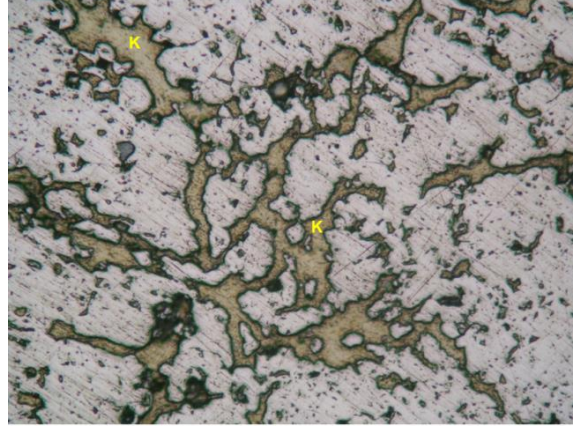


Foto 1. Kalkopirit damarları (kalınlık yaklaşık 15 µm) (K: Kalkopirit).

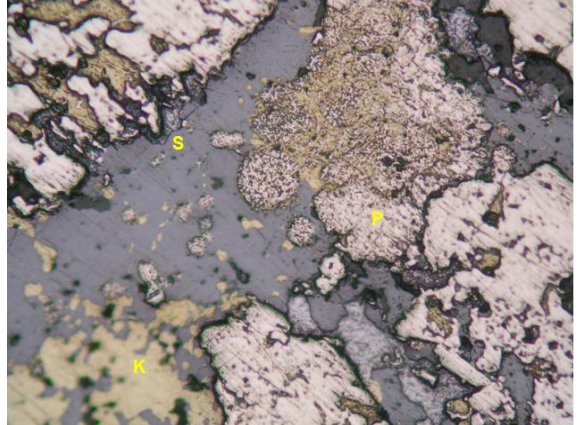


Foto 2. Hem sfaleriti hem de piriti ornatmış kalkopirit (K: Kalkopirit, S:Sfalerit, P: Pirit).

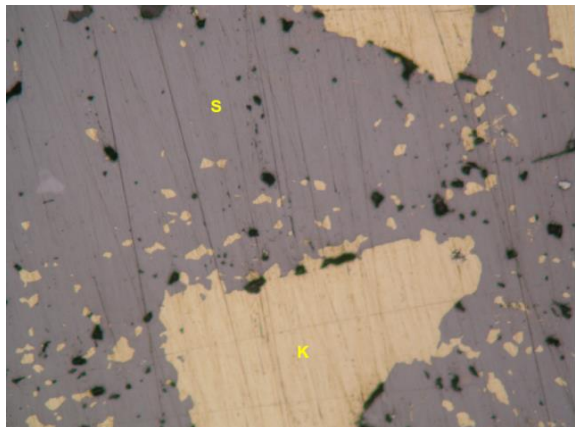


Foto 3. Kalkopirit tarafından ornatılmış sfalerit (K: Kalkopirit, S:Sfalerit)

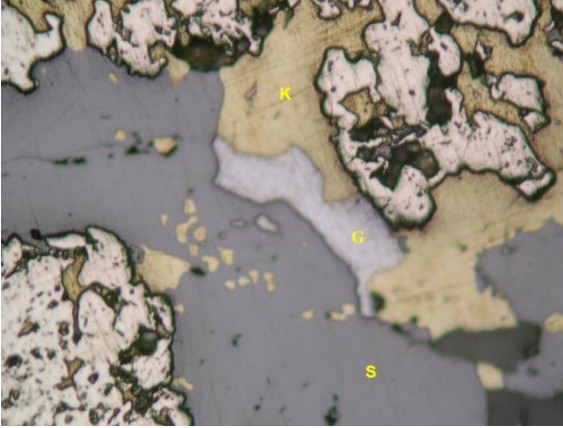


Foto 4. Galenit tarafından ornatılmış kalkopirit ve sfalerit (K: Kalkopirit, S:Sfalerit, G: Galenit)

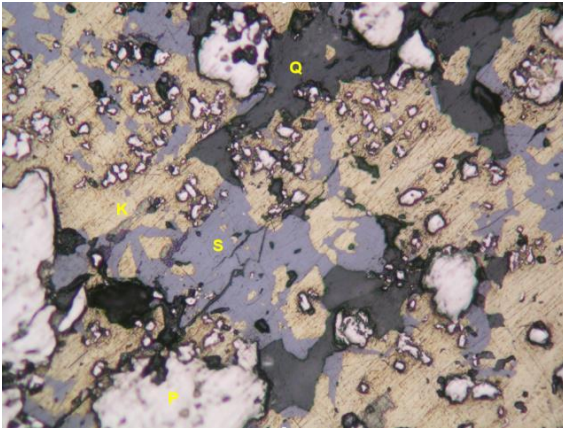


Foto 5. Sfalerit içerisinde hidrotermal kuvarslar (K: Kalkopirit, S:Sfalerit, Q: Kuvars)

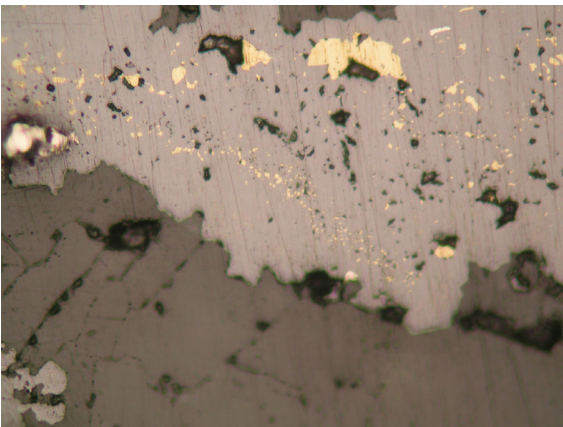


Foto 6. Saçınımlı olarak dağılmış küçük kalkopirit taneleri (1-3 µm civarında)

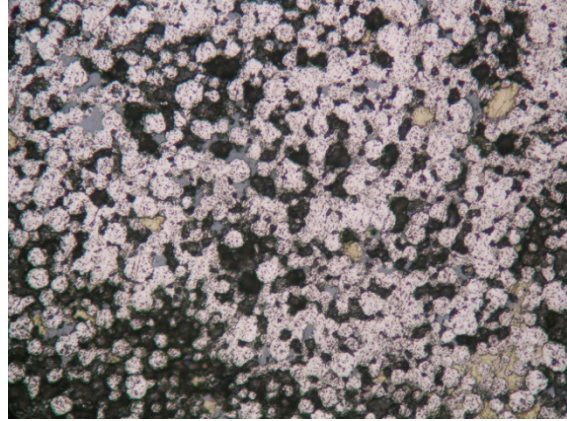


Foto 7. Düşük ısıda oluşmuş pirit küreleri (fromboidal) (Ortalama 20 µm)

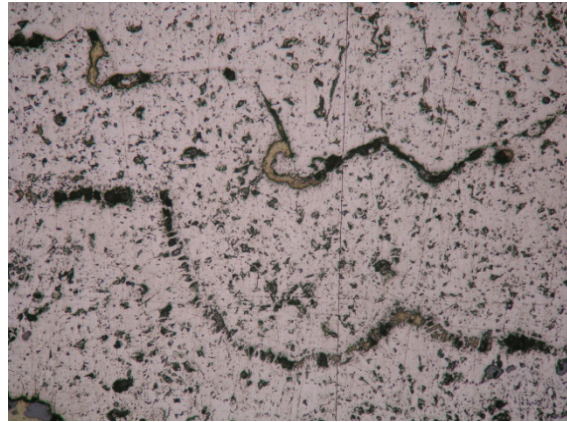


Foto 8. Kalkopirit ile zonlanmış pirit (Kalkopirit yaklaşık 10 µm)

1.3. Serbestleşme Çalışmaları

Cevherin serbestleşme boyutunun tespiti için, cevher numuneleri ilk önce çeneli kırıcıda daha sonrada merdaneli kırıcıda 1 mm nin altına indirilmiştir. Kırılan bu numune daha sonrada 30, 40, 50 ve 60 dakika sürelerde şartları aşağıda verilen laboratuar tipi bilyalı değirmende öğütülmüştür.

Öğütme şartları;

Değirmenin çapı ve boyu: 19,5 x 20 cm

Katı oranı: %60 K

Bilya sayısı: 167 (değişik çaplarda)

Kritik hız: 102 d/d

Değirmen hızı: 90 d/d

Bilyalı değirmende değişik sürelerde öğütülen cevher numunelerinin tane boyut analizleri yapılmış ve ayrıca elek fraksiyonlarına ayrılmış her

bir boyuttan ayrı ayrı parlak kesitler hazırlanmıştır. Flotasyon yöntemiyle kazanılması düşünülen kalkopirit ve sfalerit minerallerinin serbestleşme derecesi belirlenmeye çalışılmıştır.

Farklı sürelerde (30, 40, 50 ve 60 dakika) öğütülmüş numunelerin -38 μ m fraksiyonlarının parlak kesitlerinin cevher mikroskop görüntüleri Foto 9-12'de verilmiştir.

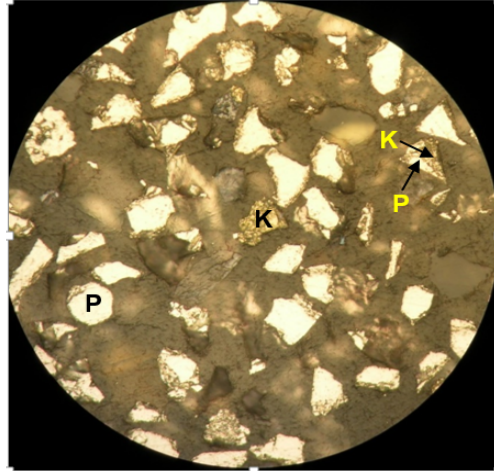
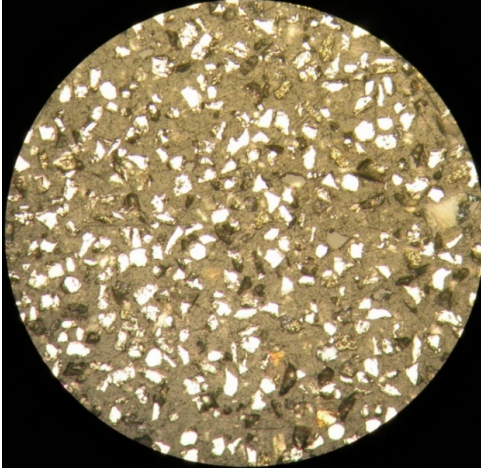


Foto 9. 30 dakika öğütülmüş cevherin -38+32 μ m boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: 20x ve 50x).

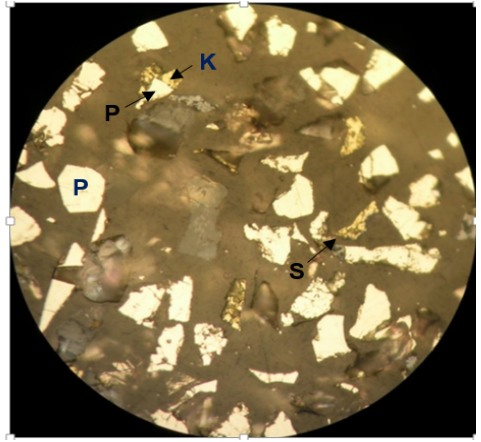
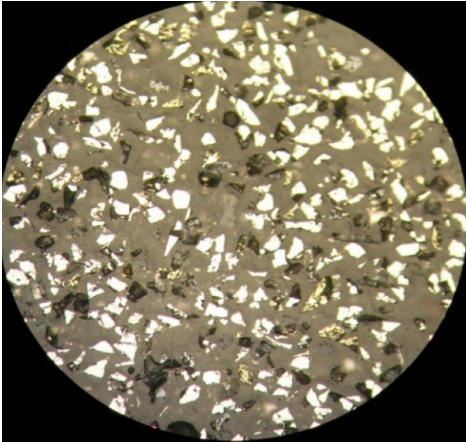


Foto 10. 40 dakika öğütülmüş cevherin -38+32 μ m boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: 20x ve 50x).

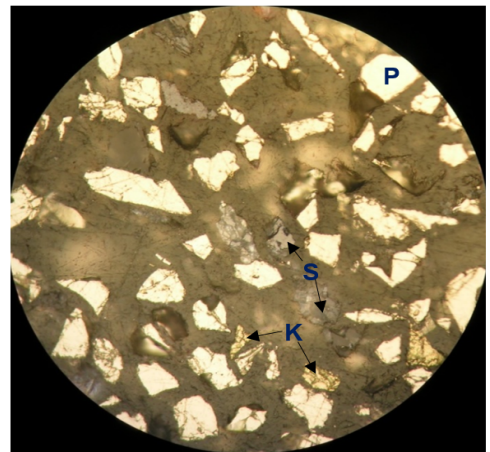
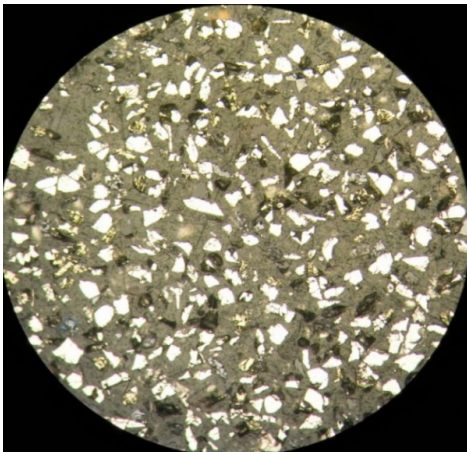


Foto 11. 50 dakika öğütülmüş cevherin -38+32 μ m boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: 20x ve 50x).

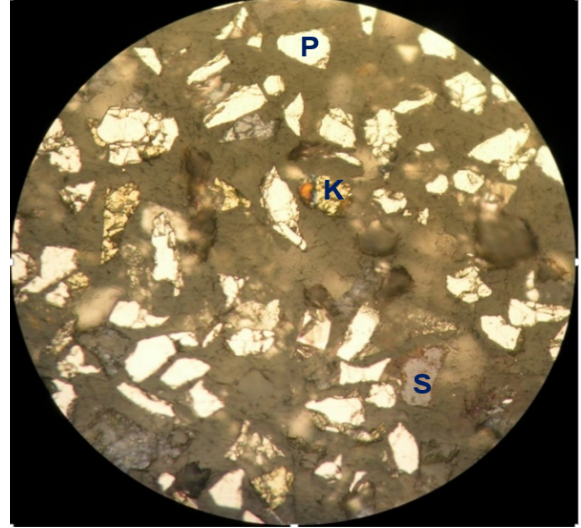
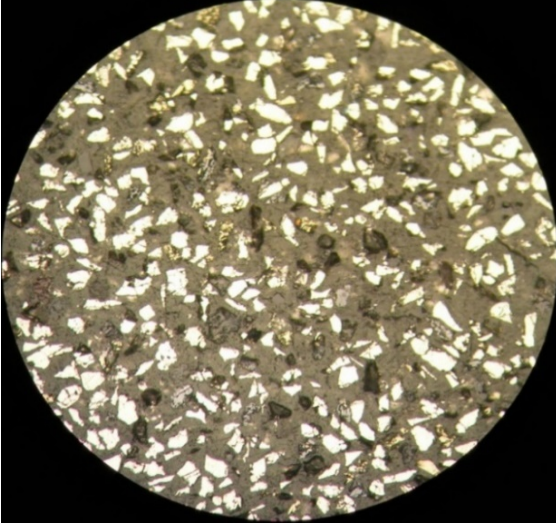
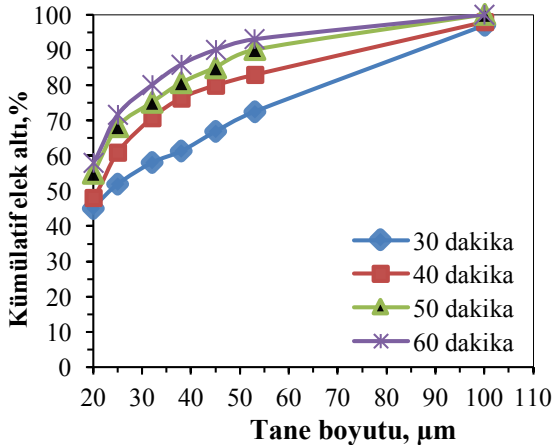


Foto 12. 60 dakika öğütülmüş cevherin -38+32 µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: 20x ve 50x).

Ayrıca farklı sürelerde (30, 40, 50 ve 60 dakika) öğütülmüş numunelerin tane boyut analizleri de yapılmış ve tane boyut dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'deki sonuçlara göre; cevherin %80'inin elek altına geçtiği boyut olan d_{80} ; 30 dakikalık öğütme süresinde yaklaşık olarak 55 µm, 40 dakikalık öğütme süresinde 45 µm, 50 dakikalık öğütme süresinde ise 38 µm olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Değirmende değişik sürelerde öğütülen cevherin tane boyut dağılımı

1.4. Flotasyon Deneşileri

Benzer cevher üzerinde yapılan araştırmalar (Ekmekçi et al., 2006; Hiçyılmaz and Altun, 2006; Pecina et al., 2006; Cytec) ve tesiste daha iri boyutlarda zenginleştirilen cevherde kullanılan reaktifler baz alınarak deneşsel çalışmalarda

aşağıdaki reaktifler kullanılmıştır.

Toplayıcı: Aerophine 3418A ve 3477
Bastırıcı: Sodyum metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
Sülfürleyici: Sodyumsülfür (Na_2S)
Dağıtıcı ve bastırıcı: Sodyum silikat (Na_2SiO_3)
Canlandırıcı: Bakır sülfat (CuSO_4)
Köpürtücü: AF 76-A
pH ayarlayıcı: CaO

Yukarıda yazılan reaktiflerden AF 76-A Cytec firmasından alınmış olup, diğerleri de ETİ BAKIR A.Ş.'ye ait Murgul tesislerinden temin edilmiştir. Deneşlerde çeşme suyu kullanılmıştır.

1.5. Mekanik Flotasyon Hücresi

Mekanik flotasyon hücresinde zenginleştirme çalışmaları iki aşamada aşağıdaki sabit tutulan parametre şartlarında yapılmıştır.

Sabit tutulan parametreler:

Hücre kapasitesi: 2 L

Katı oranı: %30

pH: 11

Sodyum silikat: 500 g/t

Köpürtücü: 50 g/t

Koşullandırma süresi: 2+5

- İlk aşamada yapılan deneşler farklı öğütme sürelerinde elde edilen numunelerin toplu flotasyon ile bakır ve çinkonun birlikte alınması.
- İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen veriler doğrultusunda flotasyon hücre-

sinde selektif flotasyon deneyleri yapılmış ve daha sonraki aşama olan Jameson flotasyon hücresindeki çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmaların temel amacı; Flotasyon için uygun reaktifleri belirlemek, ayrıca flotasyon süresinin verim ve tenör üzerine etkisini görmektir. Elde edilecek sonuçların Jameson hücresinde yapılacak çalışmalarda kullanılması uygun olacak ve iki aletin karşılaştırmasının yapılması sağlanacaktır.

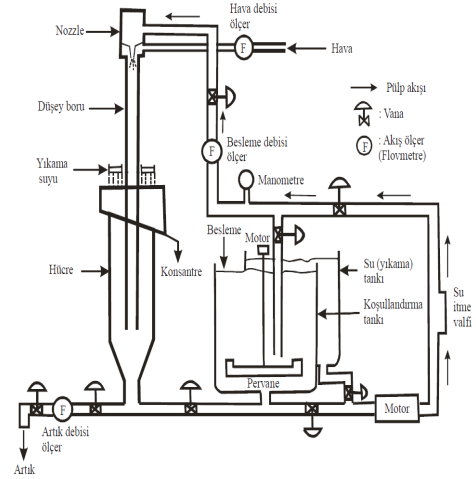
Deneysel çalışmalarda kullanılan numune öncelikle değirmende %60 katı oranı ve kireç ilave edilerek öğütüldükten sonra 2 Litrelik klasik flotasyon hücresi içine alınmıştır. Gerekli parametre ayarlamaları yapıldıktan sonra flotasyon işlemi yapılmıştır.

1.6. Jameson Flotasyon Hücresi

Flotasyon deneyleri, DPÜ Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında bulunan Jameson Flotasyon Hücresinde (JFH) yapılmıştır (Şekil 3).

Şekil 3'te görülen deney setini oluşturan ekipmanlar aşağıda verilmiştir:

- Konsantre ve artığın ayrıldığı şeffaf hücre (Çap (200 mm)x boy (1000 mm)),
- Düşey boru (Şeffaf), (Çap (26 mm)x boy (1800 mm)),
- Nozul (paslanmaz çelik), (Çap 5 mm).
- Besleme tankı: 100 litre hacminde olup paslanmaz (çelik) malzemeden yapılmıştır.
- Yıkama suyunun beslendiği ve hücrenin çalışma koşullarının ayarlanmasında kullanılan 100 litre hacimli paslanmaz çelik tank
- Besleme ve yıkama suyu pompası,
- Pülp besleme basıncını ölçen bir manometre,
- Besleme ve artık debisini ölçmek için iki adet flowmetre,
- Hava debisini ölçmek için flowmetre,
- Besleme tankı üzerine monte edilmiş pülp karıştırma motoru.



Şekil 3. Laboratuvar boyutlu JFH Şematik Görünümü

Her deney başlangıcında koşullandırma yapmak için bazik ortamda öğütülen cevher mekanik flotasyon hücresine alınmıştır. Katı oranı %35 olacak şekilde su ilave edilerek önce pH ayarlanmıştır. Sonra gerekli reaktifler ilave edilip (köpürtücü hariç), 1650–1700 devir/dakikada 6 dk. koşullandırılmıştır. Belirlenen katı oranına (%2,5) göre besleme tankına şebeke suyu doldurulup, karıştırılarak ortamın pH'sı ayarlanmış ve gerekli köpürtücü ilave edilmiştir. Daha sonra koşullandırılmış numune besleme tankına boşaltılmıştır. Hücrenin üst kısmından konsantre gelmeye başladığı andan itibaren yaklaşık 1.5 dakika süreyle numune alınmıştır. Deney sonunda sistem durdurularak yüzen ve batan ürünlerin kimyasal analizleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

2.1. Mineralojik Ve Serbestleşme Çalışmaları

Mikroskopik incelemeler sonucunda;

- Öz biçimli piritlerden daha fazla konsantrik piritlerin olduğu;
- Piritleri çinkoblendin daha fazla ornattığı;
- Çinkoblendin içinde çok miktarda kalkopirit kapanımlarının varlığı;
- Çinko içerisinde hidrotermal kuvarsların olduğu
- Bazı piritlerde kırılma birkaç faz;
- Kataklastik dokulu pirit oluşumlarının olduğu;
- Çok nadir görülen galen varlığı;
- İnce boyutlu kalkopirit saçınımları saptanmıştır.

Ayrıca;

Kriptokristalen kuvarlar, hidrotermal kuvarlar, ayrılmış, killeşmiş feldispatlar, ayrılmış mineralli limonitler, karbonatlaşma, silisleşme, kalsedon, klorit, ince mikalar gibi gang mineralleri de saptanmıştır.

Özgür (1993) yaptığı çalışma ile Murgul madeninde saçınımlı cevher, stokverk cevher ve küçük cevher damarları olmak üzere üç tip cevherleşme saptamıştır. Bu üç tip cevherleşmede yaygın cevher minerali olarak pirit, kalkopirit, sfalerit, galen, fahlerz, arsenopirit, kovalin ve altın belirlenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarla bu mineral parajenezlerine ek aksesuar mineral olarak aikinit, hessit, tetradimit ve klaustalit minerallerinin varlığı saptanmıştır (Zerener, 2005). Buna göre bölgedeki cevherleşmenin benzer olduğu benzer mineral oluşumlarından anlaşılmaktadır.

30, 40, 50 ve 60 dakika öğütme süreleri sonucunda elde edilen boyut fraksiyonlarının mikroskopik incelemeleri sonucunda kalkopirit tanelerinin değirmende daha çabuk ufalandıkları ve serbest kalkopirit tanelerinin genellikle ince fraksiyonlarda yoğun olarak bulunduğu tespit edilmiştir. İri boyutlarda ise (30 ve 40 dakika öğütme) serbest

kalkopirit tanelerinin daha az ve genellikle bağlı taneler şeklinde olduğu görülmüştür. Tane boyutu inceldikçe yani öğütme süresi arttıkça serbestleşmenin de arttığı tespit edilmiş fakat özellikle 38 µm boyutun altında şlam oluşumu arttığı için ve öğütme maliyetlerinden dolayı ve ayrıca bu boyutun altında yeterli serbestleşme olduğu için bu boyut öğütme boyutu olarak alınmıştır. Bunun yanında serbestleşme boyutu flotasyon yolu ile de tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2. Flotasyon Çalışmaları

2.2.1. Mekanik Flotasyon Hücresi

İlk aşama flotasyon deneylerinde numuneler 30, 40, ve 50 dakikalık öğütmeler yapılarak flotasyon hücresi için hazır hale getirilmiş ve bekletilmeden flotasyon deneyleri yapılmıştır. Yukarıda verilen ve sabit tutulan şartlar kullanılarak her öğütme süresinde eşit oranlarda (50:50) ancak farklı miktarlarda karıştırılan 3418A ve 3477 toplayıcılarının kullanılmasıyla deneyler yapılmıştır. Deneylerde konsantreler 30. saniye, 1. dakika, 2,5. dakika, 5. Dakika, 7,5. dakika ve 10. dakika süreleri ile alınmıştır (Çizelge 2-4).

Çizelge 2. 30 dakika öğütme süresinde toplayıcı miktarına göre kümülatif konsantr tenör ve verimleri

Deney no	Toplayıcı miktarı, g/t	Konsantr alma zamanı, dak.	% ,Kümülatif miktar	Kümülatif tenör		Kümülatif verim		
				%Cu	%Zn	%Cu	%Zn	
1	3418A 100 + 3477 100	konsantr	1	23,23	7,46	7,14	71,49	74,53
			2,5	42,75	5,07	4,78	89,44	91,90
			5	51,49	4,39	4,10	93,19	94,92
			7,5	57,32	4,03	3,74	95,33	96,44
			10	60,76	3,83	3,55	96,11	97,00
			Artık	39,25	0,24	0,17	3,89	3,00
			Besleme	100,00	2,27	2,1	100,00	100,00
			1	23,66	6,24	6,18	71,42	74,82
			2,5	39,07	4,50	4,41	85,06	88,23
			5	55,44	3,44	3,32	92,35	94,09
2	3418A 150 + 3477 150	konsantr	7,5	64,2	3,06	2,92	94,97	96,02
			10	69,42	2,86	2,72	96,01	96,71
			Artık	30,58	0,27	0,21	3,99	3,29
			Besleme	100,00			100,00	100,00
			0,5	14,00	8,22	7,90	61,12	63,40
			1	19,44	7,18	6,88	74,12	76,68
			2,5	31,36	5,26	4,97	87,60	89,39
			5	49,65	3,58	3,32	94,40	94,43
			7,5	58,58	3,09	2,85	96,25	95,65
			10	64,87	2,83	2,59	97,39	96,38
3	3418A 200 + 3477 200	konsantr	Artık	35,12	0,14	0,18	2,61	3,62
			Besleme	100,00			100,00	100,00

Çizelge 3. 40 dakika öğütme süresinde toplayıcı miktarına göre kümülatif konsantre tenör ve verimleri

Deney no	Toplayıcı miktarı, g/t	Konsantre alma zamanı, dak.	Kümülatif miktar, %	Kümülatif tenör		Kümülatif verim		
				%Cu	%Zn	%Cu	%Zn	
4	<u>3418A</u> 100 + <u>3477</u> 100	konsantre	0,5	13,67	9,15	8,36	55,62	55,01
			1	22,57	7,10	6,66	71,28	72,31
			2,5	43,16	4,68	4,41	89,86	91,63
			5	59,12	3,60	3,37	94,61	95,85
			7,5	67,28	3,22	3,00	96,31	97,22
			10	70,62	3,09	2,88	97,00	97,74
			Artık	29,38	0,23	0,16	3,00	2,26
			Besleme	100			100,00	100,00
			0,5	17,65	6,63	6,10	53,19	53,23
			1	27,31	5,96	5,62	74,01	75,84
5	<u>3418A</u> 150 + <u>3477</u> 150	konsantre	2,5	49,74	3,99	3,72	90,23	91,60
			5	64,42	3,24	3,00	94,90	95,59
			7,5	72,12	2,95	2,72	96,62	96,96
			10	74,74	2,86	2,63	97,13	97,38
			Artık	25,26	0,25	0,21	2,87	2,62
			Besleme	100			100	100
			0,5	19,04	5,85	5,55	51,30	52,91
			1	30,28	5,00	4,76	69,67	72,15
			2,5	51,16	3,69	3,48	86,98	89,09
			5	69,17	2,99	2,78	95,27	96,30
6	<u>3418A</u> 200 + <u>3477</u> 200	konsantre	7,5	76,72	2,76	2,55	97,56	98,11
			10	79,69	2,68	2,47	98,32	98,68
			Artık	20,32	0,18	0,13	1,68	1,32
			Besleme	100			100,00	100

Çizelge 4. 50 dakika öğütme süresinde toplayıcı miktarına göre kümülatif konsantre tenör ve verimleri

Deney no	Toplayıcı miktarı, g/t	Konsantre alma zamanı, dak.	Kümülatif miktar, %	Kümülatif tenör		Kümülatif verim		
				%Cu	%Zn	%Cu	%Zn	
7	<u>3418A</u> 100 + <u>3477</u> 100	konsantre	0,5	10,34	12,00	10,35	55,20	52,86
			1	18,41	9,27	8,30	75,91	75,50
			2,5	36,97	5,45	4,92	89,62	89,81
			5	51,34	4,20	3,76	95,88	95,49
			7,5	57,98	3,78	3,38	97,48	96,83
			10	63,15	3,49	3,12	98,03	97,27
			Artık	36,86	0,12	0,15	1,97	2,73
			Besleme	100	2,2	2,0	100,00	100,00
			0,5	9,64	7,97	7,23	33,14	30,76
			1	17,17	6,65	6,06	49,20	45,91
8	<u>3418A</u> 150 + <u>3477</u> 150	konsantre	2,5	32,26	5,27	5,02	73,34	71,41
			5	53,07	3,90	3,84	89,13	89,87
			7,5	62,97	3,45	3,41	93,57	94,76
			10	67,51	3,26	3,22	94,96	95,99
			Artık	32,49	0,36	0,28	5,04	4,01
			Besleme	100			100,00	100,00
			0,5	13,29	6,89	6,83	37,96	40,00
			1	23,89	6,21	5,74	61,51	60,41
			2,5	38,01	5,10	4,83	80,36	80,95
			5	56,74	3,94	3,74	92,78	93,58
9	<u>3418A</u> 200 + <u>3477</u> 200	konsantre	7,5	65,57	3,52	3,34	95,67	96,38
			10	71,34	3,28	3,10	97,03	97,60
			Artık	28,66	0,25	0,19	2,97	2,40
			Besleme	100			100,00	100,00

Çizelge 5. Selektif Cu ve Zn flotasyonu.

	Konsantre alma zamanı, dak.	% ,Kümülatif miktar	Kümülatif tenör		Kümülatif verim	
			Cu %	Zn %	Cu %	Zn %
Konsantre	Bakır	0,5	12,36	3,42	34,02	11,96
		1	9,29	3,44	56,55	26,56
		2,5	6,88	3,22	73,81	43,89
		5	5,65	3,09	86,43	59,98
		7,5	3,65	2,96	90,37	68,38
	Çinko	0,5	1,31	5,35	3,40	17,65
		1	1,08	4,16	4,74	23,16
		2,5	0,88	3,27	5,93	27,84
		5	0,81	2,72	6,77	28,85
		7,5	0,76	2,47	7,00	29,09
Artık		0,29	0,22	2,63	2,53	
Besleme		100,00	2,4	2,2	100,00	100,00

Çizelgelerden görüldüğü gibi tenör yönünden en iyi sonuçlar 50 dakika öğütme ve 3418A ve 3477 toplayıcılarından 100 er gr kullanılması durumunda elde edilmiştir. Bu durum aynı zamanda bu öğütme süresi ile elde edilen 38 µm nin altında serbestleşmenin büyük oranda gerçekleştiğini de doğrulamaktadır. İkinci aşamada selektif flotasyon yapılmış olup, yukarıda verilen sabit parametrelere ek olarak birinci aşamada tespit edilen 3418A ve 3477 toplayıcılarının

100 g/t olarak birebir kullanıldığı dozaj miktarı alınarak aşağıdaki farklı şartlarda deneyler yapılmıştır. Selektif flotasyonda ilk önce kalkopirit yüzdürülüp diğer mineraller bastırılmış sonrada sfalerit yüzdürülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Kalkopirit yüzdürme şartları;

Sodyum metabisüfit (Sfaleriti bastırma):
3000 g/t

Sodyum sülfür (sülfürleyici): 150 g/t

Toplayıcı (Aerophine 3418A): 100 g/t

Köpürtücü: 50 g/t

Sodyum silikat: 500 g/t

Sfalerit yüzdürme şartları;

Bakır sülfat (sfalerit canlandırma): 200 g/t

Sodyum silikat: 500 g/t

Toplayıcı (Aerophine 3477): 100 g/t

Köpürtücü: 50 g/t

Çizelge 5 incelendiğinde seçimli flotasyonun birinci kademesinde kalkopiritin yüzdürülebildiği görülmektedir. Ancak yüzdürülen her üründe %3 civarında Zn görülmesi sfaleritin etkili bir şekilde

bastırılmadığını göstermektedir. Seçimli flotasyonun ikinci aşaması olan sfalerit flotasyonunda ise sfaleritin başarılı bir şekilde konsantre olarak alınabildiği gözlenmiştir

2.2.2. Jameson Flotasyonu

Bu çalışmada, JFH'inde bir çok parametre literatür çalışmaları dikkate alınarak sabit tutulmuştur (Gürsoy, 2007; Jameson, 1991; Şahbaz, 2010). Ancak yüzdürülecek tane boyutuna bağlı olarak değeri değişen ve verimi doğrudan etkileyen bias değerinin (negatif veya genellikle pozitif bias) flotasyona etkisi sistematik olarak incelenmiştir. Jameson flotasyon çalışmalarında sabit tutulan parametreler;

- Tane boyutu (d_{80}): 38 µm
- Kabarcık boyutu: 0,6 – 1,0 mm
- Köpürücü: AF 65 (20 g/t)
- Toplayıcı: Aerophine 3418A (100 g/t)
- pH: 11
- Koşullandırma süresi: 2; 4; 6 dk.
- Hücre hacmi: 29,3 lt.
- Besleme debisi: 11,5 lt/dk
- Atık debisi: 12,1, 12,7, 13,3 lt/dk
- Yıkama suyu debisi: 2 lt/dk
- Düşeyboru dalma derinliği: 50, 60 ve 70 cm.
- Jet uzunluğu: 6 cm.
- Besleme basıncı: ~110 kPa

- Hava hızı (V_h): 27 cm/sn,
- Dalma derinliği (d_h): 20 cm

Bias, artık debisi ile besleme debisi arasındaki fark olup, pozitif veya negatif değerine bağlı olarak köpük zonu oluşur. Pozitif bias değerinde köpük zonu vardır. Köpük zonunun derinliği ise yıkama suyunun debisine bağlı olarak değişir. Bias faktörü ise artık ve besleme debisi arasındaki farkın, yıkama suyu debisine oranıdır (Patwardhan and Honaker, 2000). Jameson flotasyon hücresinde flotasyon verimini etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Bias faktörü doğrudan hücredeki köpük derinliği ile ilişkilidir (Mohanty and Honaker, 1999; Patwardhan and Honaker, 2000).

$$J_b = (Q_A - Q_B) / Q_{wv}$$

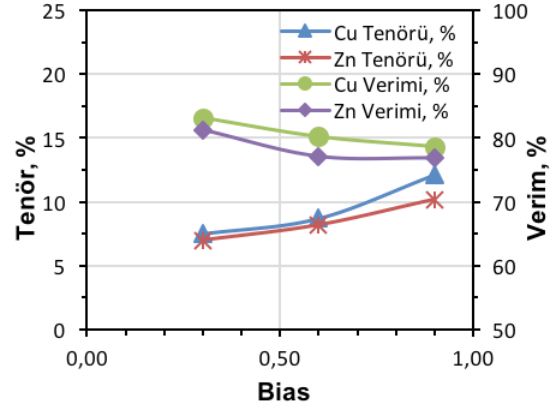
J_b : Bias faktörü

Q_A : Artık debisi (m^3/h)

Q_B : Besleme debisi (m^3/h)

Bias faktörü, gang minerallerinin konsantrasyonuna sürüklenmesine engel olmak amacıyla ince taneli minerallerin flotasyonunda ($-100 \mu m$) genellikle pozitif olmaktadır. İri taneli mineralleri flotasyonunda ise genellikle bias negatiftir (Oteyaka, 1993). Bu faktörün değeri arttıkça sürüklenme azalır ve konsantrasyon tenörü artar (Taşdemir, 2006). Bu nedenlerden dolayı bias faktörünün tenör ve randıman üzerine etkisini araştırmak üzere besleme debisi ve yıkama suyu debisi sabit tutulmuş, artık debisi değerleri ise değiştirilerek farklı bias faktörü değerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır. Jameson flotasyon deneylerinde bias 0,30-0,90 arasında değişken parametre olarak araştırılmış olup, deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.

Deney sonuçlarının verildiği Şekil 4 incelendiğinde; pozitif bias faktörünün artmasına bağlı olarak tenörler artmakta, buna karşın verimler azalmaktadır. Bakır tenörü açısından uygun bias faktörü değeri 0.9 olup, bu değeri sağlayan artık debisi ise 13.3 litre/dakika'dır. Bias faktörü 1 değerinin üzerinde olduğunda konsantrasyon akışı olmayacaktır. Değerin sifira yakın olduğu durumlarda ise konsantrasyon aşırı sürüklenme olmakta ve tenör çok düşük kalmaktadır. Uygun bir verim ve yüksek tenör elde edebilmek için 0.70-0.9 aralığında bias faktörü değerleri uygun olmaktadır.



Şekil 4. Bias faktörünün Cu – Zn verim ve tenörüne etkisi.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında flotasyonu özellikle oksitlenme ve tane boyutundan dolayı sorunlu Doğu Karadeniz Bölgesi ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko cevherinin serbestleşme boyutu mikroskobik ve flotasyon yöntemiyle tespit edilerek flotasyon yöntemiyle zenginleştirilebilen olanakları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1- Mikroskobik çalışmalar sonucunda cevher numunesinin değerli mineral olarak çoğunlukla pirit, kalkopirit, sfalerit ve daha az olarak da galen, gang olarak ise kuvars, kloritler, mikalar, killeşmiş feldispatlar, mikalar, karbonatlar gibi mineraller ile karbonatlaşma ve silisleşme tespit edilmiştir.

2- Değişik sürelerde öğütülen cevherin mikroskop incelemeleri ve flotasyon deneylerine göre serbestleşme boyutu yaklaşık -38 mikrometre olarak saptanmıştır.

3- Mekanik flotasyon hücresi ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre;

- 50 dakika öğütülmüş %2,2 Cu tenörlü numune-de toplayıcı olarak 3418A ve 3477'nin 100'er gr olarak kullanıldığı durumda ortalama olarak %80 verimde yaklaşık %9 bakır içeren konsantrasyon elde edilmiştir.

- Selektif flotasyonda Cu-Zn ayrımı yeterince gerçekleştirilememiştir.

4- Jameson flotasyon deneylerinde tane boyutu için önemli parametre olan bias faktörünün etkisi daha önce yapılan deneysel çalışmalar ve mekanik hücre çalışmaları ışığında araştırılmıştır. Buna göre;

- 0.9 bias faktörü değerinde yaklaşık %12 Cu tenörlü konsantre %79 verimle tek aşamada elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2012/01 No'lu Proje desteğinden dolayı Dumlupınar Üniversitesi BAP birimine, mineralojik çalışmalar sırasındaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Yaşar Kibici (Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü) ve Yrd. Doç. Dr. Mithat Vıcıl (Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü)'a ve Jameson Flotasyon Hücresinin tasarımına yaptığı katkılardan dolayı Prof. Dr. Bahri Öteyaka (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü)'ya teşekkürü bir borç bilmektedirler.

KAYNAKLAR

- Ekmekçi, Z., Can, N. M., Aslan, A., Bradshaw, D. J., 2006, "Relating the changes in froth structure to metallurgical performance in flotation using machine vision", XXIII International Mineral Processing Congress, vol. 1, pp 802-806.
- Finch, J.A., 1995, "Column Flotation: A Selected Review-Part IV: Novel Flotation Devices"; Minerals Engineering, Vol.8, No.6, pp.587-602.
- Hiçyılmaz, C. and Altun, N. E., 2006, "Electrochemical investigation of copper-DTPI interactions", Journal of Applied Electrochemistry, pp. 609-616.
- Jameson, G. J. and Manlapig, E. V., 1991, "Applications of the Jameson Cell, Column'91. Proceedings of an International Conference on Column Flotation", Sudbury. Ontario, pp.673-687.
- Gürsoy, H., 2007, "Jameson Flotasyon Hücresinde İnce Taneli Kompleks Bakır Cevherlerinin Zenginleştirilebilirliği", PhD Thesis, Eskişehir Osmangazi University.
- Öteyaka, B., 1993, "Modelisation d'une colonne de flottation şans zone d'ecume pour la separation de particules grossieres", PhD Thesis, Laval University, Canada.
- Öteyaka, B., 1994, "Efflot du taux de retention du gauz sur la stabilité des agregats buble-particule(s) pendant la flotasyon", Mines & Carieres, Les Techniques, vol 76, pp 245-248.
- Pecina, E. T.; Orrantia, E. and Uribe, A.; 2006, "Impact of copper and lead on the activation of pyrite in the presence of thiol collectors", International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT), Vol. 27, No. 1/2, 2006.

Schulze, H. J., 1984, "Physico-chemical Elementary Processes in Flotation", Elsevier, Amsterdam.

Şahbaz, O., 2006, "Tunçbilek Termik Santral Cürufundaki Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu ile Kazanımı", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.

Taşdemir, T., 2006, "Jameson Hücresinde Hold-Up'ın Modellenmesi ve Bazı Çalışma Parametrelerinin Flotasyon Verimine Etkisi", PhD Thesis, Eskişehir Osmangazi University.

Taşdemir, T., Oteyaka, B., and Tasdemir, A., 2007, "Air entrainment rate and holdup in the Jameson cell", Minerals Engineering, Vol.20 No.8,

Yoon, R. H.; Luttrell, 1989, "The effect of bubble size on fine particle flotation", Min. Process Extr. Metal. Rev., 5, 101.

Özgür, N., 1993, Volcanogenic massive sulfide deposits in the east pontic metallotect, Resource Geology Special Issue, No. 17, p. 180-185.

Zerener, M., 2005, Doğu Karadeniz Bölgesi Metalojenik Kuşağında Bulunan Murgul Masif Sülfid Yatağanın Hidrotermal Çözeltileri ve Gelişimi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

CYTEC, Mining Chemicals Handbook, Revised Edition.

Şahbaz, O., Modification of Downcomer in Jameson Cell and Its Effect on Performance. Ph.D. Thesis, Dumlupınar University, Department of Mining Engineering, Turkey, 2010.

Patwardhan, A. and Honaker, R.Q., 2000, Development of a Carrying-capacity Model for Column Froth Flotation, Int. Journal of Mineral Processing, V 59, pp 275-293.

Mohanty, M. K. and Honaker, R.Q., 1999, Performance Optimization of Jameson Flotation Technology for Fine Coal Cleaning, Minerals Engineering, Vol. 12.No.4, pp.367-381.