



YOMRA-KAYABAŞI MASİF Cu-Zn CEVHERİNDEN FLOTASYON İLE Cu KONSANTRESİ ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

T. YILMAZ, İ. ALP, H. DEVECİ, O. CELEP

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
61080 Trabzon, TÜRKİYE (tugbayilmaz@ktu.edu.tr)

Geliş tarihi: 05.10.2007 Kabul tarihi: 07.01.2008

ÖZET

Bu çalışmada, Trabzon-Yomra-Kayabaşı Cu-Zn Masif cevherinin flotasyon yöntemi ile bakır konsantresi üretilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan mineralojik incelemeler sonucunda cevherin kovellin, kalkozin, bornit, fahlers, sfalerit, pirit, enarjit, tetrahedrit, kalkopirit ve galen gibi cevher minerallerinden ve barit, kalsit ve diğer silikatlı gang minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Bakır mineralleri çoğunlukla pirit ve sfalerit ile birlikte kenetli olarak ve bu mineraller içerisinde küçük boyutlu saçınımlar şeklinde bulunmaktadır. Seçimli olarak bakır konsantresi üretimi için yapılan flotasyon testlerinde; öğütme boyutu, köpük alma süresi, toplayıcı ve bastırıcı konsantrasyonları ile karıştırma hızının etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda seçimli flotasyon yöntemiyle yüksek tenör ve verim değerleri ile bakır konsantresi üretimi sağlanamamıştır. Yeterli serbestleşmenin olmaması ve cevher içerisindeki ikincil bakır minerallerinin ortama Cu iyonları vermesi flotasyonu olumsuz etkilemektedir. Yeterli serbestleşme için daha ince boyutlara öğütme sonrasında ince boyutlarda etkin olarak çalışan flotasyon teknikleri ile araştırmalar yapılmamıştır. Toplu konsantrasyon üretiminde olumlu sonuçlar elde edilmesine rağmen cevher içerisinde arsenikli bakır minerallerinin varlığı bu konsantrasyonların değerlendirilmesinde sorun olabilir. Bu nedenle cevherin hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilmesi düşünülmelidir.

1. GİRİŞ

Masif sülfid bakır cevherlerinde, kalkopirit (CuFeS_2) birincil bakır cevheri olmasına rağmen kalkozin (Cu_2S), bornit (Cu_3FeS_3), kovellin (CuS), tetrahedrit ($3\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$), enarjit (Cu_3AsS_4), malakit ($\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu(OH)}_2$) ve azurit ($2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu(OH)}_2$) gibi diğer bakır sülfid ve oksit mineralleri de ikincil cevher fazı olarak bulunabilir [1]. Sülfürlü bakır mineralleri anyonik toplayıcılar ve uygun bir köpürtücü kullanılarak kuvars, serüzit, barit, kalsit gibi gang minerallerinden yüzdürülerek başarılı bir şekilde ayrılır. Cevherdeki pirit, sfalerit ve galen gibi sülfidlerden bakır minerallerin ayrılma etkinliği ve yüzdürülebilirliği, serbestleşme derecesi, minerallerin yüzey özellikleri ve flotasyon davranışı, redoks şartları ve çözünme özellikleri gibi faktörlere bağlıdır [2,3]. Cevher içinde ikincil oluşan kalkozin ve kovellinin varlığı seçimli flotasyonda güçlükler yaratmakta ve proses tasarımını yakından ilgilendirmektedir. Bu ikincil bakır mineralleri pulpa Cu iyonları vererek, sistemin elektrokimyasal şartlarına bağlı olarak mineral fazları üzerinde bastırılma ve istenmeyen canlanmayı sağlayarak [2,4,5] pirit ve sfaleritin bastırılmasını güçleştirmektedir. [9]. Sodyum sülfid, bazik pH'larda Cu iyonları ile canlandırılmış sfaleritin bastırılmasında kullanıldığında; sfalerit kazanımı sodyum sülfid konsantrasyonunun artmasıyla azaldığı belirlenmiştir [6].

Anahtar Kelimeler: Yomra-Kayabaşı, Bakır flotasyonu, Serbestleşme, Çinko bastırma

Enarjit (Cu_3AsS_4), tenantit ($3\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{As}_2\text{S}_3$) ve tetrahedrit ($3\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$) mineralleri ise bakır cevherlerinde arsenik kaynaklarıdır [1]. Yüksek arsenik içerikli Cu konsantrasyonları pirometalurji aşamasında sorun yaratmaktadır [7].

Polimetallik cevherlerde seçimliliği olumsuz etkileyen bir diğer neden de oldukça ince öğütme gereksinimidir. İnce öğütme, bir yandan yüksek düzeyde seçimlilik için zorunluluk, öte yandan öğütme-sınıflandırma sistemi iyi kontrol edilemeyen işletmelerde problem kaynağıdır. Çünkü sülfürlü minerallerin flotasyon hızları ile tane boyları arasında bir ilişki vardır. Genelde 10 mikrondan daha küçük sülfürlü minerallerin flotasyonu güçtür [4]. Cevherde bulunan değerli minerallerin serbestlik tane boyları 30 mikrondan fazla ise seçimli metal konsantrasyonları, 30 mikrondan küçük ise toplu konsantrasyonlar üretilir. Toplu konsantrasyon pirometalurjik veya hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilirler [1].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan cevher örneği Trabzon-Kayabaşı cevher yatağından kanal örnekleme yöntemi ile galeri ile ulaşılan cevher damarından alınmıştır. Mineralojik incelemeler için parça örnekler seçilerek ayrılmıştır. Alınan örnekler çeneli ve merdaneli kırıcılar kullanılarak boyutu 5 mm altına indirildikten sonra örnek bölücü ile bölünerek analiz, öğütme ve flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Örneğin komple kimyasal analizi Acme Analytical Laboratories laboratuvarında XRF ve ICP-AES yöntemleriyle yapılmıştır (Tablo 1).

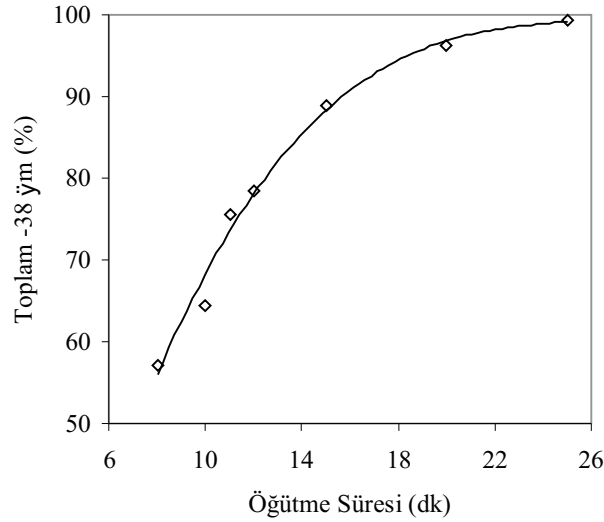
Tablo 1. Cevher Örneğinin Komple Kimyasal Analiz Sonuçları

Bileşik	(%)	Element	(%)	Element	gr/ton
SiO ₂	10,56	Cu	12,50	Ag	117,70
Al ₂ O ₃	1,77	Pb	0,70	Au	2,70
Fe ₂ O ₃	33,37	Zn	4,90	Ga	32,90
MgO	0,17	Fe	29,90	Ni	59,00
CaO	1,79	As	0,90	Co	17,80
Na ₂ O	0,12	Sb	0,02	V	86,00
K ₂ O	0,35	Ba	4,81	W	13,60
TiO ₂	0,05	Sr	0,07	Zr	18,00
P ₂ O ₅	<0,01	TOT/C	0,29	Sn	4,00
MnO	0,04	TOT/S	32,01	Ce	5,20
Cr ₂ O ₃	0,008	K. K.	24,30	Rb	7,70

Öğütme, laboratuvar tipi çubuklu değirmen ile yaş olarak yapılmış ve öğütme sırasında ortama kireç eklenmiştir. Optimum öğütme süresinin belirlenmesi için farklı süre öğütme sonrasında malzemeler 38µm'lik elek altı miktarları elenerek belirlenmiştir (Şekil 1). Malzemenin 12dak. öğütme ile %78,54'ünün 38µm altına öğütüldüğü belirlenmiştir.

2.2. Yöntem

Mineralojik incelemeler ve serbestleşme boyutu tayini için, öğütülmüş cevher farklı boyut gruplarına ayrılarak ve ayrı ayrı kalıplara dökülerek, parlak kesitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan parlak kesitler mikroskop altında incelenmiştir. Her bir parlak kesitten ortalama olarak 650-700 mineral tanesi sayılmıştır. Tane sayımı yapılırken bağlı taneler 20 eşit parçaya bölünmüş ve birbirlerine göre oranları belirlenmiştir [9]. Flotasyon deneylerinde öncelikli olarak yüksek tenörlü bakır konsantresinin üretilebilirliği araştırılmış, çinko ve diğer sülfürlü minerallerin bastırılması hedeflenmiştir. Flotasyon deneyleri Denver flotasyon makinesinde 2 litre hacimli hücreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belli sürelerde öğütülen cevher uygun reaktifler kullanılarak bakır konsantresi elde etmek için flotasyona tabi tutulmuştur. Flotasyon sonrasında elde edilen ürünler filtrasyon, kurutma ve tartım sonrasında analiz için hazırlanmıştır. Flotasyon deneyi ürünlerinin metal analizleri (Cu, Zn, Fe) Unicam model Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi ile yapılmıştır. Flotasyon deneyleri tane boyutu d₈₀:38 µm olacak sürede öğütme sonrasında gerçekleştirilmiştir. Bastırıcı olarak çinko sülfat (ZnSO₄: 200gr/ton), sodyum sülfid (Na₂SO₃: 200gr/ton) ve sodyum silikat (Na₂SiO₃: 200gr/ton), pH ayarlayıcı olarak kireç (Ca(OH)₂), toplayıcı olarak Aerofin (A3418: 35,6gr/ton), köpürtücü olarak da MIBC (Metil izobütil karbinol: 20gr/ton) kullanılmıştır. Flotasyon testleri 1250 dev/dak. karıştırma hızında, %36 pulp yoğunluğunda ve pH 11,5'da gerçekleştirilmiştir. Şartlandırma zamanı bastırıcılar için 20, toplayıcı için 10, köpürtücü için 1 dak. olarak ve köpük alma süresi ise 7 dak. olarak alınmıştır. Flotasyon deneylerinde, tane boyutunun, köpük alma süresinin, bastırıcı (ZnSO₄ ve Na₂SO₃) miktarının, toplayıcı (A 3418) miktarının ve karıştırma hızının üretilen bakır konsantresinin tenörü ve bakır kazanma verimi üzerine etkisi incelenmiştir.



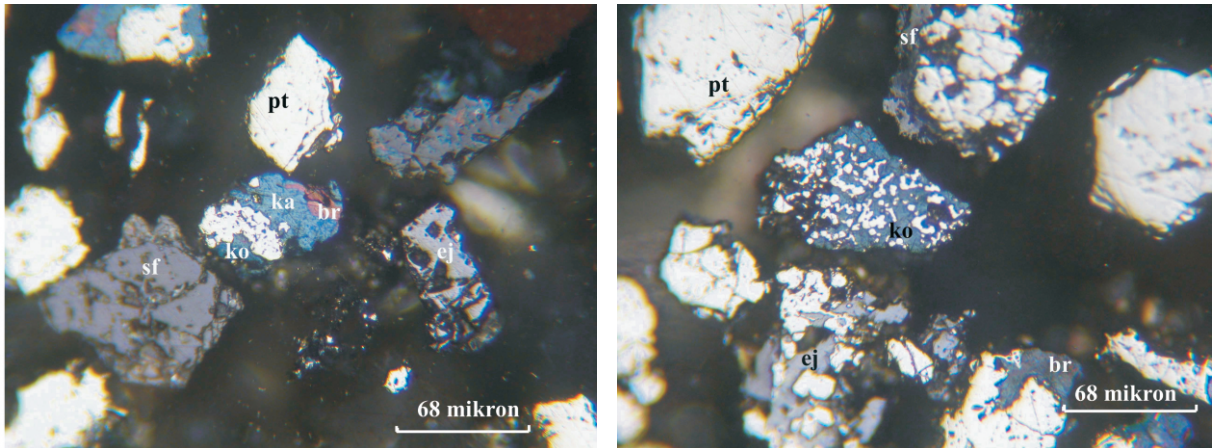
Şekil 1. Öğütme süresine ile 38 µm elek altı miktarının (%) değişimi

3. BULGULAR

3.1. Cevherin mineralojik yapısı

Deneylerde kullanılan cevher örneği, %12,5 Cu ve %4,9 Zn içermektedir. Cevher içerisinde As miktarı %0,9 civarındadır (Tablo 1). Cevherin mineralojik analizlerinde, sülfürlü bakır mineralleri olarak; kovellin (Cu_2S), kalkozin (Cu_2S), dijenit (Cu_9S_5), enarjit ($Cu_3(As,Sb)S_4$), bornit (Cu_5FeS_4) ve kalkopirit ($CuFeS_2$) varlığı belirlenmiştir. Cu minerallerinin birbirine göre bulunma oranı Tablo 2'de verilmiştir. Bakır mineralleri daha çok sfalerit ve piritle kenetli olarak bulunmaktadır (Şekil 2). Bu durum gerek serbestleşmenin sağlanması gerekse seçimli flotasyonun başarılı olabilmesini zorlaştıracak etkenler arasında görülmektedir. Arsenik içeriğinden dolayı cevherde enarjit minerallerinin varlığı üretilecek flotasyon konsantrelerinin izabe işlemleri sırasında istenmeyen bir durum ortaya çıkarabilecektir. Cevher içerisinde kalkopirit oranının oldukça az olması da flotasyon açısından dikkat edilmesi gerekli bir durum oluşturmaktadır. Cevherin geri kalanı kuvars, silikatlar ve baritten oluşmaktadır.

Serbestleşme boyutu incelemelerinde pirit ve safaleritin serbest taneler şeklinde bulunmanın yanında 10 mikrondan küçük taneler şeklinde bakır minerallerinin ve birbirlerinin içerisinde saçınımlar şeklinde buldukları gözlenmiştir (Şekil 2). İnceleme sonrasında flotasyon tekniği açısından öğütme boyutunun 38 mikron olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Ancak bu durumda bile tanelerin birlikte hareket etmelerinin söz konusu olacağı beklenmelidir.



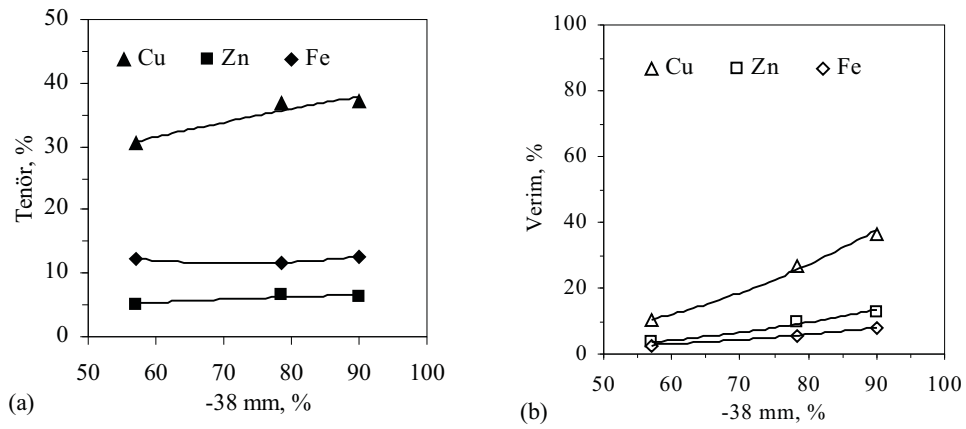
Şekil 2. Cevher minerallerinin bulunuş şekillerinin görünümü (Sf: sfalerit, Pt: pirit, Ka:kalkozin, Ko: kovellin, Br: bornit, Ej: Enarjit) (25x16).

Tablo 2.Cevher Örneğinde Cu Minerallerinin Bulunma Oranları

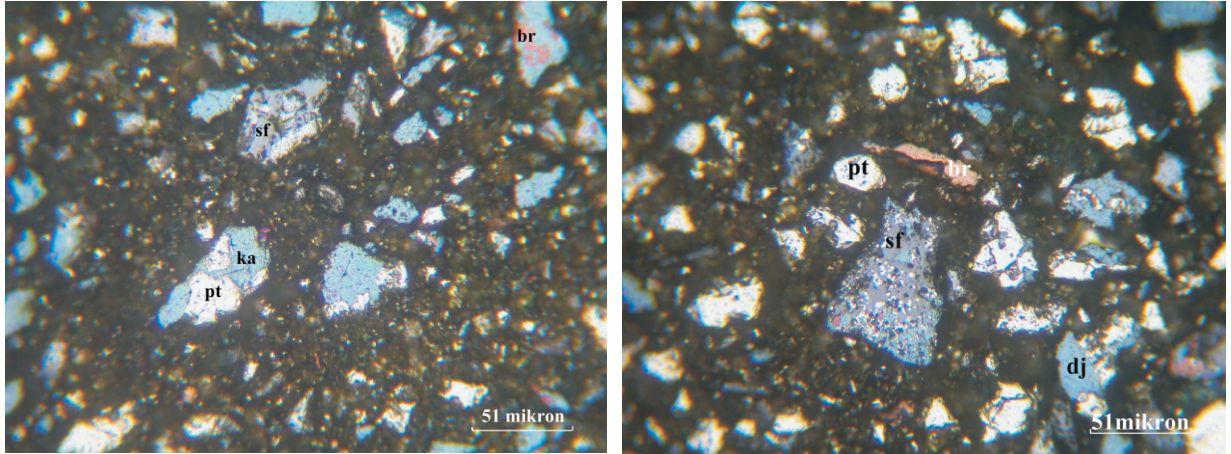
Cu Mineralleri	Kalkozin	Dijenit	Bornit	Kovellin	Enarjit	Kalkopirit	Toplam
%	40	20	20	10	6	4	100

3.2. Bakır Flotasyonu Testleri

Şekil 3'te farklı öğütme süreleri ile elde edilen farklı boyutlu cevher örneklerinden flotasyonla üretilen bakır konsantresinin Cu, Zn ve Fe tenörlerinin (a) ve metal kazanma verimlerinin (b) değişimi görülmektedir. Tane boyunun azalmasıyla bakır tenöründe artış meydana gelirken Zn kazanma veriminde az oranda bir yükselme meydana gelmektedir. Buradan elde edilen sonuçlardan bakır kazanma veriminin daha ince boyutlara öğütülme sonrasında ulaşabileceği söylenebilir. Bu durum daha ince boyutlarda flotasyon yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Flotasyon sonrası elde edilen ürünlerden hazırlanan kesitler incelendiğinde de benzer sonuçlara ulaşılabilir. Cu konsantresinden hazırlanan kesitlerde serbest tanelerin yanında enarjit-pirit, kovellin-pirit bağlı taneleri görülmektedir (Şekil 4-a).



Şekil 3. Tane boyutunun konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi

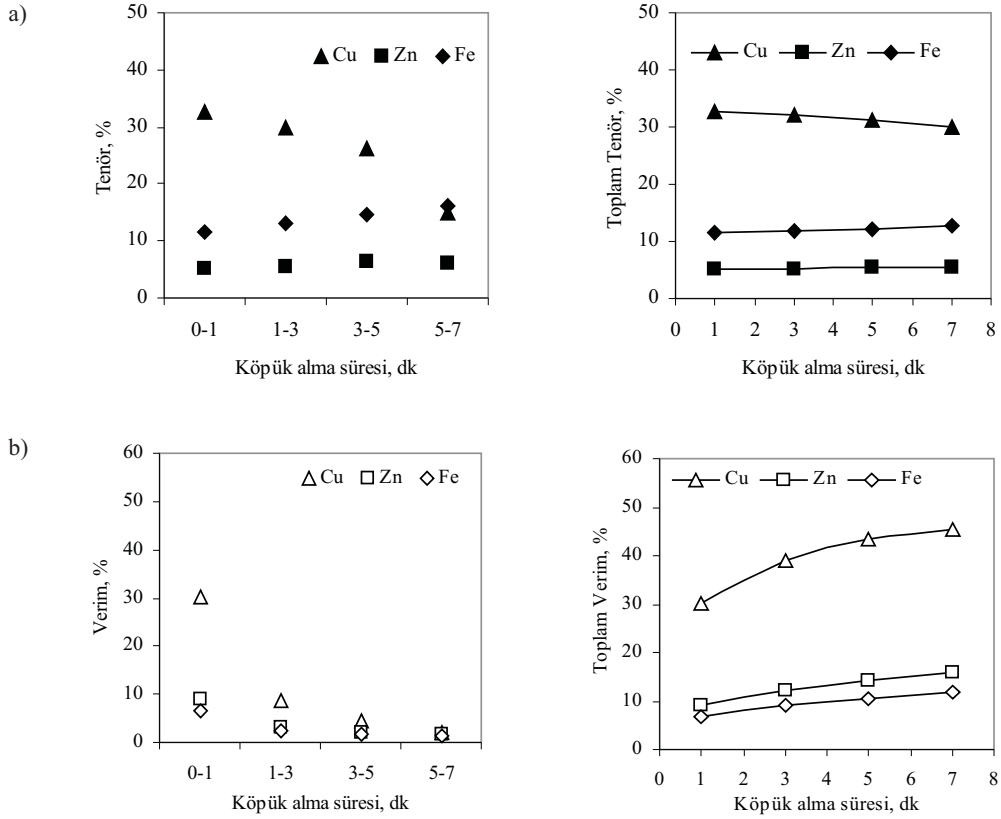


Şekil 4. Cu konsantresi (a), ve atık (b) mikroskop görünümü (Sf: sfalerit, Pt: pirit, Ka: kalkozin, Ko:kovellin, Br: bornit, Dj: dijenit) (25x16).

Saçınımlı pirit taneleri, öğütme süresinin artmasıyla dahi piritin serbestleşmeyeceğini göstermektedir. Flotasyon sonrası atıktan hazırlanan kesitler incelendiğinde; bornit, pirit ve dijenit, serbest taneleri, dijenit-pirit, enarjit-pirit, sfalerit-kalkozin, sfalerit,-kalkozin-pirit bağlı taneleri görülmektedir (Şekil 4b).

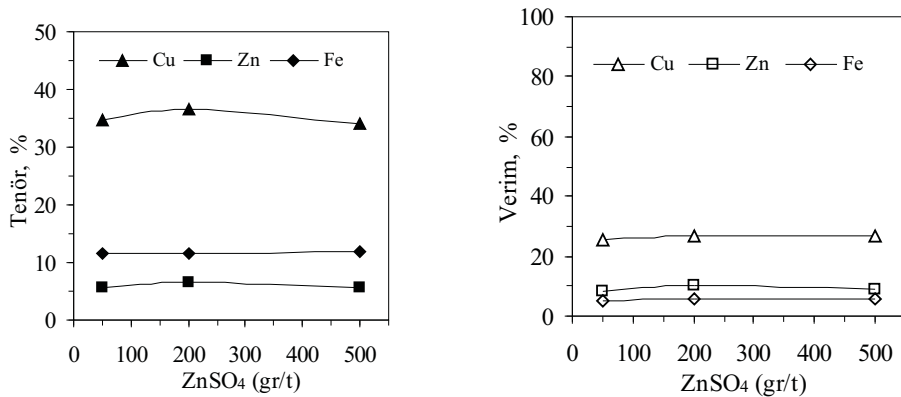
Köpük alma süresinin konsantre tenörü (a) ve metal kazanma verimi (b) üzerine etkileri incelendiğinde (Şekil 5); köpük alma süresi artarken alınan konsantrenin Cu tenörü azaldığı ve bu azalmanın 5. dakikadan sonra hızlandığı

görülmektedir. Zn ve Fe tenörlerinde ise sürekli artış gözlemlenmektedir. Toplam malzemenin tenörleri göz önüne alındığında Cu tenörü düşerken Zn ve Fe tenörlerinde artışlar gözlenmektedir. Alınan malzeme miktarlarının azalmasına bağlı olarak metal verimlerinin değişimlerinden Cu, Zn ve Fe verimlerinin flotasyon süresiyle 5. dakikaya kadar arttığı görülmektedir. Flotasyon (köpük alma) süresinin 7 dakika olarak alınmasının uygun olacağı söylenebilir.

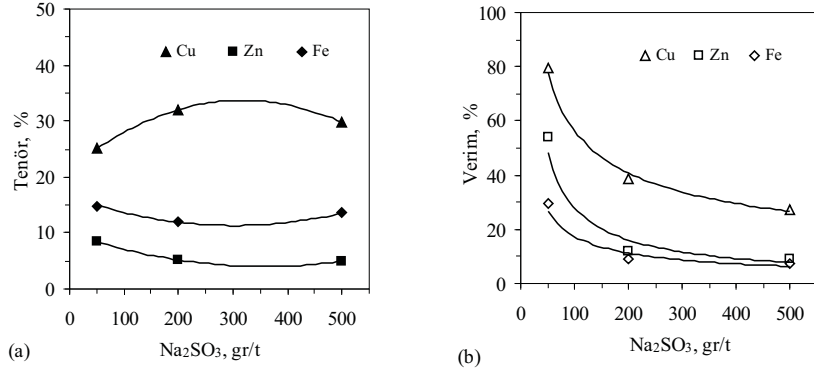


Şekil 5. Köpük alma süresi ile konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi

Bastırıcı olarak $ZnSO_4$ miktarının (50-500g/ton) etkisi incelendiğinde, miktarını artması ile Cu tenör ve verim değerlerinde çok az bir etkisinin olduğu, bastırıcının aşırı artırılması durumunda Cu tenörlerinde düşüşe neden olmaktadır (Şekil 6). Bu durum, sfalerit-bakır mineralleri serbestleşmesinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Benzer durum bastırıcı olarak Na_2SO_3 kullanıldığında daha açık olarak görülmektedir (Şekil 7). Araştırmacılar $Na_2S_2O_4$ ve Na_2SO_3 gibi bastırıcı reaktiflerin ilavesinin bakır flotasyonu esnasında kalkozin, kovellin ve kalkopirit gibi bakır sülfidleri canlandırabileceğini belirlemiştirler [2]. Na_2SO_3 'ün daha az kullanılması durumunda (50g/ton) %79,2 Cu kazanımı sağlanırken mineral fazlarında yeterli serbestleşme olmamasından dolayı Zn verimleri ve tenörü de yüksek olarak gerçekleşmektedir.

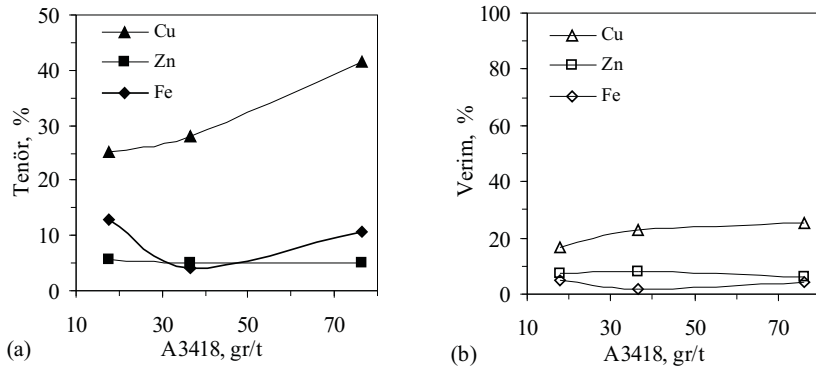


Şekil 6. $ZnSO_4$ miktarının konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi

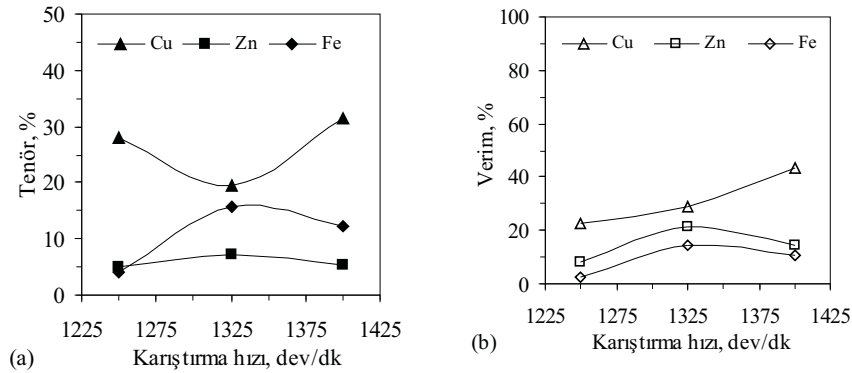


Şekil 7. Na₂SO₃ konsantrasyonunun konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi

Pulpteeki toplayıcı konsantrasyonu mineral yüzeyinde kabarcıkla maksimum temas açısını oluşturabilmesi için gerekli olan zamanı belirler. Toplayıcı konsantrasyonu arttıkça bu işlemin hızı yani flotasyon hızı artmaktadır. Fakat hızdaki bu artış ince tanelere oranla iri tanelerde daha etkilidir. Toplayıcının artışının -10µm gibi çok ince fraksiyonlarda fazla bir etkisi olmamaktadır [10]. Toplayıcı miktarının artmasıyla Cu tenörü değerleri artmaktadır (Şekil 8). Yine de nihai bakır kazanımları %42 ile sınırlıdır. Karıştırma hızının artmasıyla Cu kazanımı ve seçimliliği özellikle 1325 dev/dak. üzerinde artmaktadır (Şekil 9). Bu durum flotasyon hücresindeki hava kabarcıklarının daha ince boyutta üretilmesi ile ilgili olabilir. Bu sorun son yıllarda flotasyonu sorunlu ince taneli minerallerin flotasyon verimini arttırmak amacıyla geliştirilmiş olan Jameson flotasyon hücresinin kullanımı ile giderilebilir. Bu yöntemle çok daha küçük boyutlarda hava kabarcıkları üretilebilmekte ve ortamda yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması sağlanarak tane kabarcık arasındaki çarpışma olasılığı yükselmektedir [11].

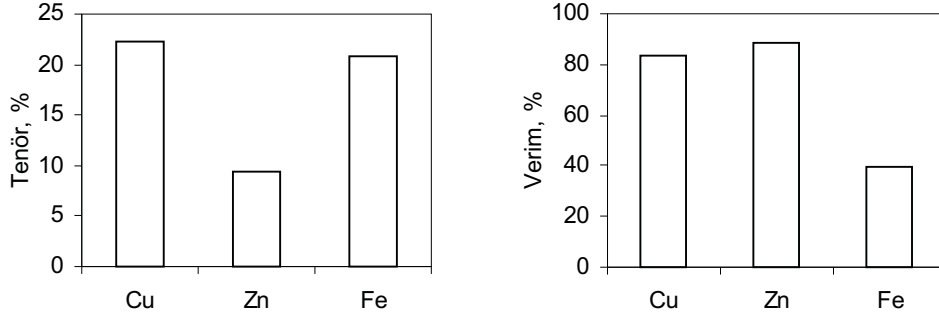


Şekil 8. Toplayıcının konsantrasyonunun konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi



Şekil 9. Karıştırma hızının konsantre tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi

Seçimli flotasyonun olumsuz sonuçları nedeniyle toplu Cu-Zn flotasyon testleri yapılmış ve sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Flotasyon şartları bastırıcı kullanılmaması dışında benzerdir. Sonuçlar incelendiğinde %80'in üzerinde bakır kazanma verimleriyle %20-25 Cu tenörlü konsantrelerin üretilabileceği görülmektedir. Çinko kazanımları da %85'in üzerinde gerçekleşmekte ve konsantrenin çinko tenörleri %9-10 Zn değerlerinde gerçekleşmektedir. Sülfür minerallerinin serbestlik tane boyutu 30 mikrondan küçük olması durumunda klasik flotasyon yöntemleri ile toplu konsantre üretimi uygun bir seçenek olabilir. Bu toplu konsantreler hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilebilirler.



Şekil 10. Toplu flotasyon testlerinde elde edilen tenör (a) ve verim (b) sonuçları

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Kayabaşı Masif Sülfid Cu-Zn cevherinin flotasyon özellikleri araştırılmıştır. Cevher örneğine yapılan mineralojik incelemeler bakır mineralleri ile pirit ve sfalerit minerallerinin yer yer birbiri içerisinde ve çok küçük taneler (saçınım) şeklinde bulunduğunu göstermiştir. Bu durum serbestleştirmede ve daha iyi serbestleşme için ince boyuta ufalması durumunda da flotasyon işlemlerinde zorluklara sebep olmaktadır. Bu nedenle benzer yapıdaki cevherlerin flotasyon verimini artırmak amacıyla geliştirilmiş flotasyon yöntemleri (Jameson flotasyon hücresi, Kolon flotasyonu) daha ince boyutlara öğütme sonrasında Kayabaşı cevherinin seçimli flotasyonu için uygulanabilir. Bu tür yöntemlerde çok daha küçük boyutta hava kabarcıklarının üretilmesi ve ortamda yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması nedeniyle verimli sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca cevher içerisinde bol miktarda ikincil bakır mineralleri belirlenmiştir. Bu ikincil bakır minerallerinin çözünürlüklerinin yüksek olması flotasyonda istenmeyen canlanma etkisini yaratarak olumsuzluklara sebep olacağı anlaşılmaktadır. Seçimli flotasyon testlerinde Cu-Zn ayrımı verimli şekilde gerçekleştirilememiştir. Ancak cevherin flotasyonla toplu Cu-Zn konsantresi elde edilerek değerlendirilmesi çok daha sorunsuz gözükmektedir. Ancak Cu-Zn konsantrelerinin değerlendirilmesine uygun pirometalurjik tesislerin çok fazla bulunmaması olumsuzluk olarak ortaya çıkabilir. Cevher içerisinde gözlemlenen ve azımsanmayacak miktarlarda bulunan enarjit minerallerinin varlığı flotasyon sonrası elde edilen konsantrelerin As içeriği yönünden de incelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu yönüyle cevherin değerlendirilmesinde hidrometalurjik yöntemlerin araştırılması da uygun bir yöntem olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Çilingir, Y., *Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri*, Vol.1, Dokuz Eylül University, Department of Mining Engineering, İzmir, Turkey, (1990).
- [7] Mihajlovic, I., Strbac, N., Zivkovic, Z., Kovacevic, R., Stehernik, M., *A potential method for arsenic removal from copper concentrates*, Mineral Engineering, (2007), vol 20, 26-33.
- [2] Abramov, A.A., Forsberg, K.S.E., 2005, *Chemistry And Optimal Conditions for Copper Minerals Flotation: Theory and Practice*, Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., (2005), 26, 77-143.
- [3] Aslan A., *Kompleks Sülfürlü Cevherlerde Minerallerin Flotasyon Davranışına Elektrokimyasal Parametrelerin Etkileri*, Hacettepe Ün., Doktora Tezi, Ankara, (2002).
- [4] Bayraktar, İ., Altun, Y., *Kompleks bakır-kurşun-çinko cevherlerinin özellikleri, ekonomik değeri ve zenginleştirilmesi*, Maden Mühendisleri Odası, (1996), 11-21.
- [5] Dichmann, T.K. ve Finch, J.A., *The Role of Copper Ions in Sphalerite-Pyrite Flotation Selectivity*, Mineral Engineering, McGill University, (2000), 217-225.
- [6] Shen, W.Z., Fornasiero, D. ve Ralston, J., Flotation of Sphalerite and Pyrite in the presence of Sodium Sulfite, Int. Journal of Mineral Processing, (2000), 63, 17-28.
- [8] Akçay, M., Lermi, A., Van, A., *Biogeochemical exploration for massive sulphide deposits in areas of dense vegetation: an orientation survey around the Kanköy Deposit*, Journal of Geochemical Exploration, (1998), 63, 173-187.
- [9] Yılmaz, T., *Yomra-Kayabaşı Masif Sülfid Cu-Pb-Zn Cevherinin Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans tezi, Karadeniz Teknik Ün., Trabzon (2004).
- [10] Saklar, S., Ersayın, S., Bayraktar, İ., *Flotasyon Modelleri*, Maden Mühendisleri Odası, (1998), 3-20.
- [11] Taşdemir, T., Öteyaka, B., Taşdemir, A., *Jameson Flotasyon Hücrelerinde Önemli Çalışma Parametrelerinin Hava Tutunumu Ve Giren Hava Miktarına Etkileri*, Madencilik, (2006), 45, 11-18.