

# KÜRE TESİSİ BAKIR KONSANTRESİ TENORUNUN KOLON FLOTASYONU İLE YÜKSETİLMESİ

## INCREASING THE GRADE OF KÜRE COPPER CONCENTRATE BY USING COLUMN FLOTATION

Suna ATAK <◊>  
Ekrem YÜCE <●●>  
Gülşay BULUT (●●●>  
Fatma ARSLAN (●\*\*)  
Sevil YALÇIN (\*»»»)

**Anahtar Sözcükler: Bakır, Flotasyon, Kolon**

### ÖZET

Etibank Küre Konsantratöründe üretilen bakır konsantresi %11-13 Cu içermektedir. Bu konsantrenin kolon flotasyonu ile bakır tenorunun yükseltilmesine yönelik olarak yapılan deneylerde, bakır konsantre tenörü %18-21 Cu'ya kadar yükseltilmekte, kolon flotasyonu artığından ise mekanik flotasyonla %12 Cu içeren kolon flotasyonu devresine dönebilecek nitelikte bir konsantre ve %5 civarında Cu içeren tesis temizleme kademelerinde değerlendirilebilecek bir artık alınmaktadır.

### ABSTRACT

The copper concentrate produced in Etibank Küre Concentrator contains about 11-13 % Cu. Column Flotation was used to increase the copper content of this concentrate. The grade in the copper concentrate was increased to 18-21 % Cu. A Middling containing 12 % Cu which can be recirculated to column was produced from the column flotation tailings using the conventional flotation. A tailing assaying 5 % Cu could be utilized in the cleaning stages of plant.

- \* Prof. Dr. İTU Maden Fakültesi, Ayazaga, İstanbul
- \*\* Araş. Gör. İTÜ Maden Fakültesi, Ayazaga, İstanbul
- Y.Doç. Dr. İTÜ Maden Fakültesi, Ayazaga, İstanbul
- \* Yüksek Lisans Öğr. İTÜ Maden Fakültesi, Ayazaga, İstanbul

## 1. GİRİŞ

Kastamonu ili Küre ilçesinde bulunan Bakirli Pirit işletmesi %6 Cu içerikli cevherden %0.6 Cu içerikli cevhere kadar değişik kompozisyonlu cevher üretmekte, bu cevherlerle konsantratör çalıştırılmaktadır. Tesiste genelde %12 Cu civarında bakır içeren nihai bakır konsantresi üretilmektedir. Ancak yüksek dereceli ve özel yapılı cevherlerden %17\*ye varan oranlarda Cu içeren konsantreler de zaman zaman alınabilmektedir. 1991 yılı Temmuz ayına kadar tesiste üretilerek stoklanmış olarak bulunan 30 000 ton %11-13 Cu içeren konsantreden alınan numune ile çalışmalar yapılmıştır. Çok ince boyutlara öğütülmüş olarak bekletilen tesis konsantresi, topaklanmış bir yapıda olduğundan, ıslatılarak, mekanik dağıtma ile ve öğütülerek numune orijinal durumuna getirilmeye çalışılmıştır.

Kolon flotasyonu, küçük boyutlu cevherlerde selektiviteyi arttırmak amacıyla ters akım prensibiyle çalışan bir flotasyon tekniğidir. Ayrıca, kolona giren ve çıkan malzemenin kolaylıkla kontrol altında tutulabilmesi nedeniyle otomasyona uygun olması da önemli bir avantajdır. Dünya'da bakır cevherlerinin zenginleştirilmesinde kolon flotasyonu kullanan birçok işletme vardır. Bunlardan en önemlileri: Kanada'daki Gibraltar Madenleri (I. Cu Temizleme Devresi), Falcon Bridge(Cu ve Ni Ayırımı), Inco (Mat Ayırımı), Şili'deki Disputada (III. Temizleme Devresi) ve Amerika'daki Magma Copper (I. Cu Temizleme Devresi) sayılabilir (Finch

ve Dobby, 1990). Küre tesisi bakır konsantresinin Cu tenorunu yükseltmek amacıyla yapılan bu deneysel çalışmada, konsantre yapısı ve özellikleri ortaya konulduktan sonra kolon flotasyonu ve mekanik flotasyon makinası ile temizleme deneyleri yapılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Tesis Konsantresinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri:

Tesis konsantresinden alınan temsili numunenin kimyasal analizi Çizelge 1'de görlmektedir.

Çizelge 1. Tesis Konsantresinin Kimyasal Analizi.

Element	İçerik
Cu (%)	12.34
Pb (%)	0.03
Zn (%)	1.86
Co (%)	0.08
Ni (%)	-
Fe (%)	36.13
S (%)	40.6
Sia (%)	1.9
Ag (ppm)	21.0
Au (ppm)	5.0

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, tesis konsantresinde bol miktarda pirit ve çok az miktarda yantaş bulunmaktadır. Konsantre önemli ölçüde altın içermektedir.

Tesisten elde edilen konsantrenin mineralojik bileşimini ve özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda ilk olarak numune suda iyice karıştırılıp dağıtıldıktan sonra, 0.42 mm açıklıklı elek ile iki boyut grubuna ayrılmıştır. Her iki boyut grubundan temsili ola-

rak alınan numunelerden pelet yapılarak parlak kesitler hazırlanmıştır. Kesitlerin mikroskobik incelemeleri sonucu numunenin büyük bir çoğunluğunu pirit ve kalkopirit minerallerinin oluşturduğu, ayrıca sfalerit, kovelin, kalkozin , markasit, pirotin ve linneit minerallerinin bulunduğu gözlenmiştir. Kalkopirit ve pirit taneleri üzerinde yapılan boyut ölçümleri ile her iki mineralin tane boyutunun 1 ile 30 mikron arasında değiştiği, ortalama tane boyutunun ise 8 mikron dolayında olduğu tesbit edilmiştir. Çok ince taneli kalkopirit ve pirit minerallerinin birbirleriyle kenetlenerek topaklar oluşturdukları ve bunların dağıtma işlemi sonucunda da dağılmadıkları gözlenmiştir. Genellikle bu topakların kenarlarının 10 ile 60 mikron arasında değişen kalınlıklarda bir oksit film tabakasıyla kaplı oldukları tesbit edilmiştir.

Yapılan kesitlerin mikroskobik incelemeleri, pirit ve kalkopirit tanelerinin tamamen serbest halde olduklarını ve genellikle kalkopirit taneleri içinde boyutları 2 ile 25 mikron arasında değişen linneit kristallerine, pirit içinde ise boyutları 1 ile 10 mikron arasında değişen masif gümüş tanelerine rastlanıldığını göstermiştir. Sfalerit tanelerinin içinde ayrılma kapanım halinde kalkopirit taneleri yaygın olarak izlenmekte olup, kalkopiritlerin zaman zaman ayrışarak koveline dönüştükleri gözlenmiştir.

Tesis konsantresinin suda çözündürülmesi ile, %18 ağırlık kaybı ile mevcut bakırın %24'ünün çözeltilmeye geç-

tiği tesbit edilmiştir. Kimyasal analiz, mineralojik incelemeler ve çözünlük deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi ile hesaplanan, tesis konsantresinin yaklaşık mineral bileşimi Çizelge 2'de görölmektedir.

Çizelge 2. Tesis Konsantresinin Mineralojik İLleşimi.

Mineral	(%)
Kalkopirit	27
Pirit	50
Diđer Sülfürler	3
Silikatlar	2
Çözünen Mineraller	18
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

Tesis konsantresinden alınan üç ayrı numune ile, suda ıslatıldıktan sonra, yaş olarak yapılan elek analizi ve fraksiyonel bakır analizi sonuçları Çizelge 3'de görölmektedir.

Çizelge 3. Tesis Konsantresinin Elek Analizi ve Elek Ürünlerinin Bakır İçerikleri.

Boyut Aralığı (mm)	% Miktar			% Cu		
	I	II	III	I	II	III
-0.105+0.074	1.6	2.3	6.7	14.81	9.98	13.35
-0.074+0.053	2.1	4.5	6.4	13.99	11.53	12.23
-0.053+0.038	10.4	9.8	7.8	13.28	11.48	11.85
-0.038	85.9	83.4	79,1	13.79	12.84	13.50
<b>TOPLAM</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>13.7«</b>	<b>12.58</b>	<b>13.28</b>

Üç ayrı temsili numunenin elek analizinde görülen miktar ve bakır tenörü farklılığı, ıslatmada çözünme farkı ve topakların dağıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Aynı durum mineralojik incelemelerde de gözlenmiştir. Bu nedenle daha etkin bir dağıtma işlemi için, deneyler öncesinde tesis konsantresinin öğütülmesi yoluna gidilmiştir. 1 kg numune laboratuvar bilyalı değirmeninde 10, 20 ve 30 dakika öğütülmüş, 38 mikron açıklıklı elekten yaş olarak elenmiştir. Elek analizi sonuçları Çizelge 4'te görülmektedir.

Çizelge 4. 10, 20 ve 30 Dakika Öğütülmüş Konsantrenin Elek Analizi Sonuçları.

Öğütme Süresi	10 dak	20 dak	30 dak
Elek Açıklığı (mikron)	% Miktar	% Miktar	% Miktar
+38	9.62	7.92	5.52
-38	90.38	92.08	94.48
<b>TOPLAM</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

## 2.2. Kolon Flotasyonu Deneyleri:

Kolon flotasyonu deneyleri 72 cm yükseklik, 7x7 cm kesitindeki 3 litre hacimli laboratuvar kolonu ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan laboratuvar kolonu Şekil 1'de şematik olarak görülmektedir. Sistematik deneyler laboratuvar kolonunda 1 kg numuneye, %10 pülp te katı oranında 0.3 kg/cm miktarında hava girişi ile uygulanmıştır. Deney-

lerde kullanılan tesis konsantresi numuneleri laboratuvar bilyalı değirmeninde 10 dakika öğütüldükten sonra, yaklaşık %10 katı oranında kolona beslenmiştir. Kollektor cinsi ve miktarı değiştirilerek mümkün olduğunca yüksek verimle konsantre tenorunun yükseltilmesine çalışılmıştır. Kollektor cinsi olarak, potasyum etil ksantat ve tesiste kullanılan Hoehst firmasının Hostafлот X-231 isimli reaktifi yanında, yine aynı firma tarafından imal edilen ve bakır mineralleri için seçimli reaktif olarak önerilen Hostafлот X-23, M-91 ve LÎB isimli kollektörler kullanılmıştır. Deneylerin koşulları aşağıda ve sonuçları da Çizelge 5 ve 6'da verilmektedir.

Deney koşulları:

pH : 11.0-11.5

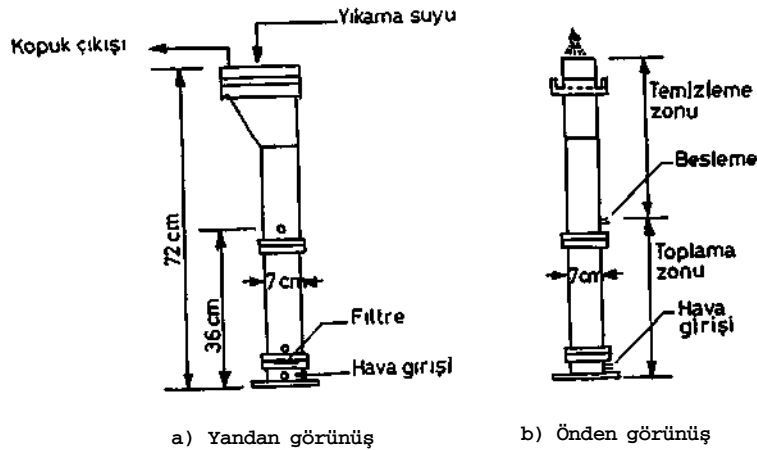
Ca(OH) : 3000 g/t

Kollektor reaktif : ksantat 100 g/t, diğerleri 50 g/t

Köpürtücü reaktif : flotanol D.14 40 g/t

Kıvam süresi : 10 dakika

Flotasyon süresi : 2 dakika



Şekil 1. Deneylerde Kullanılan Laboratuvar Tipi Kolon Flotasyon Hücresinin Şematik Olarak Görünümü.

Çizelge 5. Değişik Kollektörlerle Kolon Flotasyonu Sonuçları.

Kollektor Cinsi	Ksantat			LIB			M-91			X-23		
	Ürünler	M %	Cu %	V %	M %	Cu %	V %	M %	Cu %	V %	M %	Cu %
Konsantre	10.0	18.26	13.5	11.8	19.38	17.7	8.5	21.32	13.6	4.8	18.96	6.7
Ara ürün	35.0	17.48	45.3	20.6	16.81	26.8	15.5	15.22	17.8	22.2	17.62	29.0
Artık	SS.O	10.09	41.2	67.6	10.60	55.5	76.0	11.99	68.6	73.0	11.90	64.3
TOPLAM	100.0	13.49	100.0	100.0	12.91	100.0	100.0	13.28	100.0	100.0	13.51	100.0
Birleştirilmiş sonuçlar												
Konsantre	45.0	17.65	58.8	32.4	17.75	44.5	24.0	17.38	31.4	27.0	17.86	35.7
Artık	55.0	10.09	41.2	67.6	10.60	55.5	76.0	11.99	68.6	73.0	11.90	64.3
TOPLAM	100.0	13.49	100.0	100.0	12.91	100.0	100.0	13.28	100.0	100.0	13.51	100.0

Çizelge 6. Hostaflot X-231 ile Kolon Flotasyon Deneyi Sonuçları.

Ürünler	% Miktar	% Cu	% Verim
Konsantre	10.6	18.81	14.6
Araürün	34.1	15.19	37.9
Artık	55.3	11.76	47.5
Toplam	100.0	13.68	100.0
BİRLEŞTİRİLMİŞ SONUÇLAR			
Konsantre	44.8	16.04	52.5
Artık	55.2	11.76	47.5
Toplam	100.0	13.68	100.0

Çizelge 5 ve 6'da görüldüğü gib., kolon flotasyonu ile konsantre tenörleri %18-21'e yükselmekte, fakat araürünlerin de ilavesi ile %17.5-18 Cu içeren konsantreler %40-60 arasında bakır kazanma verimleri ile elde edilebilmektedir.



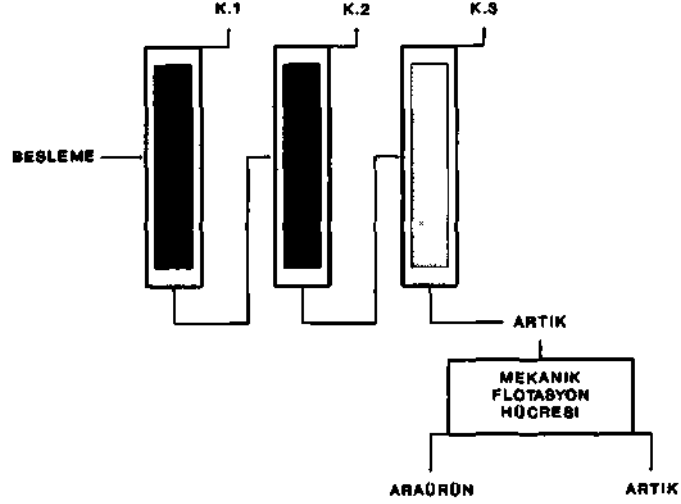
Ayrıca reaktif miktarının (25-400 g/t) ve flotasyon süresi artışının konsantre tenörü ve verim üzerinde önemli derecede etkisi olmadığı (Yalçın 1992, Küre Projesi 1992) ve artıktaki bakır içeriğinin ancak %10'a düşürülebildiği görüldüğünden, değişik devre tertipleri ile kolon flotasyonu artığındaki bakırın azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu deneylerde, tesiste kullanılan Hostaflot X-231 tipi kollektörle artık Cu içeriğini düşürmek üzere üç kademe halinde konsantre alınmış, temizleme işlemi yapılmamıştır (Şekil 2). Üç kademeli flotasyona rağmen, artığın bakır içeriğinin %9 Cu olduğu görülmektedir. Kolon flotasyon artığının bakır içeriğini düşürmek amacıyla mekanik hücrede yüzdürme işlemi yapılmıştır. Kolon + mekanik flotasyon deney koşulları aşağıda, sonuçları ise Çizelge 7'de verilmektedir.

Deney koşulları:

	Kolon 1.Devre	Kolon 2.Devre	Kolon 3.Devre	Mek. Hücre Artık Flot.
pH	12	12	12	12
Ca(OH) <sub>2</sub>	3000	65	65	65
Hostaflot X-231	55	55	55	55
Down Froth-250	23	23	23	
Kıvam Süresi	15	15	15	15
Flotasyon Süresi	20	20	15	5

Çizelge 7'de üç kademe halinde alınan konsantrenin %63.9 bakır kurtarma verimi ile %16 Cu içerdiği hesaplanabilir. Kolon flotasyonu artığının mekanik flotasyon hücrelerinde işleme sokulması ile, kolon flotasyonuna beslenen malzemeye benzer, %12 Cu içeren bir konsantre alınmaktadır.

%5 civarında bakır içeren bu devrenin artığı ise, konsantratör temizleme kademeleri arasında değerlendirilebilecek niteliktedir. Kolon flotasyonu işlemi ile kazanılan % 16 Cu içeren konsantre Çizelge 6'da görüldüğü şekilde temizlendiğinde %18-19 Cu içeren bir ürün alınabilecektir.



Şekil 2. Kolon + Mekanik Flotasyon Deneyi Akım Şeması,

çizelge 7. Üç Kademeli Kolon Flotasyonu Sonuçları.

Ürünler	% Miktar	% Cu	% Verim
Konsantre 1	18.6	16.98	25.3
Konsantre 2	17.7	16.46	23.3
Konsantre 3	13.7	13.96	15.3
Araürün	29.7	11.83	28.1
Artık	20.3	4.95	8.0
<b>Toplam</b>	<b>100.0</b>	<b>12.50</b>	<b>100.0</b>
<b>BİRLEŞTİRİLMİŞ SONUÇLAR</b>			
Konsantre	36.3	5.73	48.6
Araürün	43.4	12.50	43.4
Artık	20.3	4.95	8.0
<b>Toplam</b>	<b>100.0</b>	<b>12.50</b>	<b>100.0</b>

### 3. SONUÇLAR

Küre Bakirli Pirit İşletmesi'nde üretilen bakır konsantresinin tenorunun yükseltilmesine yönelik olarak, %11-13 Cu içerikli konsantre ile yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Tesisten elde edilen konsantrenin mineralojik incelemelerinde, çok ince taneli kalkopirit ve pirit minerallerinin birbirleriyle kenetlenerek topaklar oluşturduğu gözlenmiştir. Genellikle bu topakların kenarları 10 ile 60 mikron arasında değişen kalınlıklarda oksit film tabakası ile kaplanmıştır. Kalkopirit ve pirit taneleri üzerinde yapılan boyut ölçümleri ile her iki mineralin tane boyutunun 1 ile 30 mikron arasında değiştiği, ortalama tane boyutunun 8 mikron olduğu saptanmıştır.

Cevherde bol miktarda pirit bulunması, pirit ve bakirli mineraller arasındaki karmaşık yapı, alterasyon ve oksitlenme durumu bu cevherde ayırmayı güçleştiren belli başlı faktörlerdir. Deneylerde, selektif bir ayırma amacıyla, küçük boyutlu cevherlerde başarı ile uygulanabilen (Reis, 1991) kolon flotasyon tekniği kullanılmıştır. Ayrıca ksantatlar yerine bakirli mineraller için daha seçimli olan ve piriti yüzdürmeyen dithiofosfat ve fosfin tipi (Hocst,1985) kollektörlerin kullanımı yoluna gidilmiştir.

Sonuç olarak, Küre konsantratöründe üç kademeli temizleme ile üretilen %11-13 Cu içerikli konsantre, iki kademe halinde kolon flotasyonunda temizlendiğinde, %18-20 Cu içeren bir nihai konsantre alınabilmektedir. Kolon flotasyon-

yonu deneylerinde kullanılan kolon hücresi yüksekliğinin (72 cm) endüstride kullanılan kolon yüksekliğine göre (9-15 m) çok kısa olması nedeniyle kolon flotasyon artığı yeniden kolona beslenerek ve üç kademe halinde konsantre alınarak artıktaki bakır içeriğinin azaltılmasına çalışılmıştır. Üç kademe flotasyona ilave olarak, mekanik hücrede yapılan flotasyonla artığın bakır içeriği %9'dan %5'e düşürülmektedir. Bu flotasyondan elde edilen %12 Cu içerikli konsantre, kolon flotasyonuna beslenecek özellikte, artık ise, tesisin temizleme devrelerinde işlem görecektir. Böylece, Küre flotasyon tesisinde üretilen %12-13 Cu içeren konsantreye kolon flotasyonunun uygulanması ile, %40-60 Cu kazanma verimi ile satılabilir nitelikte %18-20 Cu içeren bir konsantre üretilebilmekte, kolon artıkları tesisin mekanik flotasyon devresinde değerlendirilebilmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

FINCH, J.A., DOBBY G.S., 1990; Column Flotation, Pergamon Press, Oxford.

REIS, J.B., PERES, A.E.C., 1991; Industrial Application of Flotation Columns in the Concentration of a Sulfide Ore at Mineracao Manati Ltda. Brazil, Column \*91, Volume 2.

YALÇIN S., 1992; Küre Bakirli Pirit İşletmesi Flotasyon Tesisi Bakır Konsantresi Tenorunun Kolon Flotasyonu ile Arttırılması, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Bitirme Ödevi.

—, 1992, Küre Bakirli Pirit İşletmesi Flotasyon Tesisi Bakır Konsantresi Tenorunun Kolon Flotasyonu ile Yükseltilebilirle Olanaklarının Araştırılması Projesi, İ.T.Ü. Yer Bilimleri ve Yeraltı Kaynakları Uygulama Araştırma Merkezi (Yayımlanmamış Rapor).

—, Ağustos 1985, Hoechst Katologları.