

## ÇAYELİ BAKIR-ÇİNKO CEVHERLERİNİN FLOTASYON YOLU İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Serap SAPMAZ\* – İbrahim YAVUZEL\*\* – Nedim CİNGÖZ\*\*\*

### Özet

**Bu** çalışma, Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan Çayeli kompleks sülfürlü bakır - çinko cevherlerinin flotasyon araştırmalarını kapsamaktadır.

Araştırılan cevher yatağı "sarı cevher", "siyah cevher" ve "dissémine cevher" diye üç değişik mineralizasyon göstermektedir. Her üç tip cevherde selektif flotasyon metodu ile bakır ve çinkoyu birbirinden ayırmak mümkün olamamıştır.

Bundan dolayı bulk flotasyon tekniğinin uygulanmasına karar verilmiş ve muvaffak olunmuştur.

### Abstract

This research is devoted to the investigation of flotation testwork of a copper-zinc complex sulfide ore which is located at Çayeli in North-eastern Anatolia.

Detected ore reserve shows different mineralization characteristics which can be classified under three types as "yellow ore", "black ore" and "disseminated ore", was found that the selective flotation of copper and zinc is not possible for each case.

Therefore, the application of bulk flotation technique was decided and succeeded.

### Giriş

Bu çalışma, Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan Çayeli - Madenköy kompleks sülfürlü bakır - çinko - kursun cevherinin flotation

(\*) Maden T. Mühendisi, M.T.A. Enstitüsü - Ankara.

(\*\*) Kimya Y. Mühendisi, M.T.A. Enstitüsü - Ankara.

(\*\*\*) Maden Y. Mühendisi, M.T.A. Enstitüsü - Ankara.

tasyon metodu ile zenginleştirme çalışmalarının esaslarını ihtiva eder.

Araştırılan cevher yatağı "siyah cevher", "sarı cevher" ve "dissémine cevher" diye ayırabileceğimiz üç değişik mineralizasyon karakteri göstermektedir. Bu çalışma M.T.A. Enstitüsünce yapılmakta olan geniş bir araştırma programına dahil olup, sadece zenginleştirme etüdlerinin deneylerini ihtiva etmektedir.

Sondaj çalışmaları halen devam etmekte olup, yaklaşık olarak 32 tane sondajın yapılarak toplam 6800 metreye ulaşılması kararlaştırılmıştır. 9.800.000 ton görünen ve muhtemel rezervle beraber 20.800.000 ton toplam rezervin olduğu tahmin edilen bu sahada, görünür rezervin ortalama bakır tenoru %2,032'oir.

Çalışmalar sondaj karotlarından alınan numuneler üzerinde yapılmıştır.

#### Çayeli Bakır - Çinko Cevherinin Özellikleri

Karakteristik numuneler üzerinde M.T.A. Enstitüsünce yapılan kimyasal analiz neticelerine göre cevherlerin büşününin,

##### Sarı Cevher,

|    |         |                  |         |
|----|---------|------------------|---------|
| Cu | % 4,68  | SiO <sub>2</sub> | % 1,48  |
| Zn | % 2,030 | CaO              | % 0,003 |
| Pb | Eser    | Ni               | Hiç     |
| Fe | %38,81  | Al               | % 0,7   |
| S  | %45,5   | Ag               | % 0,003 |

##### Siyah Cevher,

|     |        |                                |         |
|-----|--------|--------------------------------|---------|
| Pb  | % 0,6  | Ag                             | % 0,007 |
| Zn  | %12,74 | S                              | %40,43  |
| Cu  | % 3,76 | CaO                            | % 0,10  |
| Fe  | %29,03 | Co                             | —       |
| SiO | % 0,68 | Ni                             | —       |
|     |        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | —       |

Dissémine Cevher,

|                  |        |     |          |
|------------------|--------|-----|----------|
| Cu               | % 2,06 | Pb  |          |
| Zn               | % 1,12 | Ni  |          |
| Fe               | %30,72 | CaO | % 0,80   |
| SiO <sub>2</sub> | %13,69 | Co  | % 0,007  |
| S                | %33,67 | Al  | % 3      |
|                  |        | Ag  | % 0,0007 |

olduğu anlaşılmıştır.

Yine M.T.A. Enstitüsü lâboratuvarlarında yapılan mineralojik etüdlere göre, cevherlerin mineralizasyonun, aşağıdaki durumlarda olduğu görülmüştür.

Sarı Cevher; pirit, kalkopirit, az miktarda çinkoblend ve galenit cevherleşmesi göstermektedir.

Numune büyüklüğü 0,005 mm ile 2,0 mm arasında değişen (büyük taneler hâkim durumda) ve kısmen kçenemorf, kısmen de idiomorf oluşumlar halinde pirit, büyüklüğü 0,001 mm ile 0,15 mm arasında değişen ksenomorf oluşumlar halinde çinkoblend (genellikle çok az miktarda 0,001 mm büyüklüğünde kalkopirit ayrıntıları ihtiva etmekte) çok az miktarda galenit ve gang minerali olarak da büyüklüğü 0,005 mm ile 0,15 mm arasında değişen baritten ibarettir.

Siyah Cevher; pirit, çinkoblend, kalkopirit ve az miktarda galenit cevherleşmesi göstermektedir. Numunede, büyüklüğü 0,005 mm ile 1,00 mm arasında değişen ve kısmen jel (koloidal) tekstür, kısmen de idiomorf oluşumlar halinde pirit (içerisinde büyüklüğü 0,008 mm üe 0,02 mm arasında değişen çinkoblend ve kalkopirit sokulmaları görülmüştür), büyüklüğü 0,008 mm ile 1,5 mm arasında değişen kalkopirit ayrıntıları, büyüklüğü 0,005 mm arasında çok az miktarda galenit sokulmaları tesbit edilmiştir; çok az miktarda büyüklüğü 0,0005 mm ile 0,1 mm arasında değişen galenit ve gang minerali olarak da büyüklüğü 0,01 mm ile 0,15 mm arasında değişen barit bulunmuştur.

Dissémine Cevher; pirit, kalkopirit, çinkoblend ve galenit cevherleşmesi göstermektedir. Numune büyüklüğü 0,01 mm ile

1,0 mm arasında değişen kısmen ksenomorf, kısmen de idiomorf oluşumlar halinde pirit, büyüklüğü 0,01 mm ile 1,0 mm arasında değişen ksenomorf oluşumlar halinde çinkoblend (içerisinde büyüklüğü 0,002 mm ile 0,01 mm arasında değişen az miktarda kalkopirit tesbit edilmiştir), büyüklüğü 0,02 mm ile 1,00 mm civarında değişen ksenomorf oluşumlar halinde kalkopirit (çinkoblende içinde az miktarda 0,002 mm ile 0,01 mm'lik ayrıntılar halinde, pirit içerisinde de 0,01 mm ile 0,03 mm arasında değişen sonradan pirit boşluklarına doldurulmuş durumda bulunmakta), az miktarda büyüklüğü 0,01 mm üe 0,1 mm arasında değişen ksenomorf oluşumlar halinde kalkopirit ve gang mineralleri olarak da kil mineralleri, mikro oluşumlar halinde karbonattan müteşekkil olduğu görülmüştür.

Yapılan kimyasal analiz ve mineralojik tâyinlerin neticelerine göre her üç cevher de bakır cevheri olarak adlandırılabilir.

#### Zenginleştirme Deneyleri

Bu araştırmadan maksat, çinkonun, kurşunun, piritin ve bakırın, hangi şartlar dahilinde flotasyon usulü ile konsantre edilebileceğini ve bu şartların pratik bakımdan elverişli olup olmayacağını tâyin etmektedir.

Flotasyon tekniğinde iki çeşit yol takip edilmiştir. Birincisi, piritin, çinkonun ve gang minerallerinin bastırılarak bakırın yüzdürülmeye çalışıldığı selektif flotasyon tekniği, diğeri ise gang ve piritin bastırılarak, çinko ve bakırın beraber yüzdürüldüğü bulk flotasyon tekniğidir.

Numuneler çubuklu değirmene 1:1 katı sıvı oranında verilmiştir. Bu denemeler için Denver Batch ismi verilen çubuklu değirmen kullanılmıştır. Bu değirmende çapları 1,5-2,5 cm arasında olan ve toplam ağırlıkları 27,6 kg olan demir çubuklar kullanılmıştır. 15 - 18°C civarında yapılan bütün deneylerde pH'sı 7,0 - 7,4 olan ve (100 - 300) ppm kalsiyum iyonları ihtiva eden âdi musluk suyu kullanılmış ve bunun kompozisyonunun deneylere önemli derecede etki etmediği görülmüştür. Reaktiflerin %1'lik solüsyonları hazırlanmış ve el ile ilâve edilmiştir.

### Elek Analizleri

Öğütme işlemleri çubuklu değirmende, katı-sıvı oranı 1:1 alınarak yapılmıştır. Denemelerden elde edilen elek analizi sonuçları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

**Tablo 1 — Sarı Cevhere Ait Elek Analizleri**

| Tane iriliği (meş) | Öğütme zamanı (dakika) |       |       |       |       |
|--------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 8                      | 12    | 16    | 20    | 24    |
| + 65               | 99,65                  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| +100               | 94,30                  | 99,59 | 99,89 | 99,94 | 100,0 |
| + 150              | 75,04                  | 93,06 | 98,63 | 99,68 | 99,89 |
| + 200              | 55,65                  | 71,08 | 84,53 | 93,96 | 97,33 |
| +270               | 45,62                  | 56,37 | 67,13 | 77,78 | 84,73 |
| +325               | 39,02                  | 47,07 | 55,57 | 64,99 | 70,44 |

Elek analizleri sonucunda cevherin %80'i **270** meş altma geçecek şekilde, 21 dakika öğütülmesi uygun görülmüştür.

**Tablo 2 — Siyah Cevhere Ait Elek Testleri**

| Tane iriliği (meş) | Öğütme zamanı (dakika) |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 8                      | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 22    |
| + 65               | 99,5                   | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| +100               | 95,2                   | 99,12 | 99,16 | 99,89 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| +150               | 79,4                   | 90,07 | 95,01 | 98,35 | 99,09 | 99,86 | 99,94 |
| +200               | 58,5                   | 69,08 | 76,78 | 84,44 | 91,51 | 97,39 | 99,05 |
| +270               | 49,4                   | 56,82 | 62,89 | 68,64 | 76,96 | 87,19 | 93,03 |
| +325               | 43,2                   | 48,38 | 54,30 | 58,34 | 65,93 | 75,13 | 82,38 |

Siyah cevhere ait elek analizleri sonucunda, cevherin %80'i 270 meş altma geçecek şekilde, 18 dakika öğütülmesi uygun görülmüştür.

Dissémine cevhere ait elek analizleri sonucunda ise, cevherin %80'i 270 meş altma geçecek şekilde 28 dakika öğütülmesi uygun görülmüştür.

Selektif flotasyonda çinkonun her üç cevherde de bastırılması mümkün olmamıştır. Sarı ve dissémine cevherde **bu** çok

daha imkânsız olduğu için bulk flotasyon tatbik edilmiştir. Sarı ve dissémine cevher için uygulanan flotasyon tekniğine ne tam manasıyla selektif flotasyon ne de bulk flotasyon diyebiliriz. Netice olarak bu iki tip cevherde tatbik edilen flotasyon tekniğine yarı selektif veya yarı bulk flotasyon tekniği denebilir. Siyah cevherde aynı durum meydana gelmiştir. İlk önce selektif flotasyon tekniği tatbik edilmiş, daha sonra da bulk flotasyon metodunun tatbikine karar verilmiştir.

Tablo 3 — Dissémine Cevhere Ait Elek Testleri

| Tane iriliği<br><meş) | öğütme zamanı (dakika) |       |       |       |       |       |
|-----------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 8                      | 12    | 16    | 20    | 25    | 40    |
| + 65                  | 95,85                  | 99,53 | 99,70 | 100,0 | —     | —     |
| +100                  | 78,16                  | 94,64 | 98,63 | 99,8  | 100,0 | —     |
| + 150                 | 58,70                  | 74,57 | 88,27 | 96,76 | 99,27 | 100,0 |
| +200                  | 43,30                  | 53,51 | 64,31 | 77,06 | 87,68 | 99,44 |
| + 270                 | 35,63                  | 42,93 | 50,85 | 60,16 | 69,25 | 95,26 |
| +325                  | 30,49                  | 36,11 | 42,65 | 50,25 | 57,38 | 82,45 |

flotasyon Testleri Sonucunda Elde Edilen En İyi Neticeler

1. Sarı Cevher

Deney: 1

1,0 kg/t NasCOs

1,0 " Na<sup>^</sup>SOa

Değirmen: 21 dakika öğütme

1,0 kg/t ZnSO<sub>4</sub> 3 dakika

0,5 " NaCN 2 "

0,3 " Z-3 3 " (Potasyum etil ksantat)

6 damla Dow. Froth 250 (%10 kg) 1 dakika

Yüzdürme müddeti 16 dakika

1. yıkama flotasyon müddeti 9 "

0 » » » 7 "

Bundan sonra tekrar selüle 0,5 kg/t CuSO<sub>4</sub> ve 0,02 kg/t (2-3 ve 5 damla %10'luk) Dow. Forth atılarak tekrar 10 dakika

yüadürülmüştür. Bu çinkonun yüzdürülmesi için yapılmıştır. Elde edilen netice ise aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

| Ü r ü n       | % Cu  | % Zn | Dağılımlar |        |
|---------------|-------|------|------------|--------|
|               |       |      | % Cu       | % Zn   |
| Cu Konsantre  | 23,33 | 6,38 | 70,3       | 48,3   |
| Cu Ara mahsul | 7,46  | 5,52 | 17,1       | 31,9   |
| Zn Konsantre  | 4,30  | 6,58 | 1,2        | 4,3    |
| Zn Ara mahsul | 2,06  | 1,05 | 1,6        | 2,1    |
| A r t ı k     | 0,66  | 0,36 | 9,8        | 13,4   |
| T o p l a m   | 4,72  | 1,88 | 100,00     | 100,00 |

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi, neticelerde herhangi bir selektivite elde edilememiştir. Bundan dolayı diğer deneylerde bakır ve çinko bulk flotasyon yoluyla alınmıştır.

#### Deney: 2

10.00 kg/t kireç

Değirmen : 27 dakika öğütme

pH: 11,5

80 gr/t Z-3

5 dakika

10 damla %10 Dow Froth 250 : 1 "

Yüzdürme müddeti : 16 "

1. yıkama flotasyon müddeti : 9 "

2. " " : 5 "

Bu testin sonucunda elde edilen netice ise aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

| Ü r ü n     | % Co  | % Zn | Dağılımlar |        |
|-------------|-------|------|------------|--------|
|             |       |      | % Cu       | % Zn   |
| Konsantre   | 19,85 | 8,60 | 75,2       | 76,8   |
| Ara mahsul  | 3,74  | 1,29 | 10,7       | 13,5   |
| A r t ı k   | 0,59  | 0,30 | 8,1        | 9,7    |
| T o p l a m | 4,50  | 1,93 | 100,00     | 100,00 |

## 2. Dissémine Cevher

| Ü r ü n     | % Ca   | % Zn   | Dağılımlar |       |
|-------------|--------|--------|------------|-------|
|             |        |        | % Cu       | % Zn  |
| Konsantre   | 18,22  | 9,08   | 70,7       | 80,0  |
| Ara mahsul  | 3,51   | 1,12   | 19,9       | 14,4  |
| A r t t i k | 0,26   | 0,069  | 9,4        | 5,6   |
| T o p l a m | (2,19) | (0,97) | 100,0      | 100,0 |

Öğütme zamanı: 28 dakika (%80, –270 meş)

pH - 11,5

Kullanılan reaktifler:

KEX: 30 g/t (Potasyum etil ksantat)

Kireç: 6,5 g/kg

D.F. 250: 6 damla/kg (Dow-Froth 250)

Flotasyon zamanı | 10 dakika

1. yıkama zamanı | 5 "

2. " " | 5 "

3. " " | 5 "

## Deney: 2

| Ü r ü n     | % Ou   | % Zn | Dağılımlar |       |
|-------------|--------|------|------------|-------|
|             |        |      | % Cu       | % Zn  |
| Konsantre   | 19,08  | 9,24 | 69,8       | 77,8  |
| Ara mahsul  | 2,92   | 1,02 | 14,2       | 11,5  |
| A r t t i k | 0,41   | 0,12 | 16,0       | 10,7  |
| T o p l a m | (2,10) | 0,9  | 100,0      | 100,0 |

öğütme zamanı: 28 dakika (%80, –270 meş)

pH = 11,5

Kullanılan reaktifler:

NaAF: 30 g/t (Sodyum Aerofloat)

Kireç: 10 g/kg

D.F. 250: 6 damla/kg (Dow. Froth 250)

Flotasyon zamanı | 8 dakika

1. yıkama zamanı | 8 "

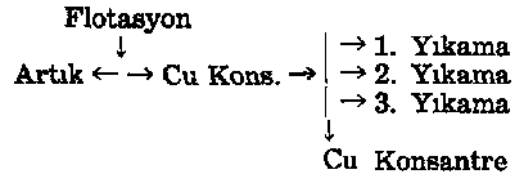
2. " " | 8 "

3. " " | 4 "



### 3. Siyah Cevher

1 kg/t ZnSO<sub>4</sub> - 2 kg/t Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - 0.5 kg/t Na<sup>+</sup>SO<sub>4</sub>  
18 dakika değirmende öğütülmüştür,  
pH = 7,00 - 7,40  
0,3 kg/t NaCO<sub>3</sub> : 3 dakika  
5 damla D.F. 250 (%10/kg) : 1 "  
80 g/t Aerofloat 238 : 4 "

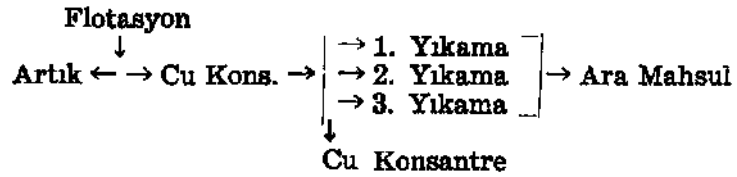


Bu testin sonucunda ise elde edilen netice aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

| Ü r ü n     | % Cu  | % Zn  | Dağılım Cu |
|-------------|-------|-------|------------|
| Konsantre   | 17,08 | —     | 45,20      |
| Ara mahsul* | 5,25  | —     | 10,10      |
| A r t ı k   | 1,91  | —     | 44,70      |
| T o p l a m | 3,76  | 12,74 | 100,00     |

Test: 2

1 kg/t ZnSO<sub>4</sub> - 2 kg/t N<sup>+</sup>CO<sub>3</sub> - 0,5 kg/t N<sup>+</sup>SO<sub>4</sub>  
18 dakika değirmende öğütülmüştür.  
pH = 7,00 - 7,40  
0,3 kgt NaCN : 3 dakika  
100 g/t K.E.X : 4 "  
5 damla D.F. 250 (%10/kg) : 1 "



(\*) Ara mahsul yıkama artıklarının toplamıdır.

Bu deneyin sonucunda ise elde edilen netice aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

| Ü r ü n     | % Ca  | % Zu  | Dağılım Cu |
|-------------|-------|-------|------------|
| Konsantre   | 14,83 | 7,79  | 43,22      |
| Ara mahsul  | 3,99  | 13,50 | 14,30      |
| A r t ı k   | 2,17  | 13,60 | 42,48      |
| T o p l a m | 3,76  | 12,74 | 100,00     |

Bu iki deneyin neticelerinden de görüldüğü gibi selektif flotasyon tekniği ile çinko ve pirit bastırılarak bakırın kurtarılmasının çok zor olduğu anlaşılmıştır. Bu denemelerden sonra bulk flotasyon tekniği ile Cu ve Zn'nun beraber yüzdürülmesine çalışılmıştır.

Bulk flotasyon sırasında izlenen yol ve neticeleri ise aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

öğütme: 18 dakika

pH = 11,50

100 gr/t K.E.X

150 " A.F. 238 : 4 dakika

3 damla Dow Froth 250/kg : 1 dakika

Flotasyon

—————Cu-Zn konsantre

1. Yıkama

2. Yıkama

-> Ara Mahsul

/

Cu-Zn Konsantre

Sonradan 1. ve 2. Yıkama birleştirilerek ara mahsul elde edilmiştir.

| Ü r ü n     | % Cu | % Zu  | Dağılımlar |        |
|-------------|------|-------|------------|--------|
|             |      |       | % Cu       | % Zn   |
| Konsantre   | 7,24 | 29,2  | 74,62      | 90,96  |
| Ara mahsul  | 2,74 | 3,44  | 19,18      | 7,28   |
| A r t ı k   | 0,69 | 0,65  | 6,20       | 1,76   |
| T o p l a m | 3,76 | 12,74 | 100,00     | 100,00 |

Tablodan da anlaşılacağı üzere bulk flotasyon selektif flotasyondan daha başarılı olmuştur. Siyah cevher üzerindeki çalışmalar hâlâ devam etmektedir.

#### Netice ve Tavsiyeler

Çayeli MadenkÖy kompleks sülfür cevherinin flotasyon neticeleri göstermiştir ki her üç cevher tipinde de (sarı, dissemine ve siyah) selektif flotasyon üe çinkonun bakırdan ayrılması mümkün olamamıştır. Bundan dolayı bulk flotasyon metodunun tatbikine karar verilmiş ve bunda da muvaffak olunmuştur.

Böylece üç tip Çayeli - MadenkÖy bakır - çinko cevheri bulk flotasyon yoluyla zenginleştirilmiş ve takriben %75 randımanla, %20 Cu ve %7 Zn ihtiva eden konsantreler almak mümkün olmuştur. Bu randımana ana mahsul dahil değıdir.

Bundan sonraki deneylerde bu üç tip cevher birbirine belirli oranlarda karıştırılarak kombine cevher flotasyonuna gidilecek ve optimum bulk flotasyon şartlarının tesbitine çalışılacaktır.

Not: Bu üç cevher tipi, yazarlar tarafmdan O.D.T. Üniversitesinde master tezi çalışması olarak hazırlanmaktadır. Çalışmalarda tezi yöneten Sayın Prof. Raşit TOLUN ve Sayın Öğr. Görevlisi Gülhan Özbayoğlu'na yazarlar teşekkürlerini sunarlar.

