



MURGUL-ÇAKMAKKAYA SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERİ KABA FLOTASYONUNDA ORTAM SUYU SICAKLIĞININ ETKİSİ

İsmail BENTLİ* - Prof. Dr. Ahmet YAMIK*
- Osman ŞAN** - Nihat ÖZBAYRAK*
Doç. Dr. Muammer KAYA*** -

ÖZET

Türkiye'nin önemli bakır yataklarından biri olan Artvin, Murgul-Çakmakkaya sülfürlü bakır cevherlerini değerlendiren Karadeniz Bakır İşletmeleri (K.B.İ.) flotasyon tesisinde otomasyon sistemine geçilmiştir. Ancak bur tesiste flotasyon ortam suyu sıcaklığı kontrol edilmemektedir. Bölgenin yaz ve kış ayları ısı farkı 45 °C civarında olduğu dikkate alındığında flotasyon verimi bu ısı farkından etkilenecektir. Bu çalışmada flotasyon ortam suyu sıcaklığı 5, 13, 20, 27, 40 °C arasında değiştirilerek laboratuvar ölçekli kaba flotasyon devresinin tenör ve verim üzerine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, düşük sıcaklıklarda flotasyon yapıldığında bakırın tenörü ve verimi düşük olmakta yüksek sıcaklıklarda ise tenör düşük, verim ise yükselmektedir. Ortam suyu sıcaklığı 20 °C olduğunda ise en yüksek bakır tenörü en düşük silikat miktarıyla elde edilmiştir.

* Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kutahya

** Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Kutahya

*** Osmangazi Üniversitesi, Müh. – Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

1. GİRİŞ

Murgul-Çakmakkaya flotasyon tesisi Artvin ilinde bulunmaktadır. Artvin ilinin iklim şartlarına göre yıllık ısı değerleri 37.6 °C ile -9.2 °C arasında değişmektedir. Kar yağışının görüldüğü gün sayısı 58, karla örtülü gün sayısı ise 95 olmaktadır (Çakan, 1994). Burada dağlık bölgelerde özellikle kış aylarında sert iklim koşulları hüküm sürmektedir. Murgul-Çakmakkaya flotasyon tesisi kıyıdan uzak yüksek rakımlı dağlık bir bölgede bulunmaktadır. Bu iklim şartlarına göre Murgul-Çakmakkaya flotasyon tesisinde kullanılan su, mevsimlik değişimlerden büyük oranda etkilenecektir.

Flotasyon tesislerinde büyük hacimli su kullanılır, bu suyun sıcaklığı flotasyon verimini doğrudan etkiler. En uygun flotasyon suyu sıcaklığının 12-22 °C arasında olması gerektiği belirtilmektedir (Atak, 1982). Ancak, ortam suyu sıcaklığının kontrol altında tutulması ekonomik açıdan değerlendirilmelidir. Flotasyon suyu sıcaklığının yüksek olması bazı kimyasal reaksiyonların hızını artırabilir. Ayrıca, pülp suyu sıcaklığının yüksek olmasının aşağıdaki avantajları da vardır (Hukki, 1970):

- Şlam kaplama azalır,
- İnce taneler daha kolay yüzer,
- Reaktif tüketimi azalır,
- Reaktif adsorpsiyon süresi kısalmır.

O'Connor vd. (1985) pülp suyu sıcaklığının reaktif adsorpsiyon kinetiği üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada oda sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda reaktif adsorpsiyonunun daha fazla olduğunu, yüksek sıcaklıklarda ise reaktif desorpsiyonunun artmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Yine pülp suyu sıcaklığının 5 °C'den 65 °C'ye çıkarılmasıyla gang randımanının Na-etil-ksantat ile %30'lardan %15'lere kadar düştüğünü ve pülp suyu sıcaklığı arttıkça daha az pülp suyu ve gangin konsantreye taşındığını gözlemişlerdir.

Pülp suyunu ısıtmak randıman veya tenörü arttırsa da bu işlem oldukça maliyetlidir. Kaya (1985) ılık köpük yıkama suyu ilavesiyle konsantreye karışan gang miktarını azaltmıştır. Köpük yıkama suyu sıcaklığı 12 °C'den 36 °C'ye çıkartıldığında gang ve konsantrede su kazanımı önemli ölçüde azalmış; böylece, konsantre tenöründe artış sağlanmıştır. Ilık yıkama suyu, köpükteki kabarcıklar arası suyun akıcılığını artırarak gang minerallerini yıkayıp pülp bölgesine geri göndermektedir. Böylece köpükle kabarcıklar arasında sürüklenen gang minerallerinin konsantreye kaçması önlenmiştir. Endüstriyel uygulamalarda flotasyon suyu sıcaklığının artırılması Mo-Cu ayırımı, hematit konsantresi temizleme (Cleveland Cliffs Iron Company, Michigan), nadir toprak elementleri flotasyonu (Molybdenum Corporation, Mountain Pass Mill, California), SO₂ ile ZnS-FeS₂ ayırımı (Brunswick Mining, Norando, Bathurst, Kanada) yapan tesislerde uygulanmaktadır.

Ülkemizin bakır ihtiyacının %35'ini karşılayan KBİ Murgul-Çakmakkaya tesisi 1993 yılında tam otomasyon sistemine geçmiş olmasına rağmen bu tesiste mevsim sıcaklıklarının flotasyon verimine etkisini önleyici tedbirler alınmamıştır. Bu çalışmada flotasyon suyu sıcaklığı 5, 13, 20, 27 ve 40 °C olarak seçilmiş ve

laboratuvar ölçekli kaba flotasyon devresinde sıcaklığın bakır, kükürt ve silikat verimi ile tenörüne olan etkileri araştırılmıştır.

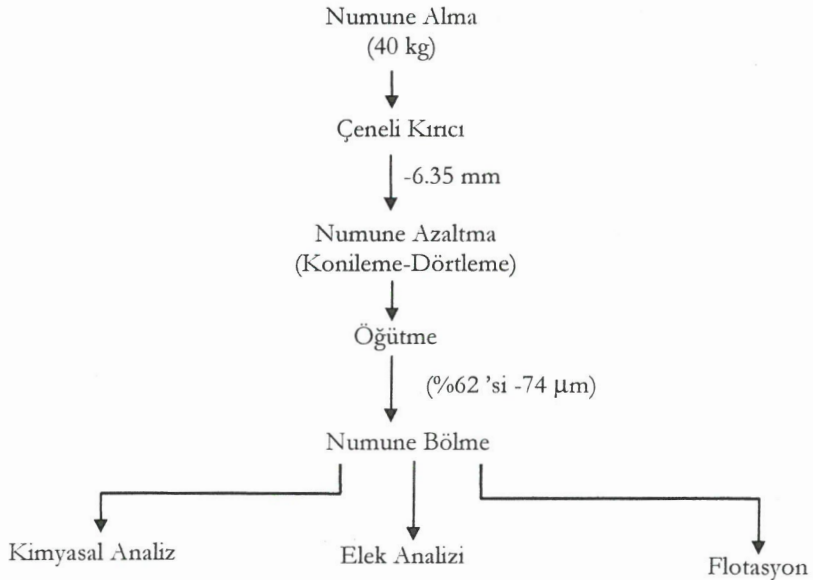
2. MALZEME ve METOD

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme, K.B.İ. Murgul-Çakmakkaya flotasyon tesisi besleme bandından Ocak 1999 tarihinde alınmıştır. Bu malzemenin mineralojik bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. K.B.İ. Murgul-Çakmakkaya sülfürlü bakır cevherinin mineralojik bileşimi

| Mineral Adı | Formülü | Miktarı (%) |
|-----------------|-----------|-------------|
| Kalkopirit | $CuFeS_2$ | 2.7 |
| Pirit | FeS_2 | 10.9 |
| Kuars | SiO_2 | 84.4 |
| Aleminyum Oksit | Al_2O_3 | 1.5 |
| Magnezyum Oksit | MgO | 0.2 |
| Kalsiyum Oksit | CaO | 0.18 |

Tesise beslenen cevher ortalama %0.91 Cu, %6.12 Fe ve %78.67 SiO_2 içermektedir. Laboratuvar çalışmaları için alınan numunenin ise %0.84 Cu ve %84.4 SiO_2 içerdiği tespit edilmiştir. Şekil 1’de numune hazırlama akım şeması görülmektedir.



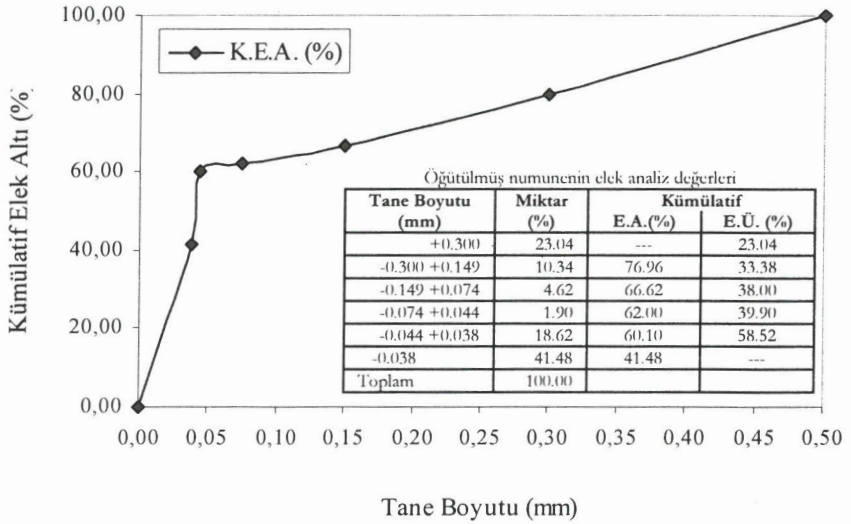
Şekil 1. Numune hazırlama akım şeması

Tesis besleme bandından alınan numune konileme-dörtleme metoduyla azaltılmış ve oksitlenmeye karşı birer kilogramlık poşetler halinde torbalanmıştır. Daha sonra numuneler çubuklu değirmende yaş olarak öğütülmüştür. Çubuklu değirmen öğütme şartları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çubuklu değirmen öğütme şartları

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Malzeme Miktarı | 1000 gr |
| Su Miktarı | 0.8 m ³ /t |
| Öğütme Süresi | 8 dk |
| Malzeme Yoğunluğu | 2.7 t/m ³ |
| Pülpteki Katı Oranı | %55 Katı |
| Öğütme Pülp Yoğunluğu | 1.53 t/m ³ |

Öğütülmüş numunenin elek analiz değerleri ve elek altı grafiği Şekil 2’de verilmektedir. Buna göre malzemenin %62’si 74 µm’nin altındadır. Daha önce yapılan çalışmalarda kalkopirit ve piritin gang minerallerinden 74 µm’de ve piritin kalkopiritten 44 µm’de serbestleştiği tespit edilmiştir (Emrullahoğlu 1985, Çakın 1996). Dolayısıyla numune gang minerallerinden serbestleşme tane boyutu olarak 74 µm altına öğütülmüştür.



Şekil 2. Öğütülmüş numunenin kümülatif elek altı eğrisi

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kollektif (toplu) sülfür flotasyon devrelerinde amaç kalkopirit ve pirit minerallerini kaba konsantreye almak ve gang minerali olan silisten ayırmaktır. Flotasyonda yüzen ürün konsantre, batan ürün ise artık olarak alınmış ve düz

flotasyon uygulanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında (18-20 °C) yapılmıştır. Sabit tutulan flotasyon şartları Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 3. Sabit tutulan flotasyon şartları

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| pH | 7 |
| Toplayıcı | 50 gr/t (Aero 407) |
| Köpürtücü | 20 gr/t (Aerofroth 76+88) |
| Pülpteki katı oranı | %30 Katı |
| Pervane hızı | 1300 dev/dk |
| pH şartlandırma süresi | 1 dk |
| Toplayıcı şartlandırma süresi | 3 dk |
| Flotasyon süresi | 6 dk |

Çizelge 4’de 5, 13, 20, 27, 40 °C ortam suyu sıcaklıklarında yapılan kaba flotasyon deneylerinin bakır tenör ve verim üzerine etkileri görülmektedir.

Çizelge 4. Farklı ortam suyu sıcaklığında yapılan flotasyon deneylerinde bakır (Cu) tenör-verim değişimi

| Flot. Pülp Sıcaklığı (°C) | Ürünler | Miktar (%) | Cu (%) | Cu Verimi (%) |
|---------------------------|-----------|------------|--------|---------------|
| 5 | Konsantre | 32.0 | 2.41 | 91.8 |
| | Artık | 68.0 | 0.10 | 8.2 |
| 13 | Konsantre | 16.3 | 4.72 | 91.6 |
| | Artık | 83.7 | 0.084 | 8.4 |
| 20 | Konsantre | 14.6 | 5.42 | 94.2 |
| | Artık | 85.4 | 0.057 | 5.8 |
| 27 | Konsantre | 27.0 | 2.94 | 94.6 |
| | Artık | 73.0 | 0.062 | 5.4 |
| 40 | Konsantre | 33.8 | 2.38 | 96.0 |
| | Artık | 66.2 | 0.05 | 4.0 |
| | Besleme | 100.0 | 0.84 | 100.0 |

Pülp suyu sıcaklığının 5 °C’den 20 °C’ye çıktığında kaba konsantre bakır tenörü %2.41’den %5.42’ye yükselmektedir. Sıcaklığın 20 °C’den daha fazla yükseltilmesi halinde bakır tenörü düşmüştür. Kazanılan bakır randımanı ise sıcaklıkla birlikte artış göstermektedir. En uygun sıcaklık 20 °C’de olup, %5.42 Cu tenörlü kaba konsantre %94.2 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 5 ve Çizelge 6’da sırasıyla ortam suyu sıcaklığının kükürt ve silikat tenörü ile verimine olan etkileri görülmektedir. Kükürt kazanma verimi, 5 °C’de %64 iken 13 °C’de %57.2’ye azalmış daha sonra sıcaklığın yükselmesiyle birlikte artış göstermiştir. Kükürt tenörü ise 20 °C’de en yüksek değerde bulunmaktadır. Bakır cevherinde silikat gang minerali olduğundan, elde edilen konsantrenin mümkün olduğunca az silikat içermesi istenmektedir. Çizelge 6’dan görüldüğü gibi silikat verimi, düşük ve yüksek sıcaklıklarda yüksek 20 °C’de ise en düşük değerde

bulunmaktadır. Flotasyon ortam suyu sıcaklığının konsantride bulunan aleminyum, magnezyum ve kalsiyum oksit miktarlarına etkisi Çizelge 7'de görülmektedir. Aleminyum ve magnezyum oksit düşük ve yüksek sıcaklıklarda konsantride daha fazla geçmektedir. Kalsiyum oksit ise sıcaklık artışı ile orantılı olarak konsantride daha fazla bulunmaktadır.

Çizelge 5 . Farklı ortam suyu sıcaklığında yapılan flotasyon deneylerinde kükürt (S) tenör -verim değişimi

| Pülp Sıcaklığı (°C) | Ürünler | Miktar (%) | S (%) | S Verimi (%) |
|---------------------|-----------|------------|-------|--------------|
| 5 | Konsantre | 32.0 | 12.80 | 64.0 |
| | Artık | 68.0 | 3.38 | 36.0 |
| 13 | Konsantre | 16.3 | 22.46 | 57.2 |
| | Artık | 83.7 | 3.272 | 42.8 |
| 20 | Konsantre | 14.6 | 25.51 | 58.2 |
| | Artık | 85.4 | 3.13 | 41.8 |
| 27 | Konsantre | 27.0 | 16.69 | 70.4 |
| | Artık | 73.0 | 2.585 | 29.6 |
| 40 | Konsantre | 33.8 | 13.80 | 72.9 |
| | Artık | 66.2 | 2.62 | 27.1 |
| | Besleme | 100.0 | 6.40 | 100.0 |

Çizelge 6. Farklı ortam suyu sıcaklığında yapılan flotasyon deneylerinde silikat (SiO₂) tenör-verim değişimi

| Pülp Sıcaklığı (°C) | Ürünler | Miktar (%) | SiO ₂ (%) | SiO ₂ Verim (%) |
|---------------------|-----------|------------|----------------------|----------------------------|
| 5 | Konsantre | 32.0 | 68.59 | 26.0 |
| | Artık | 68.0 | 91.87 | 74.0 |
| 13 | Konsantre | 16.3 | 53.19 | 10.3 |
| | Artık | 83.7 | 90.50 | 89.7 |
| 20 | Konsantre | 14.6 | 50.24 | 8.7 |
| | Artık | 85.4 | 90.26 | 91.3 |
| 27 | Konsantre | 27.0 | 57.35 | 18.3 |
| | Artık | 73.0 | 94.43 | 81.7 |
| 40 | Konsantre | 33.8 | 61.34 | 24.6 |
| | Artık | 66.2 | 96.20 | 75.4 |
| | Besleme | 100.0 | 84.42 | 100.0 |

Çizelge 7. Farklı ortam suyu sıcaklığında yapılan flotasyon deneylerinde oksitli bileşiklerin tenör-verim değişimi

| Pülp Sıcaklığı (°C) | Ürünler | Miktar (%) | Al ₂ O ₃ (%) | MgO (%) | CaO (%) |
|---------------------|-----------|------------|------------------------------------|---------|---------|
| 5 | Konsantre | 32.0 | 2.30 | 0.93 | 0.28 |
| | Artık | 68.0 | 1.38 | 0.54 | 0.15 |
| 13 | Konsantre | 16.3 | 1.48 | 0.62 | 0.32 |
| | Artık | 83.7 | 1.36 | 0.74 | 0.58 |
| 20 | Konsantre | 14.6 | 1.64 | 0.89 | 0.45 |
| | Artık | 85.4 | 1.67 | 0.91 | 0.74 |
| 27 | Konsantre | 27.0 | 3.98 | 1.03 | 0.64 |
| | Artık | 73.0 | 0.51 | 0.38 | 0.25 |
| 40 | Konsantre | 33.8 | 4.56 | 1.85 | 1.76 |
| | Artık | 66.2 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| | Besleme | 100.0 | 1.50 | 0.2 | 0.18 |

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada Murgul-Çakmakkaya bakır cevheri için farklı pülp suyu sıcaklığının kaba flotasyona olan etkisi tenör-verim açısından araştırılmıştır. Ayrıca kükürt ve silikat miktarları da tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

- flotasyon ortam suyu sıcaklığı 20 °C olduğunda bakır tenörü en yüksek silikat tenörü ise en düşük değerdedir,
- kaba flotasyon devresinde flotasyon pülp sıcaklığının oda sıcaklığı olan 20 °C'de tutulmasının bakır ve kükürt tenörünün yüksek, silikat tenörünün düşük elde edilmesi yönünde önemli olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Atak, S., 1982, **Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları**: İ.T.Ü.Maden Fakültesi, İstanbul, p 222.
- Çakan, İ., 1994, **Karadeniz Bölgesi Artvin ili**: Özkan Matbaacılık, Ankara, p 692.
- Çakın, V., 1996, **Murgul-Çakmakkaya Bakır Cevherinin Flotasyonu ve Tesit Tasarımı**: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 65 s (yayınlanmamış).
- Emrulloğlu, Ö.F., 1985, **Etibank Murgul-Çakmakkaya Bakır Cevheri için en Uygun Köpürtücü Reaktifin Belirlenmesi**: Anadolu Üni. Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 2 Sayı 1, 65-72.
- Ergin, Z., Semerkant, O., Cöcen, İ., 1988, **Cevher Hazırlamada Laboratuvar Ders Notları**: Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. MM/MAD 88 Ey 169, İzmir, 140 s.
- Hukki, R.T., 1970, **Hot Flotation Improves Selectivity and Raises Mineral Recoveries**: World Mining, pp.74-76.

- Kaya, M., 1993, **Daha Temiz Bir Konsantre İçin Flotasyon Makinalarında Köpük Yıkama Teknolojisi**: Etibank Vakfı Bülteni, No:6, 23-28.
- Kaya, M., 1985, **Froth Washing in Mechanical Flotation Cell**: Master Thesis McGill University Mining and Metallurgical Engineering Department, pp. 30-34.
- O'Connor, C.T., **Dunne, R.C. and Bothelho, D.A.M.R.**, 1985, **The Effect of Temperature on Pyrite From Two Different Ores**: XV Inter. Mineral Processing Congres, Cannes, pp. 211-221.