

**SIIRT-MADENKÖY CEVHERİNİN FLOTASYON  
YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Maden Müh. Sümeyra EŞGÜN**

**Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : CEVHER-KÖMÜR HAZIRLAMA VE  
DEĞERLENDİRME**

**MAYIS 2006**

**SIIRT-MADENKÖY CEVHERİNİN FLOTASYON  
YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Maden Müh. Sümeyra EŞGÜN  
(505031103)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Güven ÖNAL  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (İ.T.Ü.)  
Doç.Dr. Şafak ÖZKAN (İ.Ü.)**

**MAYIS 2006**

## **ÖNSÖZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Cevher-Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı'ndaki yüksek lisans eğitimim süresince, konunun tespiti ve tezin hazırlanması safhasında büyük bir özveri ile çalışmamı takip edip yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Güven ÖNAL'a şükranlarımı sunmayı öncelikle bir görev bilirim. Bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve tezim için gerekli olan materyallerin sağlanmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Vecihi GÜRKAN ve Yrd. Doç. Dr. Alim GÜL'e teşekkürlerimi sunmak isterim. Çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen yüksek lisans eğitimim boyunca güzel anlarımı paylaştığım Cevher Hazırlama A.D. Yüksek Lisans ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve çalışanlarına, dostluğunu bana verilmiş en büyük armağan olarak gördüğüm Sayın Necmettin YILMAZ'a ve başarılı olmak için gerçek sebebim olan Annem ve Babama, minnet ve teşekkürü bir borç bilirim.

**Mayıs 2006**

**Sümeysra EŞGÜN**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                | <b>v</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                | <b>vii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                         | <b>ix</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                                      | <b>x</b>   |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                     | <b>1</b>   |
| <b>2. BAKIR HAKKINDA GENEL BİLGİLER</b>                             | <b>3</b>   |
| 2.1. Bakırın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri                       | 3          |
| 2.2. Bakır Mineralleri                                              | 3          |
| 2.3. Bakır Rezervleri, Üretimi, Tüketimi ve Fiyatları               | 5          |
| 2.3.1. Dünya Bakır Rezervleri                                       | 5          |
| 2.3.2. Türkiye Bakır Rezervleri                                     | 6          |
| 2.3.3. Bakır Ürünleri, Üretim Yöntemi ve Teknolojisi                | 7          |
| 2.3.4. Tüketim Alanları                                             | 8          |
| 2.3.5. Bakır Fiyatlarının Yıllara göre Değişimi                     | 8          |
| 2.3.6. Bakır Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri                   | 9          |
| 2.3.6.1 Özgül Ağırlık Farkına göre Zenginleştirilmesi               | 9          |
| 2.3.6.2 Kimyasal Yöntemlerle Zenginleştirilmesi                     | 9          |
| 2.3.6.3. Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi                   | 11         |
| <b>3. SİİRT-MADENKÖY BAKIR YATAĞI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER</b>     | <b>14</b>  |
| 3.1. Yatağın Coğrafi Konumu ve Cevher Rezervi                       | 14         |
| 3.2. Yatağın Genel Jeolojisi                                        | 15         |
| 3.4. Siirt-Madenköy Bakır Zenginleştirme Tesisi ile İlgili Bilgiler | 16         |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                       | <b>19</b>  |
| 4.1. Malzeme ve Yöntem                                              | 19         |
| 4.1.1. Numune Alma ve Hazırlama                                     | 19         |
| 4.1.2. Deneylerde Kullanılan Numunenin Özellikleri                  | 19         |
| 4.1.2.1. Numunenin Fiziksel Özellikleri                             | 19         |
| 4.1.2.2. Numunenin Minerolojik Özellikleri                          | 21         |
| 4.1.2.3. Numunenin Kimyasal Özellikleri                             | 23         |
| 4.1.3. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar ve Reaktifler                 | 26         |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4 Yöntem                                                                    | 26        |
| 4.5. Flotasyon Deneyleri                                                      | 27        |
| 4.2.1. Seçimli Sülfür Flotasyonu                                              | 29        |
| 4.2.1.1 Toplayıcı Cinsinin Zenginleştirmeye<br>Olan Etkisinin İncelenmesi     | 29        |
| 4.2.1.2 Toplayıcı Miktarının Zenginleştirmeye<br>Olan Etkisinin İncelenmesi   | 32        |
| 4.2.1.3. Öğütme Boyutunun Zenginleştirmeye<br>Olan Etkisinin İncelenmesi      | 39        |
| 4.2.2. Toplu Sülfür Flotasyonu                                                | 42        |
| <b>5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ</b>                                      | <b>43</b> |
| 5.1. Toplayıcı Cinsinin Belirlenmesi için<br>Yapılan Deneylerin İrdelenmesi   | 43        |
| 5.2. Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi için<br>Yapılan Deneylerin İrdelenmesi | 43        |
| 5.3. Öğütme Boyutunun Belirlenmesi için<br>Yapılan Deneylerin İrdelenmesi     | 44        |
| <b>6. SONUÇLAR</b>                                                            | <b>46</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                              | <b>48</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                  | <b>53</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                               | <b>69</b> |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                         | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Tablo 2.1</b> : Başlıca Bakır Mineralleri ve Özellikleri .....                                                       | 4                      |
| <b>Tablo 2.2</b> : Dünya Bakır Rezervlerinin Dağılımı .....                                                             | 5                      |
| <b>Tablo 2.3</b> : Dünya Bakır Rezervleri (Cu içeriği) (Milyon Ton) .....                                               | 6                      |
| <b>Tablo 2.4</b> : Türkiye Ekonomik Bakır Rezervleri .....                                                              | 7                      |
| <b>Tablo 2.5</b> : Bakır Tüketiminin Sektörel Dağılımı .....                                                            | 8                      |
| <b>Tablo 3.1</b> : Görünür Rezerv (Cut off grade %0.3 Cu, %0.3 Zn,<br>%20 S, %20 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) ..... | 16                     |
| <b>Tablo 3.2</b> : İşletilebilir Rezerv (Cut off grade %1.26 Cu) .....                                                  | 16                     |
| <b>Tablo 3.3</b> : İşletilebilir Piritik Bakır Rezervi .....                                                            | 16                     |
| <b>Tablo 4.1</b> : Tamamı 2 mm Altına Kırılan Cevherin Boyut Dağılımı .....                                             | 20                     |
| <b>Tablo 4.2</b> : Siirt-Madenköy Cevherinin Kimyasal Analiz Sonuçları .....                                            | 23                     |
| <b>Tablo 4.3</b> : Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Malzemenin<br>Boyut Dağılımı .....                                 | 28                     |
| <b>Tablo 4.4</b> : KEX ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu .....                                               | 30                     |
| <b>Tablo 4.5</b> : AEROPHINE 3418 A ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                               | 31                     |
| <b>Tablo 4.6</b> : AEROLOAT 211 ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                                   | 32                     |
| <b>Tablo 4.7</b> : AERO 3418 A (60 g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                           | 33                     |
| <b>Tablo 4.8</b> : AERO 3418 A (90 g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                           | 33                     |
| <b>Tablo 4.9</b> : AERO 3418 A (150 g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                          | 34                     |
| <b>Tablo 4.10</b> : AERO 3418 A (300 g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                         | 34                     |
| <b>Tablo 4.11</b> : AERO 211 (60g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                              | 36                     |
| <b>Tablo 4.12</b> : AERO 211 (300g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                             | 36                     |
| <b>Tablo 4.13</b> : AERO 211 (400g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                             | 37                     |
| <b>Tablo 4.14</b> : AERO 211 (500g/t) ile Yapılan Deneyin<br>Metalurjik Denge Tablosu .....                             | 38                     |
| <b>Tablo 4.15</b> : 53 µm ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu .....                                            | 40                     |
| <b>Tablo 4.16</b> : 74 µm ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu .....                                            | 40                     |
| <b>Tablo 4.17</b> : 100 µm ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu .....                                           | 41                     |
| <b>Tablo 4.18</b> : Toplu Sülfür Flotasyonu Deneyinin Metalurjik Denge Tablosu .....                                    | 42                     |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 4.19 :</b> Optimum Koşullardaki Deneyin 3 Temizleme<br>Sonunda Metalurjik Denge Tablosu ..... | 44 |
| <b>Tablo A.1 :</b> Cevherin %80'ninin 53 µm Altına Geçtiği<br>Durumda Boyut Dağılımı .....             | 53 |
| <b>Tablo A.2 :</b> Cevherin %80'ninin 74 µm Altına Geçtiği<br>Durumda Boyut Dağılımı .....             | 54 |
| <b>Tablo A.3 :</b> Cevherin %80'ninin 100 µm Altına Geçtiği<br>Durumda Boyut Dağılımı .....            | 54 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                      | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Şekil 2.1</b> : Bakır'ın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....                                                                                                                   | 3                      |
| <b>Şekil 2.2</b> : Bakır Fiyatlarının Yıllara göre Değişim Grafiği .....                                                                                                             | 8                      |
| <b>Şekil 3.1</b> : Siirt-Madenköy Bakır Konsantratör Tesisi Akım Şeması.....                                                                                                         | 18                     |
| <b>Şekil 4.1</b> : Tamamı 2 mm Altına Kırılmış Cevherin Boyut Dağılım Grafiği.....                                                                                                   | 20                     |
| <b>Şekil 4.2</b> : Kırıklanmış Pirit ( <b>py</b> ) Tanelerinin Boşluklarını Dolduran Kalkopirit ( <b>kp</b> ) ve Kalsit ( <b>ka</b> ) .....                                          | 22                     |
| <b>Şekil 4.3</b> : Kalkopirit ( <b>kp</b> ) İçerisinde Kataklastik Yapı Gösteren Pirit ( <b>py</b> ) .....                                                                           | 22                     |
| <b>Şekil 4.4</b> : Konsantrik ve Kolloidal Dokuda Kalkopirit ( <b>kp</b> ) ile Büyüme Gösteren Pirit .....                                                                           | 22                     |
| <b>Şekil 4.5</b> : Konsantrik ve Kolloidal Dokuda Kalkopirit ( <b>kp</b> ) ile Büyüme Gösteren Pirit ( <b>py</b> ) ve Markasit ( <b>mk</b> ) .....                                   | 22                     |
| <b>Şekil 4.6</b> : Kalkopirit ( <b>kp</b> ) İçerisinde Kırıklanmış Pirit ( <b>py</b> ) Taneleri .....                                                                                | 24                     |
| <b>Şekil 4.7</b> : Kalkopirit ( <b>kp</b> ) İçerisinde Kırıklanmış Pirit ( <b>py</b> ) Taneleri .....                                                                                | 24                     |
| <b>Şekil 4.8</b> : Pirit Tanelerinin Boşluklarını Dolduran Kalkopirit ( <b>kp</b> ) ile Sfalorit ( <b>sf</b> ) ve Muşketoffit ( <b>mu</b> ) .....                                    | 24                     |
| <b>Şekil 4.9</b> : Gang Mineralleri İçerisinde Saçılmış Halde İzlenilen Kalkopirit ( <b>kp</b> ), Pirit ( <b>py</b> ) ve Galen ( <b>ga</b> ) .....                                   | 24                     |
| <b>Şekil 4.10</b> : Gang Mineralleri İçerisinde Çubuk Halde Şekilli Kristaller Halde İzlenilen Markasit ( <b>mk</b> ) .....                                                          | 25                     |
| <b>Şekil 4.11</b> : Kalkopirit ( <b>kp</b> ) ve Pirit ( <b>py</b> ) ile İzlenilen Çubuk Şekilli Muşketoffit ( <b>mu</b> ) Kristalleri .....                                          | 25                     |
| <b>Şekil 4.12</b> : Gang Mineralleri İçinde Saçılmış Kalkopirit ( <b>kp</b> ), Pirit ( <b>py</b> ), Manyetit ( <b>ma</b> ), Pirotin ( <b>pr</b> ) ve Muşketoffit ( <b>mu</b> ) ..... | 25                     |
| <b>Şekil 4.13</b> : Gang Mineralleri İçinde İzlenen Manyetit ( <b>ma</b> ), Pirotin ( <b>pr</b> ) ve Pirit ( <b>py</b> ) Taneleri .....                                              | 25                     |
| <b>Şekil 4.14</b> : Laboratuvar Ölçekli Pervaneli Karıştırıcı .....                                                                                                                  | 26                     |
| <b>Şekil 4.15</b> : Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Malzemenin Boyut Dağılım Grafiği.....                                                                                          | 28                     |
| <b>Şekil 4.16</b> : Toplayıcı Miktarının (AERO 3418 A), Bakır İçeriği ve Verimine göre Değişim Grafiği .....                                                                         | 35                     |
| <b>Şekil 4.17</b> : Toplayıcı Miktarının (AERO 211), Bakır İçeriği ve Verimine göre Değişim Grafiği .....                                                                            |                        |
| <b>Şekil 4.18</b> : Öğütme Boyutunun Bakır İçeriği ve Verimine Göre Değişim Grafiği .....                                                                                            | 41                     |
| <b>Şekil 5.1</b> : Optimum Koşullardaki Deneyin 3 Temizleme Sonunda Akım Şeması .....                                                                                                | 45                     |

|                   |                                                                                 |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil B.1</b>  | : KEX (Potayum Etil Ksantat) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....              | 55 |
| <b>Şekil B.2</b>  | : AEROPHINE 3412 A ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                        | 56 |
| <b>Şekil B.3</b>  | : AEROFLOAT 211 ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                           | 57 |
| <b>Şekil B.4</b>  | : AERO 3418 A (60 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                    | 58 |
| <b>Şekil B.5</b>  | : AERO 3418 A (90 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                    | 59 |
| <b>Şekil B.6</b>  | : AERO 3418 A (150 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                   | 60 |
| <b>Şekil B.7</b>  | : AERO 3418 A (300 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                   | 61 |
| <b>Şekil B.8</b>  | : AERO 211 (60 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                       | 62 |
| <b>Şekil B.9</b>  | : AERO 211 (300 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                      | 63 |
| <b>Şekil B.10</b> | : AERO 211 (400 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                      | 64 |
| <b>Şekil B.11</b> | : AERO 211 (500 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması .....                      | 65 |
| <b>Şekil B.12</b> | : Cevherin %80'ninin 53 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği .....  | 66 |
| <b>Şekil B.13</b> | : Cevherin %80'ninin 74 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği .....  | 66 |
| <b>Şekil B.14</b> | : Cevherin %80'ninin 100 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği ..... | 67 |
| <b>Şekil B.15</b> | : Toplu Sülfür Flotasyonu Akım Şeması .....                                     | 68 |

## **SIİRT MADENKÖY CEVHERİNİN FLOTASYON YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Flotasyon madencilikte yaygın olarak kullanılan ve minerallerin yüzey özelliklerinin farklılığından yararlanılarak değerli minerallerin gang minerallerinden ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir.

Siirt-Madenköy cevheri Eosen Miyosen yaşlı olup volkanik sedimanter ve hidrotermal ornatımlarla oluşmuştur. Mercek şeklinde oluşan cevher yatağı Doğu-Batı yönünde kuzeye 50<sup>0</sup>-60<sup>0</sup> dalımlıdır. Yatak boyutu 600x300x50m'dir. Siirt-Madenköy bakır cevheri için minimum işletme tenörü 1.26 alındığında işletilebilir ekonomik rezerv 14 milyon tondur.

Siirt-Madenköy cevher yatağından alınan karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mineralojik incelemeler, ana cevherin kalkopirit ve piritten oluştuğunu ve az miktarda galen, sfalerit, hematit, limonit kuvars bulunduğunu göstermiştir. Cevher, % 3.11 Cu, %0.29 Zn, %34.07 Fe, %33.5 S, %14.92 SiO<sub>2</sub>, %1.00 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0.17 Na<sub>2</sub>O içermektedir.

Yüksek bakır içerikli konsantre elde etmek amacı ile, toplayıcı cinsi, miktarı ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisi bu tez kapsamında araştırılmıştır. Flotasyon deneylerinde reaktif olarak pirit devresinde, KAX (Potasyum Amil Ksantat) ve çamyacı kalkopirit devresinde, KEX (Potasyum Etil Ksantat), AEROPHINE 3418 A (Sodyumizobutildithiofosfin), AEROFLOAT 211 (Sodyumizopropildithiofosfat), MIBC (Metil izobütil karbinol) kullanılmıştır.

Sonuç olarak, toplayıcı cinsi, miktarı ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinde, tezin amacına en uygun toplayıcının dithiofosfin kökenli AERO 3418 A, miktarının 90 gr/t ve öğütme boyutunun 43 µm olduğu tespit edilmiştir. Optimum koşullarda 3 kademe temizleme işlemi sonucunda, cevherin %8.7 oranında %28.94 Cu içerikli bir konsantre % 80.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte ve konsantre %2.73 Zn içermektedir; %20.1 oranında bir artık ise %0.11 Cu içeriği ve %0.7 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmekte ve % 59.5 oranında pirit konsantresi ise %0.21 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.0 ve S içeriği % 43.6'dır.

## **CONCENTRATION OF THE SIİRT-MADENKÖY ORES WITH FLOTATION METHOD**

### **SUMMARY**

Flotation is a separation process widely used in the mining industry it depends on differences in particle surface properties to separate valuable materials from undesired gangue. Because of the growth of copper consumption, processing of copper ores and re-evaluation of abandoned wastes are required.

Siirt-Madenköy copper is one of the series of copper pyrite orebodies occurring in the southern Anatolian Eocene-Miocene aged and it is a volcanic sedimentary and hydrothermal replacement and lenticular in shape with an E-W axis with approximate dimensions of 600x300x50 m. The dip is 50-60° to the north.

Minerological investigations of Siirt-Madenköy sample reveal that the main ore is generally composed of chalcopyrite and pyrite, a little amount of galena, sphalerite, hematite, limonite, quartz are found. The ore sample used in study assays % 3.11 Cu, %0.29 Zn, %34.07 Fe, %33.5 S, %14.92 SiO<sub>2</sub>, %1.00 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and %0.17 Na<sub>2</sub>O.

In this thesis, effect of collector type, collector amount and particle size on flotation experiments are investigated to obtain high content of copper concentrate. In flotation experiments, KAX (Potassium Amyl Xanthate) and pine oil are used in pyrite flotation, KEX (Potassium Ethyl Xanthate), AEROPHINE 3418 A (Sodiumisobutyl dithiophosphinate), AEROFLOAT 211 (Sodiumisopropil dithiophosphate), MIBC (Metil isobutyl carbinol) are used in copper flotation.

As a result of flotation experiments, optimum conditions are found at collector type of dithiophosphinate AERO 3418 A, amount of 90 gr/t and particle size of 43 µm. After three stages of cleaning, a concentrate was obtained with 8.7% by weight assaying of 29.45 %Cu was obtained with a Cu recovery of 80.7, a tailing product was obtained with a 20.1% by weight assaying of 0.11 % and copper loss of 0.7 %. A pyrite concentrate, containing 0.21 % Cu with a weight percentage of 59.5; Copper loss in pyrite is 3.9 % and content of S is %43.6.

## 1. GİRİŞ

Bakır, sanayinin temel girdileri arasında yer alan önemli metallere biridir. Günümüzde yıllık tüketimi 13 milyon tonun üzerine çıkan bakır en çok kullanılan ikinci metal durumuna gelmiştir. Bakıra olan devamlı talep artışı endüstrileşmedeki gelişmelerle orantılıdır. Uzak doğuda talep patlama noktasına gelmiştir. Gelecekte Güney Amerika ve Doğu Avrupa ülkelerinin bakıra olan taleplerinde önemli artışlar olacağı tahmin edilmektedir. Bu bakımdan günümüzde en fazla aranan maden bakır olup, büyük madencilik firmalarının arama programlarında bakır en başta yer almaktadır [6].

Türkiye’de bilinen bakır rezervlerin büyük kısmı özelleştirilmiştir. Dünyanın bilinen en eski maden ocağı olan Siirt-Madenköy bakır sahası, 1970’li yıllarda Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından tespit edildikten sonra, sahada detaylı araştırma ve incelemeler yapılarak, bu çalışmalarda sahanın jeolojisi, jeofizik durumu, jeoteknik ve yeraltı su etütleri araştırılarak 61 adet sondaj ile toplam 16.895 m ilerleme sağlanmıştır. 1979 yılında Etibank’a devredilen saha, 1984 yılında Alman Preussag-Alarko firmalarına devredilmiştir. Metal fiyatlarının düşmesi nedeni ile Preussag-Alarko firmaları sahadan çekilmiştir. Son olarak Ocak 2004 tarihinde yapılan ihale sonucunda, Siirt-Madenköy bakır madeninin ruhsat hakkı Ciner Grubu tarafından devir alınmıştır [8].

Siirt-Madenköy bakır sahasında Maden Tetkik Arama tarafından 1972-1981 yılları arasında yapılan detaylı araştırmaya göre, görünür rezerv 24 milyon ton (Cut off grade %0.3 Cu, %0.3 Zn, %20 S, %20 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ve işletilebilir rezerv 14 milyon tondur (Cut off grade % 1.26 Cu). MTA tarafından depolanan karot numunelerinden 22 farklı sondajdan 80 kg civarında malzeme ile yapılan yüksek lisans tezinde, kaba bakır flotasyon devresinin optimal şartlarının tespiti için, tane boyutu, kollektör cinsi ve flotasyon süresi parametreleri tespit edilmiştir .

Optimal koşullarda (tane boyutu, % 85'i 53 µm altı, toplayıcı 50 gr/t A-208) yapılan flotasyon deneyinde, kaba bakır konsantresi, % 88.7 verimle % 6.34 Cu elde edilerek, 4 aşamada temizleme sonucunda, % 81.13 verimle %19.85 Cu elde edilmiştir. Pirit konsantresinde bakır tenörü %0.32 olup bakır kaçağı % 9.74'dür [4].

Siirt-Madenköy cevher sahasından alınan yaklaşık %3.11 Cu içerikli karot numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde, yeni geliştirilen reaktifler kullanılarak, toplayıcı cinsinin, miktarının ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisini incelemek ve bu deneyler sonucunda, daha önce yapılan çalışmalarda elde edilemeyen yüksek bakır içerikli (28↑) bir konsantre elde etmek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Tez, giriş, bakır hakkında ve Siirt-Madenköy bakır yatağı ile ilgili genel bilgiler, deneysel çalışmalar, deney sonuçlarının irdelenmesi, ve sonuçları kapsayan 6 bölümden oluşmaktadır.

## 2. BAKIR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1. Bakırın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Bakır doğada az miktarda nabit , genellikle sülfürlü, oksitli ve kompleks halde bulunur. Yerkürenin kayaçları içerisinde renkli metallerden en çok bulunanıdır. (%0.005-0.015). Yekürenin yapısına alüminyum (%8) ve demirden (%8) sonra en fazla katılan metaldir (%0.01). Bakır'ın sertliği 2.5-3, ergime sıcaklığı 43 kcal ve elektrik iletme özelliği %99,95 olup diğer özellikleri Şekil 2.1'de belirtilmiştir[1,7].

|                 |   |              |           |   |                     |
|-----------------|---|--------------|-----------|---|---------------------|
| Atom Numarası   | ← | 29           | 63,54     | → | Atom Ağırlığı       |
| Kaynama Noktası | ← | 2595°C       | 02:01     | → | Oksitlenme Derecesi |
| Ergime Noktası  | ← | 1083°C       | <b>Cu</b> | → | Sembol              |
| Yoğunluk        | ← | 8,93         | 3d10s1    | → | Elektron Dağılımı   |
|                 |   | <b>BAKIR</b> |           |   |                     |

Şekil 2.1: Bakır Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [4].

### 2.2. Bakır Mineralleri

Litosferi oluşturan kayaçlar içerisinde 33-55 ppm ve bazaltik magmatik kayaçlarda 100-1000 ppm oranında Cu bulunurken, bugün %0.25 'ten fazla bakır içeren kayaçlar cevher olarak işlenebilmektedir. Bilinen doğal 170 civarındaki Cu mineralinden Cu üretimine katkısı olanların başlıcaları Tablo 2.1 'de verilmiştir [1].

Belirtilen mineraller içerisinde de en önemlisi kalkopirittir. Tüm primer bakır yataklarında kalkopirit'e rastlanır. Kalkosin ise sekonder yatakların ve özellikle emprenye tip yatakların önemli Cu mineralidir.

**Tablo 2.1:** Başlıca Bakır Mineralleri ve Özellikleri [5].

| FORMÜL                                                        | KRİSTAL SİSTEMİ    | RENK                            | YOĞUNLUK-SERTLİK   | HABİTÜS                                               | TANIMA ÖZELLİKLERİ                                                 | BİRLEŞİM (%Cu) | DİĞER ÖZELLİKLERİ                                                |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Kalkopirit</b><br>$\text{CuFeS}_2$                         | Tetragonal         | Tunç sarısı<br>Yeşilimsi siyah  | 4.2<br>3.5-4       | Yarılma gösterir.Kırılma yüzeyi midye kabuğu şeklinde | Milleritten parlaklığıyla ayırt edilir $\text{HNO}_3$ 'te çözünür. | %34.5          | $\text{HNO}_3$ 'te çözünür.                                      |
| <b>Kalkozin</b><br>$\text{Cu}_2\text{S}$                      | Ortorombik         | Kurşuni gri siyah               | 5.7<br>2.5-3       | Yarılım konkoidal                                     | Kömür üzerinde Cu incisi yapar.                                    | %79.8          | $\text{HNO}_3$ 'te çözünür.Yeşil renk verir.                     |
| <b>Bornit</b><br>$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$                    | Kübik              | Cu kırmızı,<br>kahverengi,siyah | 5.8<br>3.0         | Yarılım düzensiz, dilinim zayıf                       | Yumuşak mavi nüanslı                                               | %55-69.3       | Kömür üzerinde ergitilince magnetit kürecik yapar                |
| <b>Kovelin</b><br>$\text{CuS}$                                | Hekzagonal         | Mavi, gri, siyah                | 4.6-4.4<br>1.5-2.0 | Dilinim , parlak, esnek                               | Yumuşak sülfürlerle bulunur                                        | %66.49         | İçinde bir miktar demir bulunur                                  |
| <b>Kuprit</b><br>$\text{Cu}_2\text{O}$                        | Kübik,<br>Tetraedr | Kırmızı<br>Kahverengi           | 6.1<br>3.5-4.0     | -                                                     | Kırılğan, saf olanı elmas parlaklığında                            | %88.8          | Diğer kırmızı minerallerden kristal şekli ve çizgisi ile ayrılır |
| <b>Tenorit</b><br>$\text{CuO}$                                | Monoklinik         | Siyahımsı ve<br>kahverengi      | 6.0<br>3.0-4.0     | Esnek levhalar halindedir. Metal parıltılı.           | Cu değişimlerinde oluşur.                                          | %79.8          | Vezüv yanardağının süblümlenme ürünüdür                          |
| <b>Malahit</b><br>$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$       | Monoklinik         | Yeşil                           | 3.9-4.3<br>3.5-4.0 | (001)<br>Parlak                                       | Batroidal yapılı                                                   | %57.4          | Cu mineralleri ile beraber bulunur.                              |
| <b>Azurit</b><br>$\text{Cu}_3\text{CO}_3(\text{OH})_2$        | Monoklinik         | Gökmavi                         | 3.77<br>3.5-4.0    | Cam parlaklığında saydam                              | Koyu gök rengi ile ttanılır.                                       | %55.2          | Malakit ile aynı oluşukludur.                                    |
| <b>Krizokol</b><br>$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Amorf              | Mavi-Yeşil<br>Beyaz-Yeşil       | 2.4<br>2.0-4.0     | Cu mineralizasyonunda bulunur.                        | -                                                                  | %36.0          | Kırılma indisi 1.46 1.57 $\text{NH}_4\text{OH}$ 'da çözünür.     |
| <b>Tetraedrit</b><br>$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ | Kübik              | Gri-Siyah                       | 4.4-5.4<br>3.0-4.0 | Değişken dilinimi yok, kırılğan                       | Kırıklığıyla                                                       | %45.76         | Parlaklığı, metalik bıçakla çizilirse toz haline gelir.          |
| <b>Enargit</b><br>$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$                   | Ortorombik         | Gri-Siyah                       | 4.45<br>3.0        | (110) Kırılğan, düzensiz                              | Kırılğan, dıştan siyah                                             | %48            | İyi gelişmiş dilinim ve parlak                                   |
| <b>Dioplas</b><br>$6\text{CuSiO}_2(\text{OH})_2$              | Romboedrik         | Yeşil                           | 3.3<br>5.0         | Romboedrik kristaller                                 | Zümrüt yeşili kristaller                                           | %41            | $\text{HNO}_3$ 'te çözünür.                                      |
| <b>Kübanit</b><br>$\text{CuFe}_2\text{S}_3$                   | Romboedrik         | Tunç                            | 4.1<br>3.5         | Metal parıltılı                                       | -                                                                  | -              | Kalkopirit yataklarında bulunur.                                 |

## 2.3. Bakır Rezervleri, Üretimi, Tüketimi ve Ürün Standartları

### 2.3.1. Dünya Bakır Rezervleri

Dünyadaki bakır rezervlerinin yoğun olduğu en büyük cevher kuşağı Amerika'nın batısı boyunca Şili'den geçerek Peru, Meksika'dan sonra, Arizona, New Meksiko, Nevada, Utah (ABD) ve Kanada'yı içine alan jeolojik bir zondur. Bu kuşak üzerindeki rezervler Batı dünyası bakır üretiminin % 50'sini temsil etmektedir [6].

Porfiri tipi bakır rezervleri Endonezya, Papua Yeni Gine ve Filipinleri içine alarak Avrupa'nın güney-doğusundan İran ve Pakistan'a uzanır. Doğu bloku ülkeleri arasında Eski Sovyetler Birliği ve Çin'de önemli derecede porfiri rezervler mevcuttur [6].

Masif sülfürlü rezervler, Kanada'nın doğusunda, Amerika'nın kuzeyi, İspanya, Namibya, Güney Afrika ve Avusturalya'da yer alır. Magmatik tipi rezervler, Kanada'nın doğusunda Sudbury bölgesinde yoğunlaşmıştır. Sedimanter tipi rezervler ise Polonya ve Afrika kıtasının ortasında yer almaktadır [6].

Dünya görünür bakır cevheri rezervlerinin, Cu içeriği olarak 650 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu rezervlerin yüzde olarak dağılımı Tablo 2.2 ve ülkelere göre dağılımı Tablo 2.3'de verilmiştir. Dünya görünür bakır rezervlerinin 340 milyon tonunun işletilebilir rezerv olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca okyanus diplerindeki manganez yumrularında da 690 milyon ton bakır potansiyeli bulunmaktadır [6].

**Tablo 2.2:** Dünya Bakır Rezervlerinin Dağılımı

| ÜLKELER                 | PAY(%) |
|-------------------------|--------|
| Sanayileşmiş Ülkeler    | 24     |
| OECD                    | 26     |
| BDT ve Doğu Avrupa      | 16     |
| Gelişmekte Olan Ülkeler | 34     |
| TOPLAM                  | 100    |

**Tablo 2.3:** Dünya Bakır Rezervleri (Cu içeriği) (Milyon Ton) [7].

| ÜLKELER       | İŞLETİLEBİLİR REZERV | GÖRÜNÜR REZERV |
|---------------|----------------------|----------------|
| ABD           | 45                   | 90             |
| Avustralya    | 7                    | 23             |
| Kanada        | 10                   | 23             |
| Şili          | 88                   | 160            |
| Çin           | 18                   | 37             |
| Endonezya     | 19                   | 25             |
| Kazakistan    | 14                   | 20             |
| Meksika       | 15                   | 27             |
| Peru          | 19                   | 40             |
| Macaristan    | 20                   | 36             |
| Rusya         | 20                   | 30             |
| Zambiya       | 7                    | 13             |
| Diğer Ülkeler | 50                   | 105            |
| TOPLAM        | 340                  | 650            |

### 2.3.2. Türkiye Bakır Rezervleri

Türkiye'de bakır ve pirit cevherleri ya bakır-pirit ya da Cu--Pb-Zn-Pirit zuhurlarıyla birlikte bulunur. Bakır yataklarımızı, porfiri, masif sülfid, hidrotermal ve kontakmetasomatik olarak sınıflandırılmaktadır.

Hidrotermal ve kontakmetasomatik yataklar sayıca en çok olup, rezerv yönünden büyük değildirler. Porfiri tip yataklarda, rezerv ve tenör yönünden işletilebilir düzeyde değildirler. Buna karşılık masif sülfid yatakları ülkemizin bakır madenciliği açısından önemlidir. Diğer yandan ülkemizde Kırklareli-Dereköy, Erzurum-İspir, Erzincan-Ilıç ve Trabzon bölgelerinde MTA tarafından tespit edilmiş 2 milyar ton civarında toplam rezerve sahip ortalama %0.2-0.3 Cu içeriğinde porfiri tipte yataklar mevcuttur. Bu yataklarda porfiri yatak olmaları nedeniyle önemli oranlarda molibden, altın, gümüş, gibi değerli ikincil elementler bakıra eşlik etmektedir [6,50]. Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt-Madenköy, Cerattepe ve Küre ülkemizde bilinen en önemli masif sülfid bakır yataklarıdır.

Türkiye bakır rezervleri açısından Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri olmak üzere iki önemli bölgeye sahiptir. Türkiye görünür bakır rezervi Cu içeriği olarak 1.697,204 tondur. Ülkemizde bulunan önemli bakır yatakları ile ilgili ayrıntılı bilgi Tablo 2.4'de verilmiştir [6].

### 2.3.3. Bakır Ürünleri, Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Bakır madenciliği açık ve kapalı işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. %1-2 Cu içeren sülfürlü cevherler, flotasyon yöntemi ile %80'in üzerinde metal kazanma randımanları ile zenginleştirilerek %15-25 Cu içeren bakır konsantreleri elde edilmektedir. Bu konsantrelerden konvansiyonel izabe yöntemleri ile %99 Cu içeren blister bakır üretilerek rafinasyon işlemleriyle elektrolitik bakır üretimi gerçekleştirilmektedir [6].

Dünya'da genellikle bakır konsantresinden pirometalurjik yöntemlerle bakır (flaş ergitme) gerçekleştirilmektedir. Ancak günümüzde pirometalurjik işlemlerin yerini giderek hidrometalurjik işlemler almaktadır [24,25]. Kalkopirit, galen, sfalerit gibi sülfürlü minerallerin ve konsantrelerin doğrudan çözündürülmesinde, klorür, sülfat, nitrat ve amin esaslı çözücüler kullanılmaktadır [12]. Liç işlemleri ile çözeltiye alınan bakır daha sonra çözeltide "solvent ekstraksiyon+elektroliz" ile metal bakır olarak kazanılmaktadır [6].

Yüksek tenörlü konsantre elde edilmesi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, tesis akım şemasının sadeleştirilerek iş denetimini kolaylaştırmak ve yatırım tutarını azaltmak amacıyla flotasyon tesislerinde büyük hacimli selüller, kolon flotasyonu ve HG selülleri kullanılmaktadır.

**Tablo 2.4:** Türkiye Ekonomik Bakır Rezervleri [6].

| İL        | KÖY/MEVKİ   | REZERV<br>(Bin Ton) | TENÖR     |           |             |             |                |
|-----------|-------------|---------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------------|
|           |             |                     | Cu<br>(%) | Zn<br>(%) | Au<br>(g/t) | Ag<br>(g/t) | Bakır<br>(Ton) |
| Artvin    | Damar       | 2.503               | 1.24      | -         | -           | -           | 31.137         |
| Artvin    | Çakmakaya   | 5.714               | 0.84      | -         | -           | -           | 47.997         |
| Artvin    | Akerşen     | 582.0               | 2.24      | 4.70      | -           | 219.0       | 13.000         |
| Artvin    | Cerattepe   | 3.900               | 5.20      | -         | 1.23        | 25.3        | 202.800        |
| Artvin    | Seyitler    | 2.465               | 1.41      | -         | -           | -           | 34.752         |
| Çanakkale | Arapuçuran  | 1.230               | 1.25      | -         | -           | -           | 15.375         |
| Elazığ    | Anayatak    | 600.0               | 1.71      | -         | -           | -           | 12.000         |
| Giresun   | Lahanos     | 2.402               | 2.40      | 2.42      | -           | -           | 57.528         |
| Giresun   | Harşit      | 498.0               | 1.90      | -         | -           | -           | 8.740          |
| Kastamonu | Küre        | 12.339              | 2.05      | -         | -           | -           | 252.950        |
| Rize      | Madenköy    | 10.900              | 4.61      | 7.50      | -           | -           | 502.490        |
| Siirt     | Madenköy    | 14.500              | 3.00      | -         | -           | -           | 435.000        |
| Sivas     | Kan         | 964                 | 1.73      | -         | -           | -           | 16.683         |
| Trabzon   | Kotarakdere | 963                 | 1.31      | 2.73      | -           | -           | 12.600         |
| Trabzon.  | Kanköy      | 3.310               | 1.11      | -         | -           | -           | 36.741         |
| TOPLAM    |             | 62.870              | 2.69      | -         | -           | -           | 1.697.204      |

### 2.3.4. Bakır'ın Tüketim Alanları

Bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliği ile elektrik santralleri ve iletken malzemenin vageçilmez girdisi haline gelmektedir. Soğuk hava ve makina teçhizatında, paslanmaz özelliğinden ötürü nakliye vasıtalarında ve dış kaplamalarda bakırın büyük kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlara ek olarak kaynak işlerinde, metalurjide ve bronz üretiminde bakır önemli bir yere sahiptir. Üstün fiziksel ve kimyasal özelliğinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılan bakırın tüketiminin sektörel olarak dağılımı Tablo 2.5'de verilmiştir [6].

**Tablo 2.5:** Bakır Tüketiminin Sektörel Dağılımı

| SEKTÖR                                            | DÜNYA (%) | ABD (%) | JAPONYA (%) | ALMANYA (%) |
|---------------------------------------------------|-----------|---------|-------------|-------------|
| Elektrik ve Elektronik                            | 50        | 25      | 52          | 54          |
| İnşaat Sanayi                                     | 17        | 39      | 15          | 14          |
| Ulaşım Sanayi                                     | 11        | 11      | 11          | 11          |
| Endüstriyel Ekipman                               | 16        | 15      | 15          | 14          |
| Diğerleri (Kimya, Kuyumculuk, Boya, Turistik Eşya | 6         | 10      | 7           | 7           |
| TOPLAM                                            | 100       | 100     | 100         | 100         |

### 2.3.5. Bakır Fiyatlarının Yıllara Göre Değişimi

Bakır cevherleri konsantratörlerde zenginleştirilip, yaklaşık %15 ile %25 Cu içeren konsantreler elde edilmekte ve izabe tesislerinin kullanımına sunulmaktadır. Dünya piyasalarında %20 Cu değerinin üzerinde bakır içeren konsantreler tercih edilmektedir. Bakır fiyatlarını yıllara göre değişim grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir [6].



**Şekil 2.2:** Bakır Fiyatlarının Yıllara Göre Değişim Grafiği [13]

### **2.3.6. Bakır Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri**

Dünya'nın bir çok ülkesinde, bakır yatakları için minimum işletilebilir tenör (cut off grade) %0.25 Cu olup bazen daha da aşağı değerlerdeki bakır yatakları yan ürünler de değerlendirilerek işletilmektedir [3]. Düşük tenördeki işletilebilir bakır yatakları büyük rezervli ve çok ince mineral taneli cevherlerdir. İşletilebilen bakır cevherleri zenginleşebilirlikleri yönünden, sülfürlü, karbonatlı, oksitli-sülfürlü karışık cevherler ve bakırsilikatlar olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Sülfürlü cevherler çok kolay zenginleşir, karbonatlı, oksitli-sülfürlü karışık cevherler güç, bakırsilikatların ekonomik olarak zenginleşebilirlikleri olanaksızdır [1].

Bakır mineralleri, birlikte bulundukları diğer minerallerden ancak özgül ağırlıklarının ve fiziko-kimyasal özelliklerinin farklılığı prensiplerinden yararlanılarak zenginleştirilebilirler. Bakır cevherleri zenginleştirilmesinde flotasyon, liç ve gravite yöntemleri uygulanmaktadır.

#### **2.3.6.1. Özgül Ağırlık Farkına göre Zenginleştirilmesi**

Özgül ağırlık farkına göre bakır cevherlerinin zenginleştirilmesinin ön şartı, gang yoğunluğu ile cevherli tanelerin özgül ağırlıkları arasında  $1.0-0.7 \text{ g/cm}^3$ 'lük farkın bulunması ve her iki özgül ağırlık sınıfı sınırındaki orta yoğunluklu cevherin metal içeriğinin, toplam metal içeriğine oranının çok küçük olmasıdır. Ayrıca iri tanede serbestleşen, küçük rezervli dolayısıyla küçük kapasiteli, zor flote edilebilen veya hiç flote edilemeyen oksit cevherleri gravite yöntemleriyle zenginleştirilirler. Bakır işletmeleri yüksek kapasiteli tesisler olduğundan cevher gravite ile zenginleştirilmek istendiğinde ağır ortam tamburları veya ağır ortam siklonları tercih edilir [1].

#### **2.3.6.2. Kimyasal Yöntemlerle Zenginleştirme**

Liç yöntemi ile zenginleştirme, değerli metallerin kimyasal çözündürme farkından yararlanılarak çözeltiliye alınmasına ve daha sonra çözeltiden kazanılmasına denir. Sülfürlü ve oksitli cevherlerin liç ile zenginleştirilmesinde yığın, yerinde, tank, karıştırma, basınç altında liç yöntemleri uygulanmaktadır.

Yığın liçinde, dekapaj malzenmesi veya düşük tenörlü cevherler, 15 cm altına kırılarak bir kil veya jeomembran tabakası üzerinde yığın oluşturulur. Daha sonra bu yığın üzerine sulu sülfirik asit püskürtülerek, elde edilen çözelti doymuşlaştırmaya kadar sisteme devrettirilir [17,18].

Yerinde liç yöntemini bir bakıma da bir maden işletme yöntemi olarak görmek gerekir. Oksitli bakır minerallerini içeren büyük rezervli fakir bakır yataklarında uygulanır. Önce cevher delme patlatma işlemleriyle yerinde parçalanır. Bu parçalanmış cevhere, oksijen ve sulu sülfirik asit enjekte edilir. Ocak derinliklerinde oluşan yüksek hidrostatik basınç ve yüksek ısı sülfürlü bakır minerallerini de bakır sülfata dönüştürür. Sulu bakır sülfat çözeltisi tünellerde toplanarak yerüstüne pompalanır. Bu sulu bakır sülfat çözeltisinden bakır ve onunla beraber çözünmüş metaller kazanılır [1,15].

Tank liçi, ahşap veya betondan imal edilmiş asfalt veya kurşunla kaplı bir tank içerisinde sulu sülfirik asit çözeltisi ile 2.5 cm altına kırılmış yüksek tenörlü oksitli-sülfürlü bakır bakır cevherlerinin muamele edilmesine denir. Tankın alt kısmında geçirgenliği sağlayan ızgara mevcuttur. Günümüzde yerini daha çok karıştırma liçine terk etmekte olan tank liçi yönteminde çözelti doymuşlaştırmaya kadar ya aynı tanka yada bir sonraki tanka devrettirilmektedir [17,18].

Karıştırma liçi, bir tank içinde ekonomik çözünme boyutuna öğütülen cevher veya konsantre, reaktif ilavesiyle pülp halinde karıştırılarak değerli metallerin çözeltiye alınması sağlanır [17].

Basınç altında liç, diğer çözündürme yöntemlerine göre daha yüksek çözündürme verimlerine ulaşmak mümkündür. Otoklavlarda oksijen veya hava basıncı altında sülfürlü bakır cevherlerine uygulanan bir çözündürme yöntemidir. Basınç altında çözündürme işlemi hem asidik hem de bazik ortamda yapılabilir. Yüksek sıcaklık ve basınç uygulamasının yanısıra oksitleyici gazların kullanılması nedeni ile atmosferik koşullarda yapılan liçe göre daha avantajlıdır [14].

Bakır cevherlerine uygulanan liç işlemlerini; çözündürme işlemlerine göre; sülfirik asit liçi, kavurma-sülfirik asit liçi, amonyak liçi, kostik soda liçi, bakteri liçi olarak sıralayabiliriz. Ayrıca bakır konsantrelerine uygulanan, basınçlı sülfirik asit liçi,

basınçlı ferrik sülfat liçi, ferrik klorürür liçi, bakır üretim yöntemlerinin önemli uygulamalarındandır [1].

### 2.3.6.3. Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi

Bakır cevherlerinde sülfürlü bakır mineralleri olarak kalkopirit, kalkosin, bornit, kovelin, tetraedrit, enargit, oksitli bakır mineralleri olarak malahit, azurit, sülfürlü diğer metal mineralleri olarak pirit, pirotin, markazit, ile Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Hg, Sb, Bi'un sülfürlü mineralleri, gang mineralleri olarak kuvars, serizit, barit, kalsit bulunur [1]. Sülfürlü minerallerin gerek yantaştan gerek birbirlerinden ayrılmasında en etkin yöntem flotasyondur. Mineraller flotasyon işlemlerindeki davranışlarına göre, polar olmayan mineraller (grafit, elmas, kükürt vb.), ağır metallerin sülfürleri (galen, sfalerit, pirit vb.), oksitler, silikatlar ve tuzlar olarak sınıflandırılmaktadırlar [23]. Sülfürlü minerallerin flotasyonla zenginleştirilmesinde, anyonik toplayıcılar (ksantatlar, dithiofosfatlar ve merkaptanlar) ve köpürtücü olarak ise çamyağı, kresilik asit, poliglikoller ve alkoller kullanılmaktadır[1,15].

Sülfürlü minerallerin kendi aralarında çok küçük, gang mineralleri ile daha iri boyutlarda serbestleşmeleri durumunda önce kollektif flotasyonla gang mineralleri uzaklaştırılır ve elde edilen kaba konsantre daha küçük boyutlara öğütülerek sülfür mineralleri seçimli flotasyonla birbirinden ayrılırlar. Sülfürlü mineraller ile yan kayaç arasında iri boyutta serbestleşme olması durumunda, toplu flotasyon seçimli flotasyona göre daha avantajlı olmaktadır. Kaba konsantrenin öğütülmesi sırasında mineral yüzeylerindeki artık reaktifler uzaklaştırılmakta, gerekirse  $\text{Na}_2\text{S}$  ve aktif karbon ilavesi ile de aynı etki oluşturulabilmektedir [15].

**Kalkosin** ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu oluşan yüksek bakır içerikli önemli bir mineraldir. Bu nedenle kalkosinle beraber, pirit, kalkopirit, bornit, kovelin, malahit, azurit bulunur. Kalkosin, Ag, Fe, Co, Ni, As, Au içerebilir. Pülp'e Cu iyonları verdiği için, pirit ve sfalerit bastırmasını güçleştirir. Kalkosin flotasyonunda anyonik toplayıcılar bilhassa ksantatlar, dithiofosfatlarla yüzdürülür. Kostik soda ve siyanür kalkosini bastırır. En güçlü kalkosin bastırıcıları  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dir. Kireç kalkosinin yüzebilirliğini olumsuz etkilediğinden piriti bastırmak veya pH ayarlamak için kullanıldığında dikkat gerektirir [1].

**Kalkopirit** ( $\text{CuFeS}_2$ ) en önemli ve en çok üretilen bakır mineralidir. Genelde pirit ve pirotin, sfalerit, galen ve fahllarlarla beraber bulunur. Uzun süre nötr veya hafif alkali ortamda kalmış kalkopirit yüzeyinde ince bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka pH 10'un üzerinde bozunur. Oksitleyici reaktifler kalkopirit yüzeyinde demir hidroksit filmi oluşturarak yüzebilirliğini olumsuz etkilerler. Yüzeyi veya kendisi oksidasyona uğramamış kalkopirit bir köpürtücü yardımıyla yüzdürülebilirse de kalkopirit yüzdürmede normal sülfür toplayıcılardan biri (ksantatlar-dithiofosfatlar) kullanılır. Siyanürlerin kalkopiriti bastırması oldukça iyidir. Siyanür kalkopiritin yüzmesi için gerekli yüzeysel bakır-ksantojen filminin oluşumunu engeller ve aynı zamanda kalkopirit yüzeyinde önceden oluşmuş bakır-ksantojen filmi siyanür ile dağılır. Bu özellikten yararlanarak kollektif galen-kalkopirit konsantrelerinden selektif konsantreler üretilir. Kireç çok fazla kullanıldığında kalkopiriti bastırır. Sülfidin, Na-hyposülfidin, Na-bikromatın kalkopirit üzerinde bastırıcı etkisi yoktur. Bu özellikten galenle kalkopiritin selektif flotasyonundan yararlanılır.

**Bornit** ( $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$ ), kalkopirit ve piritle beraber bulunan, genelde sekonder oluşmuş bakır mineralidir. Yüzebilirliği, kalkosinden iyi kalkopiritten kötüdür. Oksidasyon dayanımı oldukça yüksektir. NaCN'den kalkopirit gibi etkilenir.

**Kovelin** ( $\text{CuS}$ ), pirit, kalkopirit, bornit ve diğer oksidasyon zonu mineralleri ile birlikte bulunur. Kovelin bazen kalkopirit yüzeylerinde koyu mavi film şeklinde rastlanır. Bakır yataklarında ekonomik ağırlıklı mineral olarak bulunan kovelin, flotasyon davranışları yönünden kalkosine benzer. Yüzebilirliği yönünden kalkopirit kadar iyi değildir.

**Pirit**, bakır yataklarında çok sık rastlanan mineraldir. Birçok mineralle birarada bulunmasına rağmen en çok kalkopirit, sfalerit ve galene eşlik eden bir mineraldir [21]. Türkiye'de mevcut tüm volkanik kuşaklar boyunca yer almış olan bakır yatakları içerisinde bol miktarda pirit vardır. Ayrıca granitik kayalar içinde ve linyit yatakları içerisinde pirit mevcuttur [22]. Cevherde yüksek oranda pirit olması halinde ayrıca değerlendirilir. Az olması halinde, bastırılıp ayrı değerlendirilmezlerse, cevherden üretilen bakır veya diğer metal konsantrelerinin tenörlerini düşürür. Bu nedenle, bakır cevherlerinin, diğer sülfürlü metal cevherlerinin zenginleştirilmesinde, piritin flotasyon davranışı önemlidir.

Pirit diğer sülfür mineralleri ile birlikte bulunduğu zaman, genellikle diğer metal sülfürlerin yüzdürüldüğü ilk devrelerde bastırıldıktan sonra, son kademedede zenginleştirilmektedir. Bu yüzden de onun canlandırılmasından çok bastırılması önemli olmuştur. Çeşitli metal iyonlarının sülfürlü mineralleri canlandığı ifade edilmektedir [42]. Piritin  $\text{Cu}^{+2}$  iyonları ile aktivasyonunu elektrokimyasal olarak inceleyen ve yüzeyde demir-hidroksit bileşiklerine ilaveten kalkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) oluşumunun saptandığı çalışmalarda mevcuttur [43]. Pirit kolay oksitlenir. Yüzey aşırı oksitlenmiş ise, pirit minerali yalnızca köpürtücü ile yüzdürülebilir. Zayıf oksitlenmiş piritler, sülfidril toplayıcılarla, yağ asitleri veya bunların sabunlarıyla yüzer. Ksantat kadar etkili olmamakla birlikte, piritin kimyasal adsorplanma ile amin ve sabunlarla yüzdürülebileceği öne sürülmektedir [44]. Alkaliler yüzeyde  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  filmi oluşturur. Bu film pirit yüzeylerine toplayıcı bağlanmasını engeller. Bu nedenle piriti bastırmak için kostik soda ve kireç kullanılır. Piritin hidroksil iyonları ile bastırılması en kolay ve en yaygın yöntemdir. Soda ile pirit bastırmada soda az kullanılırsa  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{CO}_3^{2-}$  iyonları etkili olacağından pirit canlanır. Aşırı soda kullanımında  $\text{OH}^-$  iyonları etkili olup, pirit yüzeylerini oksitleyerek piriti bastırır. Pirit bastırmada alkalilerden başka permanganatlar, bikromatlar ve bilhassa siyanürler kullanılır. Bastırılmış piritin, asidik ortamda yüzeysel oksidasyonu giderildiğinden, ksantatlarla kolayca yüzdürülebilir. Ayrıca,  $\text{CuSO}_4$  pirit yüzdürmede canlandırıcı olarak kullanılır. Organik bastırıcılar, amonyum klorür+oksalik asit, kireç ile birlikte kullanıldığında pirit daha etkin olarak bastırılabilir [19].

Kalkopirit, galen, sfalerit, ve pirit gibi sülfürlü minerallerin kollektörsüz flotasyonu birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kollektörsüz flotasyondan öğütme ve flotasyon ortamı belirleyici olmakta, kalkopirit mineralinin yüzeyinin oksidasyonu sonucunda reaksiyon ürünü olarak  $\text{CuS}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ve elementer kükürt ortaya çıkmaktadır. Mineral yüzeyindeki elementer kükürt varlığı mineralin hidrofobluğunu arttırmakta ve flotasyon özelliğini olumlu yönde etkilemektedir. Kollektörsüz flotasyonda köpürtücü olarak kullanılan yüksek dereceli alkoller flotasyon verimini arttırmaktadır. Flotasyon, tane boyutu özellikle 100  $\mu\text{m}$  ile birkaç  $\mu\text{m}$  arasında değişen tanelerde daha etkin olmaktadır [45-49].

### **3. SİİRT MADENKÖY BAKIR YATAĞI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER**

#### **3.1. Yatağın Coğrafi Konumu ve Cevher Rezervi**

Siirt Madenköy pirit, kalkopirit sfalerit ve manyetit yatağı Siirt ilinin 48 km kuzeydoğusunda bulunmakta olup, adını hemen yanındaki köyden almıştır. Esas cevher kütlesi Madenköy önünden geçen Yoldere ile W-E (Batı-Doğu) yönünde akan derenin kesiştiği yerin kuzey kesiminde bulunmaktadır. Yatağın eski zamanlarda işletildiği, Yoldere boyunca rastlanan cüruf kalıntılarından anlaşılmaktadır. Ayrıca curufların bulundukları yerlerde eski galerilerin varlığı da saptanmıştır [9].

Siirt Madenköy cevher yatağı, bir masif ve emprenye cevher olmak üzere iki ayrı tip cevherden oluşmaktadır. Masif cevherdeki ortalama bakır tenörü %1.4, kükürt tenörü %25-30 ve manyetit miktarı %30-35 olarak saptanmıştır. Masif cevherin ortalama bakır tenörüne emprenye cevherin ortalama %0.4'lük bakır tenörünü ilave edersek, ortaya ortalama tenörü %2-2.95 olan 15-16 milyon tonluk toplam cevher rezervi çıkmaktadır [9].

Siirt Madenköy yatağı sahasında iki ayrı orojenez'e ait kayaç çeşidi bulunmaktadır [11]. Bunlardan Paleozoyik yaşta kabul edilen Bitlis masifinin kristalin serisinin üst kısımlarını oluşturan Permo-Karbonifer yaştaki kireçtaşları yatağın kuzey ve güneyinde yer almaktadır. Kireçtaşları arasında Alp jeosenklinaline ait spilit (kısmen yastık lavlar şeklinde), porfiritik spilit, diyabaz, yer yer bunlarla bariz ardalanma gösteren çamurtaşı, kireçtaşı ve bunların breşleri bulunmaktadır. Ayrıca şarियaj hattı civarındaki kireçtaşı molozları, yoldere içindeki bazalt daykı ve dere kenarlarındaki alüvyonları maden yatağı etrafında rastlanan diğer belli başlı kayaç çeşitleri olarak sayabiliriz [9].

### 3.2. Yatağın Genel Jeolojisi

Cevher sahasında iki ayrı orojene ait kayaç çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan Paleozoyik yaşta kabul edilen Bitlis masifinin kristalin serisinin üst kısımlarını oluşturan Permo-Karbonifer yaştaki kireçtaşları yatağın kuzey ve güneyinde yer almaktadır. Kireçtaşları arasında Alp jeosenklinaline ait spilit (kısmen yastık lavlar şeklinde), porfiritik spilit, diyabaz, yer yer bunlarla bariz ardalanma gösteren çamurtaşı, kireçtaşı ve bunların breşleri bazalt daykı ve dere kenarlarındaki alüvyonları maden yatağı etrafında rastlanan diğer belli başlı kayaçlardır [9]. Çalışma alanında haritalanan birimlerdeki istiflenmeyi şöyle sıralanabilir: Volkanik çakıllı çakıltası, rekristalize çakıllı çakıltası-çamurtaşı, sipilit-porfiri sipilit (yastık lav), sipilit-porfiri spilit.

Diyabaz daykaları tarafından kesilen spilit ve porfiri spilitler birbirlerine geçiş gösterirler. Çamurtaşları ile rekristalize kireçtaşı, çakıllı çakıltaları yatay ve dikey geçiş gösterirler. Kurulması planlanan tesisin hemen kuzeyinde, orta eosen yaşlı bu birimler üzerinde spilit-rekristalize kireçtaşı ardalanması yer almaktadır ve büyük tektonik hatların yakınında farklı boyutlar ve özelliklerde birçok faylar gelişmiştir. Güneyden kuzeye doğru bu faylanmalar etkisiyle oluşmuş basamak şeklinde blok düşmeleri saptanmıştır. Cevherleşmenin konumunda  $F_3$  ve  $F_4$  fayının dışındaki faylar etkili olmamıştır.

Siirt-Madenköy piritik cevheri Eosen Miyosen yaşlı olup volkanik sedimanter ve hidrotermal oynatımlarla oluşmuştur. Mercek şeklinde oluşan cevher yatağı Doğu-Batı yönünde kuzeye  $50^0$ - $60^0$  dalımlıdır. Yatak boyutu 600x300x50m dir [9].

Masif cevher dört ana mineralin kombinasyonu şeklindedir. Cevher yukarıdan aşağıya doğru, **pirit**, **pirit+kalkopirit**, **pirit+kalkopirit+sfalerit**, **pirit+kalkopirit+manyetit** ve **manyetit+piritçe** zengin farklı cevher seviyelerinin bulunduğu görülür [4,10]. Tablo 3.1 ve 3.2'de görünür ve işletilebilir rezerv miktarları, metal içerikleri, Tablo 3.3'de ise işletilebilir piritik bakırın rezerv durumu %15 cevher kaybı kabul edilerek verilmiştir [4].

**Tablo 3.1:** Görünür Rezerv (Cut off grade %0.3 Cu, %0.3 Zn, %20 S, %20 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>).

| Cevher                    | Miktar<br>(Milyon Ton) | Cu<br>(%)   | Zn<br>(%)   | S<br>(%)     | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub><br>(%) |
|---------------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------------------|
| Pirit                     | 4                      | 0.21        | 0.05        | 31.49        | 0.71                                  |
| Pirit+Kalkopirit          | 11                     | 1.82        | 0.12        | 30.89        | 2.60                                  |
| Pirit+Kalkopirit+Sfalerit | 5                      | 3.80        | 2.69        | 28.59        | 0.09                                  |
| Pirit+Kalkopirit+Manyetit | 4                      | 2.06        | 0.06        | 12.42        | 36.24                                 |
| <b>TOPLAM</b>             | <b>24</b>              | <b>2.03</b> | <b>0.66</b> | <b>27.38</b> | <b>7.43</b>                           |

**Tablo 3.2:** İşletilebilir Rezerv (Cut off grade %1.26 Cu).

| Cevher                    | Miktar<br>(Milyon Ton) | Cu<br>(%)   | Zn<br>(%)   | S<br>(%)     | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub><br>(%) |
|---------------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------------------|
| Pirit                     | -                      | -           | -           | -            | -                                     |
| Pirit+Kalkopirit          | 6                      | 2.46        | 0.16        | 31.56        | 3.00                                  |
| Pirit+Kalkopirit+Sfalerit | 5                      | 3.76        | 2.70        | 28.68        | 0.11                                  |
| Pirit+Kalkopirit+Manyetit | 3                      | 2.66        | 0.6         | 11.91        | 35.56                                 |
| <b>TOPLAM</b>             | <b>14</b>              | <b>2.95</b> | <b>1.03</b> | <b>26.58</b> | <b>8.53</b>                           |

**Tablo 3.3:** İşletilebilir Piritik Bakır Rezervi

| Cevher        | Miktar<br>(Milyon Ton) | Cu<br>(%) | Zn<br>(%) | S<br>(%) |
|---------------|------------------------|-----------|-----------|----------|
| Piritik Bakır | 16                     | 2.16      | 0.77      | 23.08    |

### 3.3. Siirt Madenköy Bakır Zenginleştirme Tesisi ile İlgili Bilgiler

Dünyanın bilinen en eski maden ocağı olan bakır sahasında, 1970’li yıllarda Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından yapılan incelemelerde söz konusu bakır cevheri imkansızlıklar nedeni ile çıkarılamamıştır. Daha sonra Eti Holding A.Ş. tarafından devralınmıştır. Son olarak, Ocak 2004 tarihinde yapılan ihale sonucunda, 20.01.2004 tarihinde söz konusu bakır madeninin ruhsat hakkı Ciner Grubu tarafından devir alınmıştır. Ciner Grubu’nun toplam 50 milyon dolarlık yatırım ile bakır cevherini ekonomiye kazandırması planlanmaktadır [8].

İR-3748 işletme ruhsatlı sahadan çıkarılan bakır madeni, kurulan Flotasyon Tesisinde zenginleştirilecektir. Tesisin başlangıçtaki günlük kapasitesi 1.000 ton tüvenan cevher olarak planlanmıştır. Projenin ömrü yaklaşık 20 yıl olarak öngörülmektedir. Tesiste yılda 300 gün, günde 8’er saatlik üç vardiya halinde çalışılacaktır. Konsantratör Tesisinde yer alacak üniteler aşağıda verilmektedir [8].

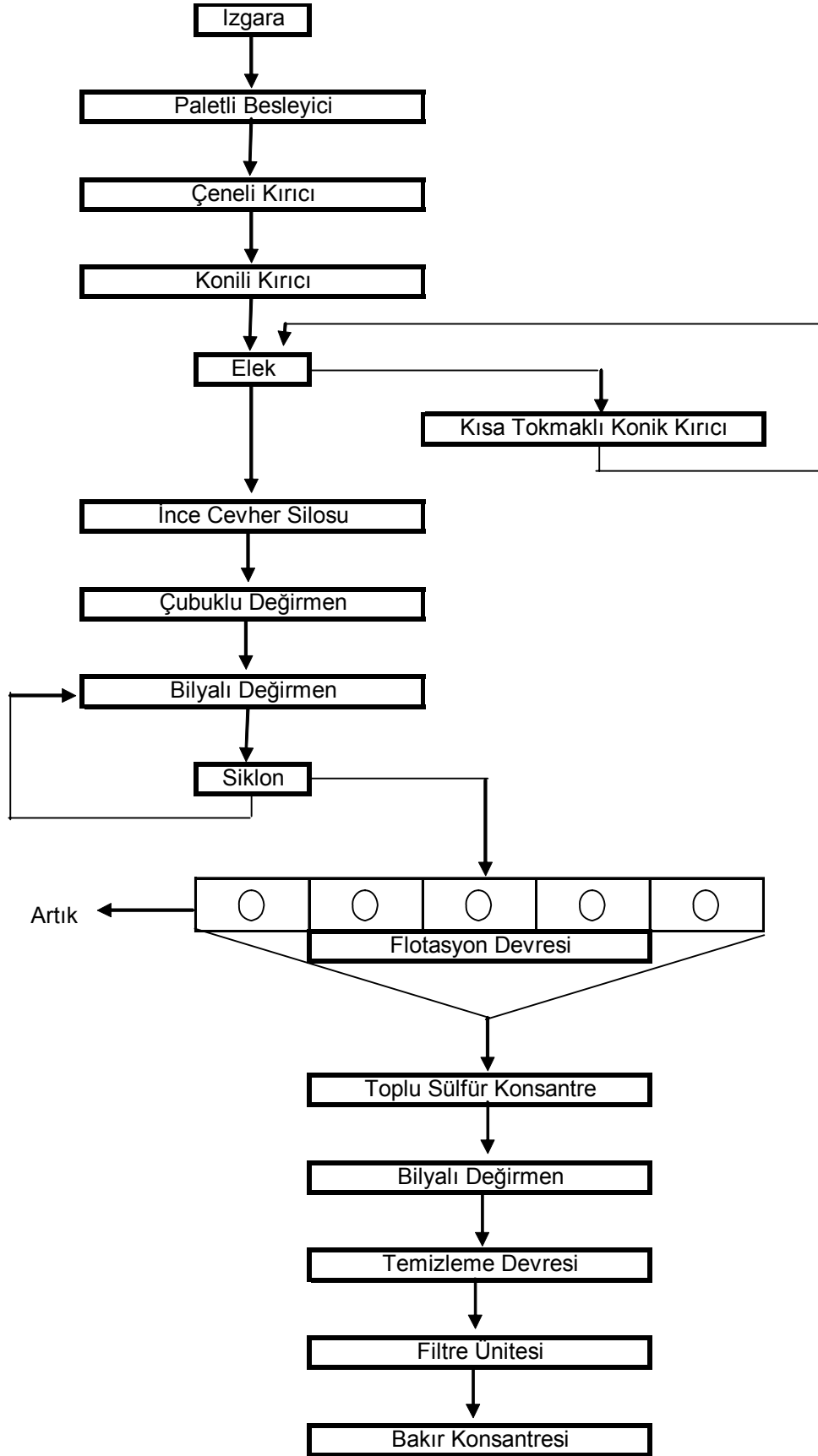
**Kırma Ünitesi:** Izgaraya beslenen cevher paletli besleyici ile 5,5 ft’lik primer kırıcıya beslenecektir. Primer kırıcıdan çıkan cevher, 5,5 ft’lik ve 4 ¼ ft’lik sekonder kırıcılara (konik kırıcılara) beslenecektir. Konik kırıcılar çıkışı, 2500 mmx6000 mm boyutundaki tek katlı eleğe beslenecektir. Elek üstü, oluk ile 5,5 ft olan tersiyer

kırıcılara (kısa kafalı konik kırıcı) beslenecektir. Elek altı, ince cevher silosuna gidecektir. 5,5 ft'lik tersiyer kırıcı kapalı devre çalışacaktır. Primer kırıcı cevher giriş boyutu -500 mm, seconder kırıcı giriş boyutu -100 mm, tersiyer kırıcı giriş boyutu -40 mm olacaktır [8].

**Öğütme Ünitesi:** Kırma ünitesinde -20 mm'ye indirilen cevher, 9"x12" (2.745 mm x 3.660 mm)'lik çubuklu değirmenlere beslenecektir. Çubuklu değirmenlerin çıkışı 10"x12" (3.050 mm x 3.660 mm)'lik bilyalı değirmenlere beslenecektir. Bilyalı değirmenler, siklon ile kapalı devre çalışacaktır. Siklon alt akımı 8"x10" (2.440 mm x 3.050 mm)'lik diğer bilyalı değirmenlere beslenecektir. Siklon üst akımı kollektif flotasyon devresine beslenecektir. Kollektif devre yüzenleri yine 8x10 ft'lik re-grinding (yeniden öğütme) değirmenlerine beslenerek ince öğütmeye geçilecektir.

**Yüzdürme Ünitesi:** Konsantratör Tesisindeki çalışma bakır konsantresi üretimine yönelik olacaktır. Bakırın serbestleşme tane boyutu 270 mesh (-53 mikron) olarak tespit edilmiştir. Öğütmede öncelikle %50'si -200 mesh (-74 mikron) boyutuna indirilerek kollektif flotasyon yapılacaktır. Pirit ile bakır minerali birlikte yüzdürülecek üzen malzeme 8x10 ft'lik değirmene basılacaktır. Bunun sebebi pirit ile bakır ince tanede serbestleşmektedir. Re- grinding değirmeninde tekrar öğütülen cevher temizleme devresine gönderilerek üç temizleme sonucunda bakır konsantresi üretilecektir. Flotasyon devresinde 8 adet 16 m<sup>3</sup> 'lük, 5 adet 8 m<sup>3</sup>'lük ve 22 adet 2.83 m<sup>3</sup>'lük selüller kullanılacaktır [8].

**Filtre Ünitesi:** Üretilen bakır konsantresi, 3000 mm çapında ve 8 diskli disk filtre kullanılarak filtre edilecektir. Filtre ünitesi günde 1 vardiya (günde 8 saat) çalışacaktır. Filtre ünitesinin kapasitesi 30 ton/saat olarak planlanmaktadır [8].



**Şekil 3.1:** Siirt Madenköy Bakır Konsantratör Tesisi Akım Şeması [8]

## **4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4.1. Malzeme ve Yöntem**

Siirt ili, Şirvan ilçesi sınırları içinde İR-3748 İşletme ruhsatlı saha içerisinde Park Elektrik Madencilik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından Bakır Cevher Zenginleştirme Tesis (Konsantratör Tesis) ’nin kurulması tamamlanmak üzeredir. Sahada yapılan sondaj çalışmalarından alınan karot numunelerinin, öncelikle fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri saptanmış, flotasyon yöntemi ile zenginleştirilme olanakları bu tez kapsamında araştırılmıştır.

#### **4.1.1. Numune Alma ve Hazırlama**

Ruhsat sahasından gelen 52 kg karot numunesinden, mineralojik analiz için numune alındıktan sonra, geri kalanı deneylerde kullanılmak üzere 2 mm altına kırılmıştır.

#### **4.1.2. Deneylerde Kullanılan Numunenin Özellikleri**

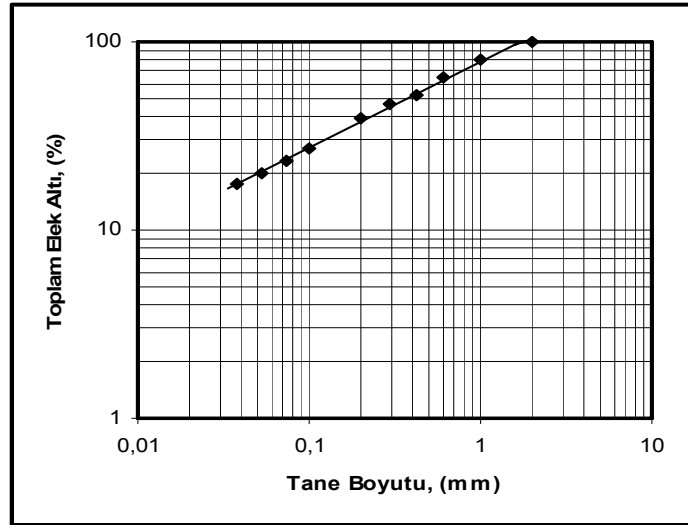
Sahadan alınan karot numunesinin, fiziksel özellikleri saptanmış, mineralojik incelemeleri ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

##### **4.1.2.1. Numunenin Fiziksel Özellikleri**

Zenginleştirme çalışmalarında kullanılmak üzere sahadan alınan karot numunelerinin boyut dağılımı Tablo 4.1’de ve boyut dağılım grafiği Şekil 4.1’de verilmektedir.

**Tablo 4.1:** Tamamı 2 mm Altına Kırılan Cevherin Boyut Dağılımı

| Boyut<br>(mm) | Miktar<br>(%) | Elek Üstü<br>(%) | Elek Altı<br>(%) |
|---------------|---------------|------------------|------------------|
| -2+1          | 18.7          | 18.7             | 100.0            |
| -1+0.595      | 16.7          | 35.4             | 81.3             |
| -0.595+0.420  | 12.6          | 48.0             | 64.6             |
| -0.420+0.297  | 5.3           | 53.3             | 52.0             |
| -0.297+0.2    | 7.8           | 61.1             | 46.7             |
| -0.2+0.105    | 11.8          | 72.9             | 38.9             |
| -0.105+0.074  | 3.7           | 76.6             | 27.1             |
| -0.074+0.053  | 3.4           | 80.0             | 23.4             |
| -0.053+0.038  | 2.4           | 82.4             | 20.0             |
| -0.038        | 17.7          | 100.0            | 17.7             |
| TOPLAM        | 100.0         |                  |                  |

**Şekil 4.1:** Tamamı 2 mm Altına Kırılmış Cevherin Boyut Dağılım Grafiği

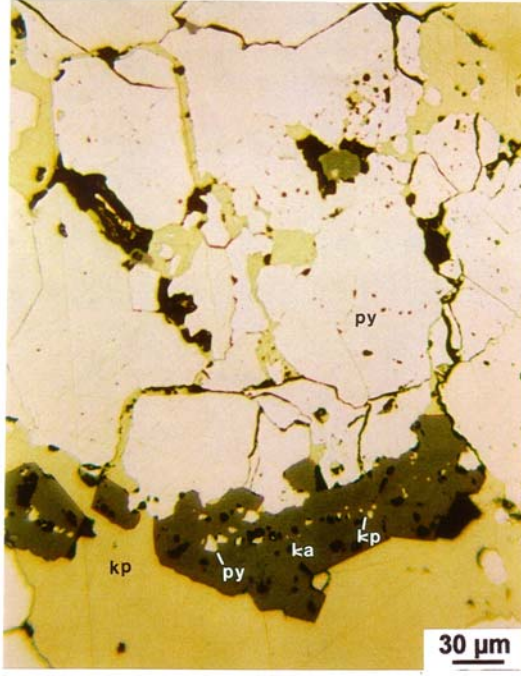
#### 4.1.2.2. Numunenin Minerolojik Özellikleri

Deneysel çalışmalara esas olan cevher numunesinin bileşiminde bulunan çeşitli mineral özelliklerini belirlemek amacı ile gönderilen karot numunelerinden seçilen karakteristik örneklerden toplam 10 adet parlak kesit yapılmıştır. Kesitlerin mikroskopik incelemeleri sonucu, cevher bileşiminin büyük bir çoğunluğunu kalkopirit ve pirit minerallerinin teşkil ettiği ayrıca örneklerde değişik oranlarda markasit, pirotin, sfalerit, galen, kovelin, hematit, müşketoffit, götit, limonit, manyetit, rutil, sfen, kromit, ile birlikte kuvars, kalsit, siderit, ve klorit gibi gang minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir [20].

**Kalkopirit**, kesitlerde şekilsiz taneler halinde ve farklı yapılarda bulundukları gözlenmiştir. Kalkopirit genellikle pirit tanelerinin boşluklarını dolduran matriks yapıcı mineral olarak ayrıca kataklastik yapı gösteren pirit tanelerinin kırık ve çatlaklarında damar dolgusu şeklinde izlenmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.6, 4.7 ve Şekil 4.8) [20].

Bazı örneklerde kalkopirit, pirit ile birlikte kolloidal yapıda konsantrik ve kabuksu şekillerde eş olumlu büyüme gösteren tanelere yaygın olarak rastlanılmıştır (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Gang mineralleri içinde saçılım halinde izlenen kalkopirit tanelerinin boyutları 5 ile 90 mikron arasında değişmekte ortalama boyutları 20 mikron dolayındadır (Şekil 4.10). Kalkopirit içinde yer yer kısmen pirit dönüşmüş halde ve 45 ile 130 mikron arasında değişen boyutlarda pirotin tanelerine rastlanmaktadır. Kalkopirit tanelerinin kırık, çatlakları ve dilinimleri boyunca ayrışması sonucu kısmen koveline dönüştükleri gözlenmiştir [20].

**Pirit**, şekilli, yarı şekilli ve şekilsiz taneler halinde ve 5 mikron ile 2 mm arasında değişen boyutlarda kataklastik ve kolloidal yapılarda izlenmektedir. Pirit tanelerinin deformasyon sonucunda kataklastik bir yapı kazandıkları ve oluşan bu kırık ve çatlakların daha sonra kalkopirit, kalsit ve kuvars tarafından dolduruldukları gözlenmiştir. Birbirleriyle kenetli ve serbest halde kalkopirit ve gang mineralleri içinde izlenen pirit taneleri kalkopirit tarafından ornatılmaktadır. Şekilli pirit tanelerinin içinde yer yer 2 ile 10 mikron arasında değişen boyutlarda kalkopirit, manyetit ve kromit kapanımlarına rastlanılmıştır. Pirit taneleri kısmen ayrışarak hematit ve limonit minerallerine dönüştükleri gözlenmiştir. Kesitlerde çubuk ve lata



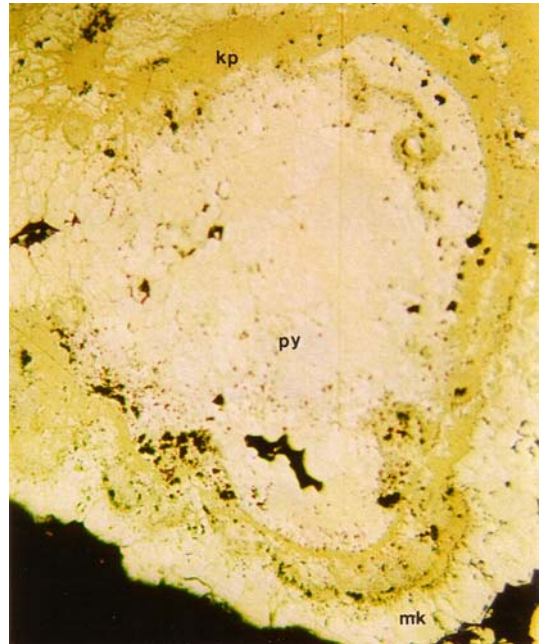
**Şekil 4.2:** Kırıklanmış pirit (**py**) tanelerinin boşluklarını dolduran kalkopirit (**kp**) ve kalsit (**ka**).



**Şekil 4.3:** Kalkopirit (**kp**) içerisinde kataklastik yapı gösteren pirit (**py**).



**Şekil 4.4:** Konsantrik ve koloidal doku da kalkopirit (**kp**) ile birlikte büyüme gösteren pirit (**py**).



**Şekil 4.5:** Konsantrik ve koloidal doku da kalkopirit (**kp**) ile birlikte büyüme gösteren pirit (**py**) ve markasit (**mk**).

şekilli kristaller halinde izlenen markasit genellikle pirittten dönüşerek oluşmaktadır (Şekil 4.10) [20].

**Manyetit**, şekilli ve yarı şekilli kristaller halinde 5 ile 40 mikron arasında değişen boyutlarda diyabaz bileşimli yan kayaç içinde saçılmış halde izlenmektedir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13). Manyetit tanelerinin kenar ve dilinimleri boyunca kısmen mertitleşmesi ve ayrışması sonucu hematit ve manyetit minerallerine dönüştükleri gözlenmiştir [20]. Kesitlerde genellikle çubuk şekilli kristaller halinde ve manyetitten dönüşmüş olarak izlenen hematit (muşketoffit) tanelerinin içinde manyetit tanelerine rastlanılmıştır (Şekil 4.11). Manyetit tanelrinde zonlu yapılar yaygın olarak izlenmekte ve manyetit içinde yer yer 1 ile 10 mikron arasında değişen boyutlarda pirotin ve kromit tanelerine rastlanılmıştır.

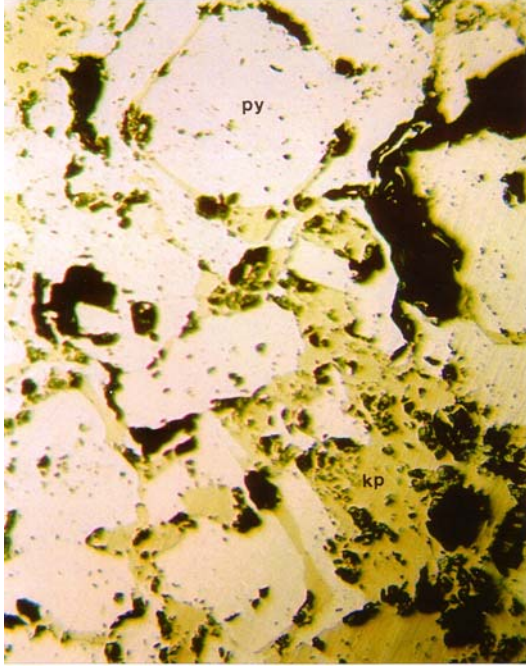
**Sfalerit**, kesitlerde eser miktarda genellikle gang mineralleri ve kalkopirit içinde 20 ile 60 mikron arasında değişen boyutlarda gözlenmiştir [20].

#### 5.1.2.1. Numunenin Kimyasal Özellikleri

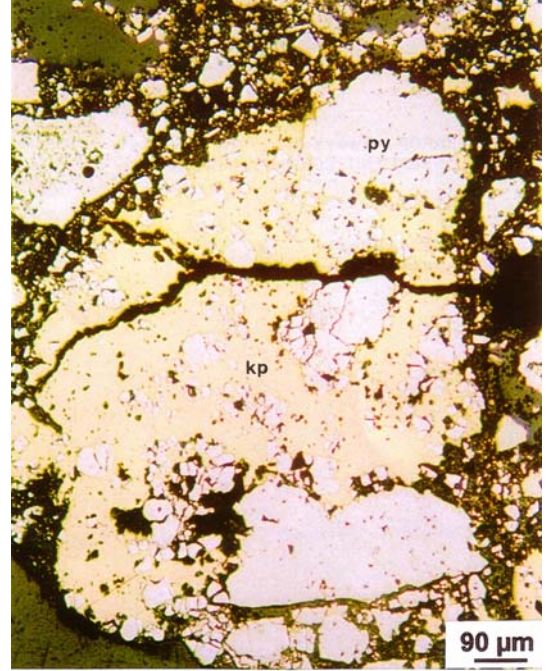
Cevherin toplu kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Siirt-Madenköy Cevherinin Kimyasal Analiz Sonuçları

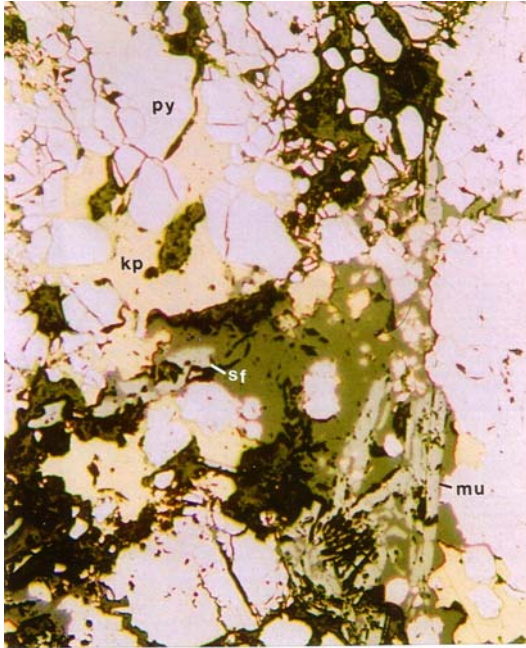
| ELEMAN                             | İÇERİK (%) |
|------------------------------------|------------|
| <b>Cu</b>                          | 3.11       |
| <b>Zn</b>                          | 0.29       |
| <b>Fe</b>                          | 34.07      |
| <b>S</b>                           | 33.50      |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 14.92      |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 1.00       |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>             | 0.17       |



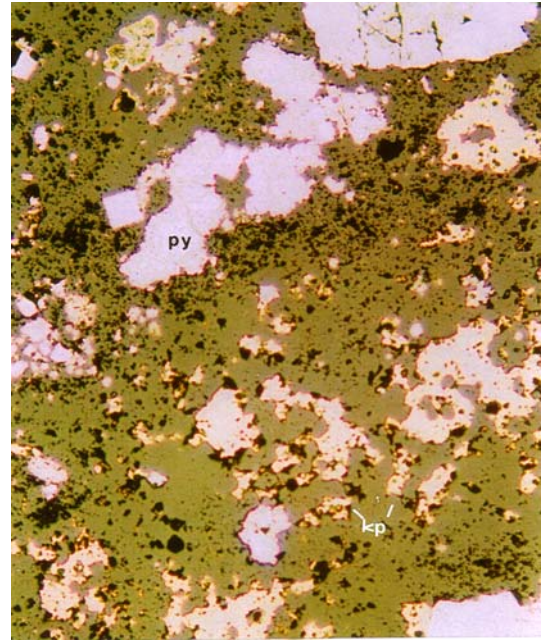
**Şekil 4.6:** Kalkopirit (**kp**) içerisinde kırık pirit (**py**) taneleri.



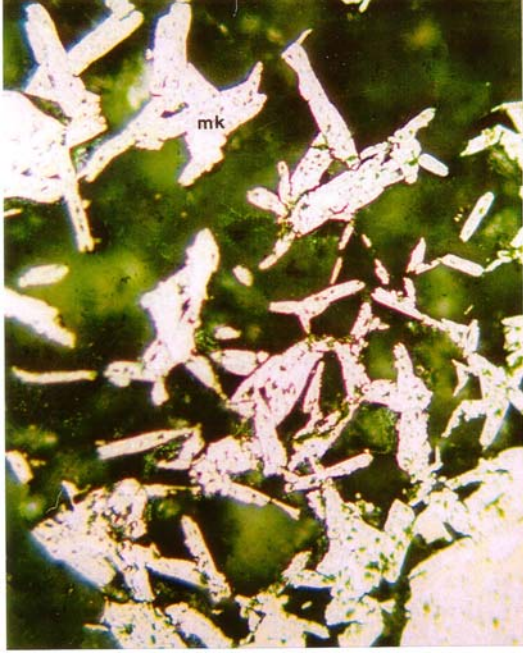
**Şekil 4.7:** Kalkopirit (**kp**) içerisinde kırık pirit (**py**) taneleri.



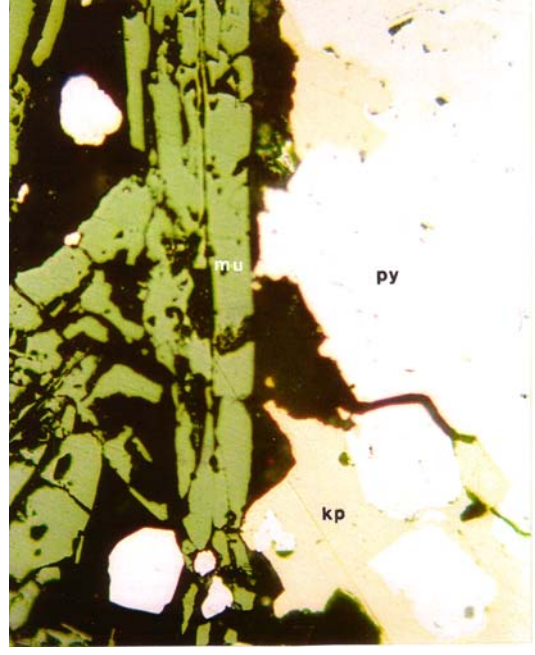
**Şekil 4.8:** Pirit (**py**) tanelerinin boşluklarını dolduran kalkopirit (**kp**) ile birlikte sfalerit (**sf**) ve muşketoffit (**mu**).



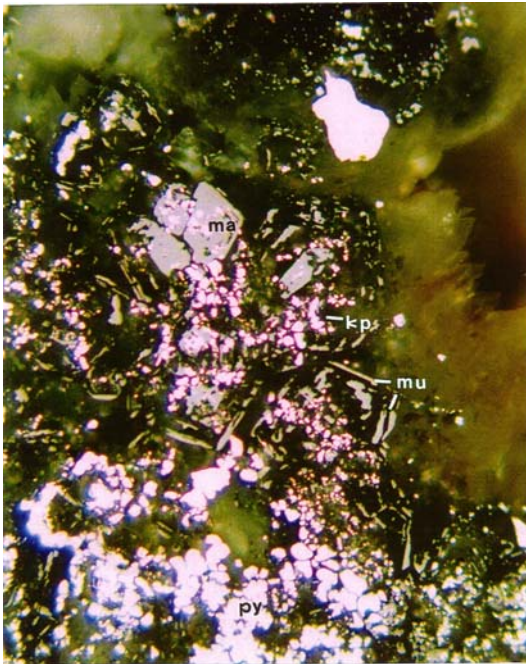
**Şekil 4.9:** Gang mineralleri içerisinde saçılmış halde izlenen kalkopirit (**kp**), pirit (**py**) ve galen (**ga**).



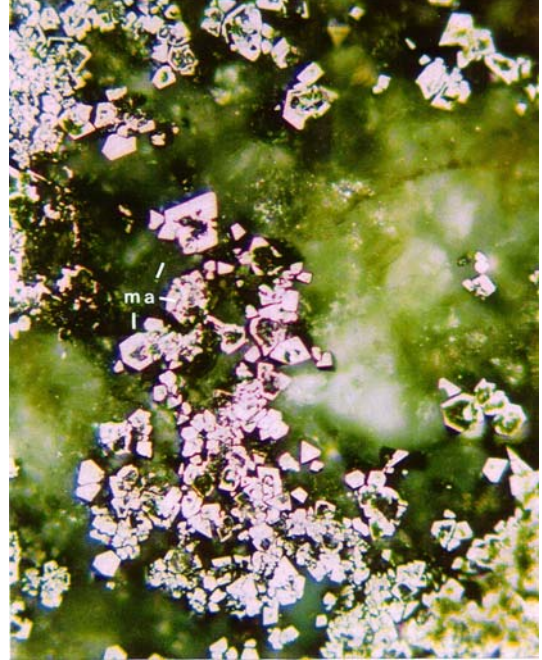
**Şekil 4.10:** Gang mineralleri içerisinde çubuk şekilli kristaller halinde izlenen markasit (**mk**).



**Şekil 4.11:** Kalkopirit (kp) ve pirit (py) ile birlikte izlenen çubuk şekilli muşketoffit (**mu**) kristalleri.



**Şekil 4.12:** Gang mineralleri içinde kalkopirit (kp), pirit (py), manyetit (**ma**), Pirotin (**pr**) ve muşketoffit (**mu**).



**Şekil 4.13:** Gang mineralleri içinde izlenen manyetit (**ma**), pirotin (**pr**), ve pirit (**py**) taneleri.

#### 4.1.3. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar ve Reaktifler

Deneylerde pilot ölçekli çeneli ve merdaneli kırıcı, çapı 19.4 ve boyu 17.3 cm olan. laboratuvar tipi bilyalı değirmen ve elekler, Şekil 4.14’de gösterilen laboratuvar ölçekli flotasyon hücresi, 2.5 ve 1 litrelik flotasyon hücreleri, pH ölçer, KAX (Potasyum Amil Ksantat), KEX (Potasyum Etil Ksantat), AEROPHINE 3418 A (Sodyumizobutildithiyofosfat), AEROFLOAT 211 (Sodyumizopropildithiyofosfat), MIBC (Metaizobutylkarbinol), çamyacı, kireç,  $H_2SO_4$ .



**Şekil 4.14:** Laboratuvar Ölçekli Flotasyon Hücresi

#### 4.1.4. Yöntem

Siirt-Madenköy Cevher Yatağı’ndan alınan karot numunesinden yüksek bakır içerikli konsantre elde etmek amacı ile flotasyon yöntemiyle zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiş ve kimyasal analiz yöntemi kullanılmıştır. Yüksek bakır içerikli konsantre elde etmek ve toplayıcı cinsinin, miktarının ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisini incelemek amacı ile flotasyon deneyleri yapılmıştır. Flotasyon deneylerinde, kollektör cinsini ve miktarını belirlemek için yaklaşık olarak %80’i 43  $\mu m$  altına geçecek şekilde öğütülmüş cevher numuneleri kullanılmıştır.

Cevher numunesinin kimyasal bileşiminin belirlenmesi, zenginleştirme deneylerinin denetlenmesi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik olarak kimyasal analizler yapılmıştır. Cu atomik adsorpsiyon yöntemiyle analiz edilmiştir.

#### **4.5. Flotasyon Deneyleri**

Birarada bulunduğu diğer sülfür mineralleri (kalkopirit, galeni sfalerit vs.) ile pek fazla fiziksel fark göstermeyen ve genellikle ince boyutlarda serbestleşen pirit, bu minerallerden, fiziksel yöntemler ile ayıramamaktadır. Bu minerallerin gerek birbirinden, gerekse yantaştan ayrılmasında kullanılan en etkin yöntem, yüzey özellik farklılıklarına dayanan flotasyon yöntemidir [16]. Zenginleştirme deneylerinde incelenen parametreler ve bu parametrelerin aldığı değerler aşağıda verilmiştir.

##### **A. Seçimli Sülfür Flotasyonu**

- Toplayıcı Cinsinin Belirlenmesi

**1. KEX (Potasyum Etil Ksantat)**

**2. AEROPHINE 3418 A (Sodyumizobütildithiyofosfat)**

**3. AEROFLOAT 211 (Sodyumizopropildithiyofosfat)**

- Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi

**1. AEROPHINE 3418 A (60-90-150-300 gr/t)**

**2. AEROFLOAT 211 (60-300-400-500 gr/t)**

- Öğütme Boyutunun Belirlenmesi. (Malzemenin %80'ninin elek altına geçtiği boyut)

**1. 100  $\mu$ m**

**2. 74  $\mu$ m**

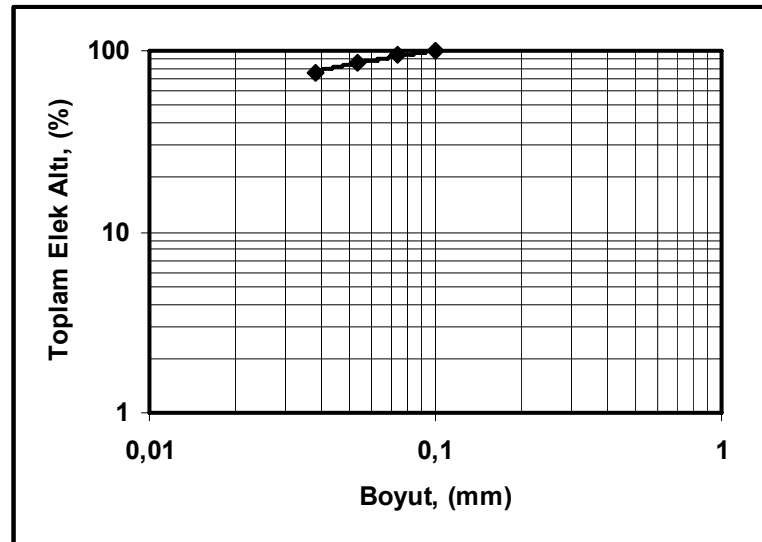
**3. 53  $\mu$ m**

##### **B. Toplu Sülfür Flotasyonu**

Zenginleştirme deneylerinde, toplayıcı cinsini ve miktarını belirlemek için öncelikle öğütme boyutu sabit tutulmuştur. Deneylerin gerçekleştirildiği malzemenin boyut dağılımı Tablo 4.3’de ve boyut dağılım grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.

**Tablo 4.3:** Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Malzemenin Boyut Dağılımı

| <b>Boyut<br/>(mm)</b> | <b>Miktar<br/>(%)</b>       | <b>Toplam Elek Üstü<br/>(%)</b> | <b>Toplam Elek Altı<br/>(%)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>+0,1</b>           | 1.2                         | 1.2                             | 100.0                           |
| <b>-0,1+0,074</b>     | 3.2                         | 4.4                             | 98.8                            |
| <b>-0,074-0,053</b>   | 9.6                         | 14.0                            | 95.6                            |
| <b>-0,053+0,038</b>   | 10.2                        | 24.2                            | 86.0                            |
| <b>-0,038</b>         | 75.8                        | 100.0                           | 75.8                            |
| <b>TOPLAM</b>         | 100.0                       |                                 |                                 |
| <b>d80</b>            | <b>43 <math>\mu</math>m</b> |                                 |                                 |



**Şekil 4.15:** Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Malzemenin Boyut Dağılım Grafiği

#### 4.2.1. Seçimli Sülfür Flotasyonu

Sülfürlü minerallerin flotasyon mekanizmaları üzerindeki tartışmalar hala devam etmekte ve bu minerallerin her birinin farklı flotasyon özellikleri gösterdiği bilinmektedir. Günümüzde, sülfürlü minerallerin toplacıyla adsorpsiyon mekanizmaları için genellemeler yapmak yerine, her bir sülfürlü mineralin ayrı ayrı incelenmesi doğrultusunda çalışmalar yapılmaktadır [36,37,38]. Bu tez kapsamında zenginleştirme deneylerine öncelikle seçimli sülfür flotasyonu ile başlanmıştır. Deneylerde, toplayıcı cinsinin, miktarının ve öğütme boyutunun flotasyona olan etkileri incelenmiştir. Toplayıcı cinsinin ve miktarının incelendiği deneylerde öğütme boyutu sabit tutulmuştur. Malzeme, kontrollü olarak %80'i 43 µm altına geçecek şekilde öğütülerek, 500 gr'lık numuneler hazırlanmıştır. Öğütmede bilya şarjı %50, pülp te katı oranı %60 alınmıştır. Siirt-Madenköy cevherinin, sülfür minerallerinin gang minerallerinden serbestleşme boyutu 100 µm , sülfürlü minerallerin birbirlerinden ayrılma boyutu 53 µm olarak tespit edilmiştir.

##### 4.2.1.1. Toplayıcı Cinsinin Zenginleştirmeye Olan Etkisinin İncelenmesi

Sülfür minerallerinin yüzeylerinin hidrofobik özellik kazanmasında kullanılan en yaygın kollektörler tiyo-tip ve sülfidril kollektörlerdir. Tiyo-tip toplayıcılarla pirit ve bakır minerallerinin flotasyonu konusunda kapsamlı ve karşılaştırılmalı çalışmalar yapılmıştır. Toplayıcı olarak ksantat, ditiyofosfat, tiyokarbamat ve diksantojen kullanılarak yapılan çalışmalarda piritin en iyi ksantatla ve asidik bölgelerde yüzdürülebildiği saptanmıştır [26,27,28]. Bu sebeple bütün pirit devrelerinde KAX (Potasyum Amil Ksantat) kullanılmıştır. Siirt-Madenköy cevher yapısının hangi tip toplayıcıya uygun olduğunu belirlemek amacı ile ksantat kökenli KEX (Potasyum Etil Ksantat), dithiofosfin kökenli AEROPHINE 3418 A (Sodyumizobütildithiofosfin), dithiofosfat kökenli AEROFLOAT 211 (Sodyumizopropildithiofosfat) kullanılmıştır. Dithiofosfatlar ksantatlara göre daha zayıf tiyo-tip anyonik toplayıcılardır. Bu özelliklerinden dolayı flotasyonda, bilhassa demir sülfürlerin bastırılarak diğer sülfürlerin yüzdürülmesinde ditiyofosfatlar tercih edilir [29]. Dithiofosfinler (AERO 3418 A) ve dithiofosfatlar aynı yapıda toplayıcılardır fakat özellikleri farklıdır. AERO 3418 A'nın metal kompleksleri daha kararludur ve yüzdürebilme kapasitesi dithiofosfatlardan yüksektir.[30,31-33]. Ayrıca, AERO 3418 A ile yüksek pH (11-12) değerlerinde çalışıldığında etkinliği

artmaktadır [34]. Köpürtücü olarak, bakır devresinde MIBC (Metaizobutylkarbinol) kullanılmıştır. MIBC sülfürlü ve diğer cevherlerde köpüğün birbirine yapışmasını engelleyen ve daha homojen köpük alınmasını sağlayan özelliğe sahiptir. Köpüğün homojen olmasında cevherin boyut dağılımı ve cevheri oluşturan minerallerin ıslanabilme özellikleri de etkilidir [35]. Pirit devresinde ise köpürtücü olarak çamyağı kullanılmıştır.

Ksantatlar ( $\text{ROCS}_2$   $\text{R}=\text{CH}_2$ ,  $\text{R}=2-16$ ) ilk olarak 1923’de kullanılmış olup, günümüzde sülfürlü mineraller için en yaygın olarak kullanılan toplayıcılardır [39]. Toplayıcı cinsinin belirlenmesi için yapılan deneylerde, pirit devrelerinde KAX (Potasyum Amil Ksantat) ve köpürtücü olarak çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi, bütün devrelerde aynı olup 3 dakika , köpük alma süresi de 3 dakika olarak alınarak, kalkopirit devresinde pH 11.8 alınmıştır. Gerek literatürde gerekse değişik kökenli piritlerin flotasyon özelliklerinin araştırıldığı “Piritlerin Flotasyon Davranışı ve Yüzey Özellikleri” konulu doktora tez çalışması kapsamında piritlerin en iyi pH 4 değerinde yüzdüğü saptanmıştır [16]. Bu nedenle pirit devresinde pH 4-5 arasında alınmıştır.

KEX ile yapılan deneyin akım şeması Şekil B.1’de ve Metalurjik Denge Tablosu Tablo 4.4’de verilmiştir.

KEX ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH’ı 6.7 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH’ı 11.8 yapabilmek için kireç ilave edilerek, toplam 140 gr/t toplayıcı (KEX) ve 70 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit Devresinde toplam 300 gr/t kollektör (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.4: KEX ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu**

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 8.6        | 22.70        | 69.6      |
| Ara Ürün 1 | 4.1        | 4.26         | 5.8       |
| Ara Ürün 2 | 1.8        | 9.02         | 6.2       |
| Pirit      | 62.7       | 0.75         | 16.8      |
| Artık      | 22.8       | 0.20         | 1.6       |
| TOPLAM     | 100.0      | 2.80         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.1’de ve sonuçları Tablo 4.4’de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %8.6 oranında %22.7 Cu içerikli bir konsantre % 69.6 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %22.8 oranında bir artık ise 0.2 Cu içeriği ve %1.6 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 62.7 oranında pirit konsantresi ise %0.75 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %16.8’dir.

AEROPHINE 3418 A (Sodyumizobütildithiyofosfin) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH’ı 6.46 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH’ı 11.8 yapabilmek için kireç ilave edilerek kalkopirit devresinde toplam 60 gr/t toplayıcı (AEROPHINE 3418 A) ve 60 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 4 kademedir ve temizleme devresinin 2.ve 3. kademesinde toplam 64 g/t MIBC, 4. kademesinde 30 gr/t AEROPHINE 3418 A ve 34 g/t MIBC kullanılmıştır. Pirit devresinde toplam 300 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.5: AEROPHINE 3418 A ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu**

| ÜRÜNLER           | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|-------------------|------------|--------------|-----------|
| <b>Konsantre</b>  | 9.0        | 26.80        | 76.7      |
| <b>Ara Ürün 1</b> | 1.0        | 11.74        | 3.7       |
| <b>Ara Ürün 2</b> | 2.0        | 10.65        | 6.8       |
| <b>Ara Ürün 3</b> | 2.3        | 5.15         | 3.8       |
| <b>Ara Ürün 4</b> | 5.9        | 1.82         | 3.4       |
| <b>Pirit</b>      | 56.8       | 0.26         | 4.7       |
| <b>Artık</b>      | 23.0       | 0.12         | 0.9       |
| <b>TOPLAM</b>     | 100.0      | 3.14         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.2’de ve sonuçları Tablo 4.5’de verilen 4 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %9.0 oranında %26.8 Cu içerikli bir konsantre % 76.7 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %23.0 oranında bir artık ise 0.12 Cu içeriği ve %0.9 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 56.8 oranında pirit konsantresi ise %0.26 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.7’dir

AEROFLOAT 211 (Sodyumizopropildithiyofosfat) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH’ı 6.48 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH’ı 11.8 yapabilmek için kireç ilave edilerek, toplam 150 gr/t toplayıcı (AEROPHINE 3418 A) ve 70 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. pirit devresinde toplam 300 gr/t kollektör (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.6:** AEROLOAT 211 ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR<br>(%) | İÇERİK<br>(%Cu) | VERİM<br>(%) |
|------------|---------------|-----------------|--------------|
| Konsantre  | 6.1           | 28.00           | 63.4         |
| Ara Ürün 1 | 1.3           | 8.70            | 4.2          |
| Ara Ürün 2 | 3.4           | 3.53            | 4.5          |
| Pirit      | 63.6          | 1.10            | 26.0         |
| Artık      | 25.6          | 0.20            | 1.9          |
| TOPLAM     | 100.0         | 2.69            | 100.0        |

Akım Şeması Şekil B.3’de ve sonuçları Tablo 4.6’de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %6.1 oranında %28.0 Cu içerikli bir konsantre % 63.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %25.6 oranında bir artık ise 0.2 Cu içeriği ve %1.9 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 63.6 oranında pirit konsantresi ise %1.1 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %26.0’dır

#### 4.2.1.2. Toplayıcı Miktarının Zenginleştirmeye Olan Etkisinin İncelenmesi

Bakır minerallerinin yüzdürülmesinde ditiyofosfat tipi reaktiflerin ksantat tipi reaktiflerden daha selektif olduğu kabul edilmektedir [29,33,34,40]. Cevherin yapısına ve tezin amacına uygun toplayıcı cinsinin tespit edilmesinde, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 karşılaştırıldığında, AEROPHINE 3418 A ve AEROFLOAT 211 ile yapılan seçimli sülfür flotasyonlarında, daha fazla miktarda Cu konsantresi, daha yüksek Cu kazanma verimi ve Cu içeriği ile elde edilmektedir. Bu sebeple, kollektör miktarının tespit edilmesi için yapılacak olan deneylerde AEROPHINE 3418 A ile AEROFLOAT 211 kullanılacaktır.

Toplayıcı miktarının zenginleştirmeye olan etkisini incelemek için yapılan seçimli sülfür flotasyonu deneylerinde öğütme boyutu, pH, temizleme kademesi, pirit devresi koşulları sabit tutulmuştur. Öğütme boyutu 43 µm (malzemenin %80’ninin geçtiği boyut), pH 11.8 temizleme kademeside 2’dir. Pirit devrelerinde toplayıcı olarak KAX (Potasyum Amil Ksantat) ve köpürtücü olarak çamyacı kullanılmıştır. Kıvam ve köpük alma süresi bütün devrelerde aynı olup 3 dakikadır.

Toplayıcı cinsleri ve miktarları aşağıda belirtilmiştir.

- AEROPHINE 3418 A (60-90-150-300 gr/t)
- AEROFLOAT 211 (60-300-400-500 gr/t)

AERO 3418 A (60 g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.5 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH'ı 11.8 yapabilmek için kireç ilave edilerek, toplam 60 gr/t toplayıcı (AERO 3418 A) ve 60 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir ve 1. ve 2. temizleme kademelerinde toplam 16 g/t MIBC kullanılmıştır. Pirit Devresinde toplam 300 gr/t toplayıcı (KAX) ve 3 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.7:** AERO 3418 A (60 g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 9.4        | 26.0         | 80.2      |
| Ara Ürün 1 | 7.6        | 1.70         | 4.3       |
| Ara Ürün 2 | 4.0        | 8.40         | 11.0      |
| Pirit      | 62.5       | 0.20         | 4.0       |
| Artık      | 16.5       | 0.10         | 0.5       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.05         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.4'de ve sonuçları Tablo 4.7'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda; cevherin %9.4 oranında %26.0 Cu içerikli bir konsantre % 80.2 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %16.5 oranında bir artık ise 0.10 Cu içeriği ve %0.5 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 62.5 oranında pirit konsantresi ise %0.2 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.0'dür.

AERO 3418 A (90 g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.33 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 90 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 300 gr/t kollektör (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.8:** AERO 3418 A (92 g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 8.7        | 28.1         | 73.4      |
| Ara Ürün 1 | 2.5        | 13.21        | 9.9       |
| Ara Ürün 2 | 6.9        | 4.72         | 9.8       |
| Pirit      | 57.9       | 0.31         | 5.4       |
| Artık      | 24.0       | 0.21         | 1.5       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.14         | 100.0     |

Akım Şeması Şekil B.5'de ve sonuçları Tablo 4.8'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %8.7 oranında %28.1 Cu içerikli bir konsantre % 73.4 Cu

kazanma verimi ile elde edilmekte; %24.0 oranında bir artık ise 0.21 Cu içeriği ve %1.5 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 57.9 oranında pirit konsantresi ise %0.31 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %5.4'dür.

AERO 3418 A (150 gr/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.46 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 150 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 300 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.9:** AERO 3418 A (150 g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 10.7       | 24.42        | 83.1      |
| Ara Ürün 1 | 3.1        | 4.14         | 4.0       |
| Ara Ürün 2 | 11.3       | 1.90         | 6.8       |
| Pirit      | 54.1       | 0.29         | 5.0       |
| Artık      | 20.8       | 0.17         | 1.1       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.14         | 100.0     |

Akım Şeması Şekil B.6'da ve sonuçları Tablo 4.9'da verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %10.7 oranında %24.42 Cu içerikli bir konsantre % 83.1 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %20.8 oranında bir artık ise 0.17 Cu içeriği ve %1.1 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 54.1 oranında pirit konsantresi ise %0.29 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %5.0'dir.

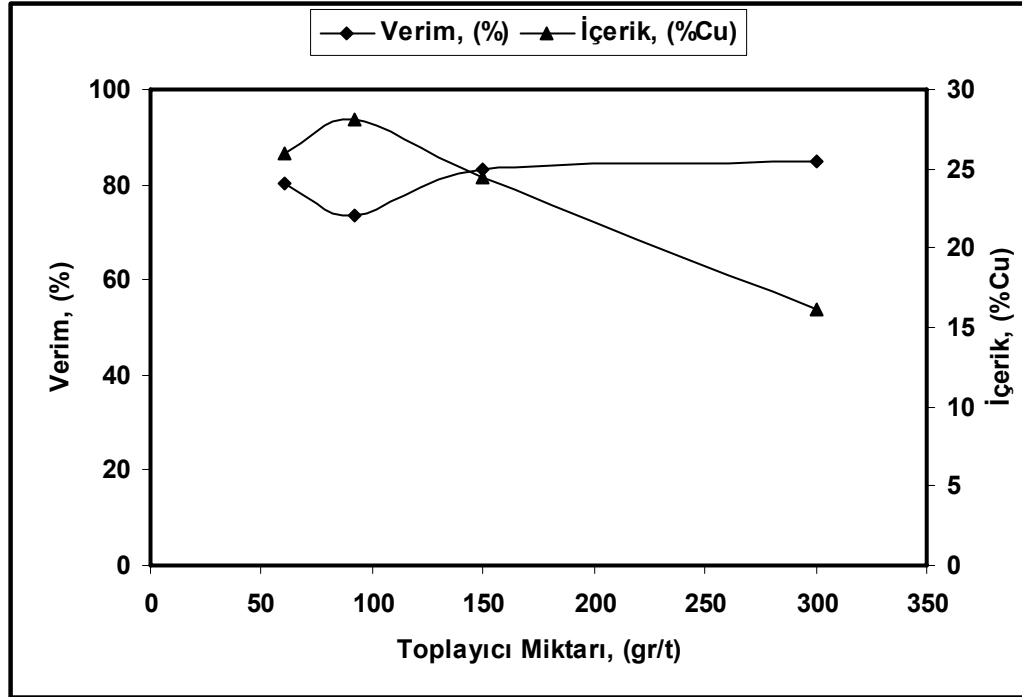
AERO 3418 A (300g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.46 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 300 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 300 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.10:** AERO 3418 A (300 g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 15.2       | 16.19        | 84.7      |
| Ara Ürün 1 | 8.2        | 1.93         | 5.4       |
| Ara Ürün 2 | 23.5       | 0.86         | 6.9       |
| Pirit      | 32.7       | 0.20         | 2.2       |
| Artık      | 20.4       | 0.10         | 0.7       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.14         | 100.0     |

Akım Şeması Şekil B.7’de ve sonuçları Tablo 4.10’da verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %15.2 oranında %16.19 Cu içerikli bir konsantre % 84.7 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %20.04 oranında bir artık ise 0.1 Cu içeriği ve %0.7 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 32.7 oranında pirit konsantresi ise %0.2 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %0.2’dir.

Toplayıcı miktarının, bakır içeriği ve verimine göre değişim grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir.



**Şekil 4.16:** Toplayıcı (AERO 3418 A) Miktarının Bakır İçeriği ve Verimine Göre Değişim Grafiği

AEROFLOAT 211 (60 g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.5 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH'ı 11.8 yapabilmek için kireç ilave edilerek, toplam 60 gr/t toplayıcı (AERO 211) ve 60 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir ve 1. ve 2. temizleme kademelerinde toplam 16 g/t MIBC kullanılmıştır. Pirit devresinde toplam 150 gr/t toplayıcı (KAX) ve 3 damla çamyağı kullanılarak, kıvam ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.11:** AERO 211 (60g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 4.9        | 28.5         | 42.5      |
| Ara Ürün 1 | 3.3        | 5.0          | 5.0       |
| Ara Ürün 2 | 2.7        | 18.7         | 15.3      |
| Pirit      | 64.6       | 1.8          | 36.6      |
| Artık      | 24.5       | 0.1          | 0.8       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.3          | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.8'de ve sonuçları Tablo 4.11'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %4.9 oranında %28.5 Cu içerikli bir konsantre % 42.5 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %24.5 oranında bir artık ise 0.10 Cu içeriği ve %0.8 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 64.6 oranında pirit konsantresi ise %1.8 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %36.6'dır.

AEROFLOAT 211 (300g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.46 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 300 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 300 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.12:** AERO 211 (300g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 9.2        | 28.28        | 81.8      |
| Ara Ürün 1 | 1.4        | 4.95         | 2.2       |
| Ara Ürün 2 | 5.7        | 1.76         | 3.2       |
| Pirit      | 62.5       | 0.60         | 11.8      |
| Artık      | 21.2       | 0.16         | 1.1       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.18         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.9'da ve sonuçları Tablo 4.12'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %9.2 oranında %28.28 Cu içerikli bir konsantre % 81.8 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %21.2 oranında bir artık ise 0.16 Cu içeriği ve %11.8 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 62.5 oranında pirit konsantresi ise %0.6 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %11.8'dir.

AERO 211 (400g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.71 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 400 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 400 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.13: AERO 211 (400g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu**

| ÜRÜNLER           | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|-------------------|------------|--------------|-----------|
| <b>Konsantre</b>  | 9.9        | 25.06        | 82.3      |
| <b>Ara Ürün 1</b> | 1.9        | 4.95         | 3.2       |
| <b>Ara Ürün 2</b> | 8.9        | 3.28         | 9.7       |
| <b>Pirit</b>      | 59.6       | 0.20         | 4.0       |
| <b>Artık</b>      | 19.7       | 0.13         | 0.8       |
| <b>TOPLAM</b>     | 100.0      | 3.00         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.10'da ve sonuçları Tablo 4.13'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %9.9 oranında %25.06 Cu içerikli bir konsantre % 82.3 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %19.7 oranında bir artık ise 0.13 Cu içeriği ve %0.8 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 59.6 oranında pirit konsantresi ise %0.2 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.0'dır.

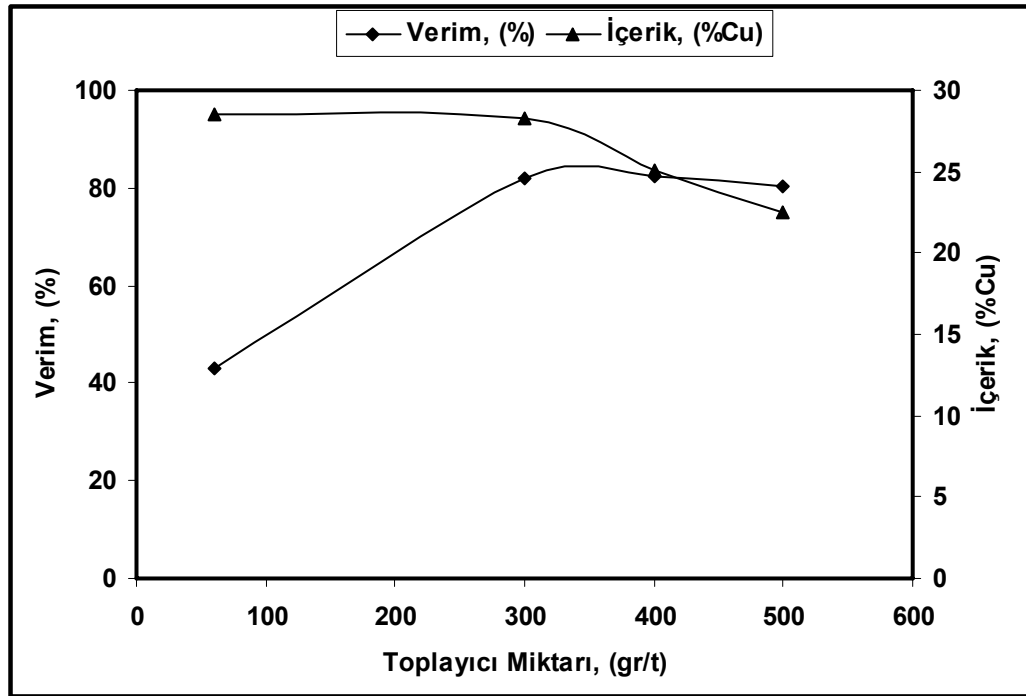
AEROFLOAT 211 (500g/t) ile yapılan flotasyon deneyinde, başlangıç pH'ı 6.44 olarak ölçülmüştür. Kalkopirit devresinde pH 11.8'de toplam 400 gr/t toplayıcı ve 100 gr/t köpürtücü (MIBC) kullanılmıştır. Temizleme devresi 2 kademedir. Pirit devresinde toplam 400 gr/t toplayıcı (KAX) ve 2 damla çamyağı kullanılmıştır. Kıvam Süresi ve köpük alma süresi kalkopirit ve pirit devresinde aynı olup 3 dakikadır.

**Tablo 4.14:** AERO 211 (500g/t) ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 11.6       | 22.49        | 80.2      |
| Ara Ürün 1 | 3.0        | 2.73         | 2.5       |
| Ara Ürün 2 | 12.9       | 2.54         | 10.0      |
| Pirit      | 55.2       | 0.40         | 6.8       |
| Artık      | 17.3       | 0.10         | 0.5       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.25         | 100.0     |

Akım şeması Şekil B.11’de ve sonuçları Tablo 4.14’de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %11.6 oranında %22.49 Cu içerikli bir konsantre % 80.2 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %17.3 oranında bir artık ise 0.10 Cu içeriği ve %0.5 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 55.2 oranında pirit konsantresi ise %0.4 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %6.8’dir.

Toplayıcı miktarının, bakır içeriği ve verimine göre değişim grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir.



**Şekil 4.17:** Toplayıcı (AERO 211) Miktarının Bakır İçeriği ve Verimine Göre Değişim Grafiği

#### 4.2.1.2. Öğütme Boyutunun Zenginleştirmeye Olan Etkisinin İncelenmesi

Cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesinde üst boyut 0.2 mm civarındadır.. Uygun bir tane serbestleşmesine erişmek için cevherin çok daha ince öğütülmesi gerekebilir. Tam tane serbestleşmesine erişmek çok kere fazla masraf ve emek gerektirir. Çok ince öğütmenin ayırmayı da güçleştireceği göz önüne alınırsa, ekonomik bir serbestleşme derecesine erişmek yeterlidir [2]. Bu tez kapsamında, Siirt-Madenköy cevherinin mineralleri arasında serbestleşme boyutu, gang mineralleri için 100  $\mu\text{m}$  ve sülfürlü mineraller için 53  $\mu\text{m}$  mikrondur [8, 20]. Cevher kontrollü olarak öğütülerek, malzemenin tamamının 100  $\mu\text{m}$  altına geçmesi sağlanmıştır. Toplayıcı cinsi ve miktarının belirlenmesi için yapılan deneylerde, öğütme boyutu sabit tutulmuştur. Bu boyut yapılan elek analiz sonucu 43  $\mu\text{m}$  (malzemenin % 80'ninin elek altına geçtiği boyut) olarak tespit edilmiştir. Cevherin yapısına ve tezin amacına uygun toplayıcı cinsinin ve miktarının tespit edilmesinde, Tablo 4.8, Tablo 4.12 karşılaştırıldığında, AERO 3418 A ve AEROFLOAT 211 ile yapılan seçimli sülfür flotasyonlarında, daha fazla miktarda Cu konsantresi, daha yüksek Cu kazanma verimi ve Cu içeriği ile elde edilmektedir. Bu sonuçlar ara ürünlerde hesaba katılarak değerlendirildiğinde, AERO 3418 A (90 gr/t) cevherin yapısına ve tezin amacına uygun olduğu tespit edilmiştir. Öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin incelenmesinde, malzemenin % 80'ninin 43 mikron altına geçtiği ve toplayıcı olarak AERO 3418 A (90 gr/t) kullanıldığı deney koşulları sabit tutularak, 53  $\mu\text{m}$ , 74  $\mu\text{m}$  ve 100  $\mu\text{m}$  altında deneyler yapılmıştır. Öğütmede bilya şarjı ve pülpde katı oranı sabit tutularak, kollektör cinsi ve miktarının tespit edilmesi için yapılan deneylerle aynıdır.

Öğütme boyutunun 53  $\mu\text{m}$  74  $\mu\text{m}$  ve 100  $\mu\text{m}$  olduğu durumlarda yapılan seçimli sülfür flotasyonlarında, deney koşulları, boyutun 43  $\mu\text{m}$  alındığı AERO 3418 A (90 gr/t) kullanıldığı deneyle sabit tutulmuştur. Kalkopirit ve pirit devresindeki tüm koşullar aynıdır. Cevherin %80'ninin 53  $\mu\text{m}$  altına geçtiği durumda boyut dağılımı Tablo A.1'de ve grafiği Şekil B.12'de verilmiştir

Cevherin %80'ninin 53  $\mu\text{m}$  altına geçtiği durumda yapılan deneyin metalurjik denge tablosu, Tablo 4.15'de verilmiştir.

**Tablo 4.15:** 53  $\mu\text{m}$  ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 10.1       | 25.03        | 80.0      |
| Ara Ürün 1 | 2.8        | 4.91         | 4.4       |
| Ara Ürün 2 | 11.5       | 2.18         | 8.0       |
| Pirit      | 55.9       | 0.39         | 6.9       |
| Artık      | 19.6       | 0.11         | 0.7       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.15         | 100.0     |

Tablo 4.15'de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %10.1 oranında %25.03 Cu içerikli bir konsantre % 80.0 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %19.6 oranında bir artık ise 0.11 Cu içeriği ve %0.7 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 55.9 oranında pirit konsantresi ise %0.39 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %6.9'dur.

Cevherin %80'ninin 74  $\mu\text{m}$  altına geçtiği durumda malzenin boyut dağılımı Tablo A.2'de, grafiği Şekil B.13'de ve bu boyutta yapılan seçimli sülfür flotasyonunda elde edilen ürünlerin metalurjik denge tablosu Tablo 4.16'da verilmiştir.

**Tablo 4.16:** 74  $\mu\text{m}$  ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 10.7       | 23.91        | 82.5      |
| Ara Ürün 1 | 2.8        | 4.56         | 4.1       |
| Ara Ürün 2 | 9.0        | 1.72         | 5.0       |
| Pirit      | 57.2       | 0.4          | 7.4       |
| Artık      | 20.3       | 0.15         | 1.0       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.10         | 100.0     |

Tablo 4.16'da verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %10.7 oranında %23.91 Cu içerikli bir konsantre % 82.5 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %20.3 oranında bir artık ise 0.15 Cu içeriği ve %1.0 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 57.2 oranında pirit konsantresi ise %0.4 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %7.4'dür.

Öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin incelenmesinde son boyut 100  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir ve cevherin %80'ninin 100  $\mu\text{m}$  altına geçtiği durumda malzenin boyut dağılımı Tablo A.3'de, grafiği Şekil B.14'de ve bu boyutta yapılan

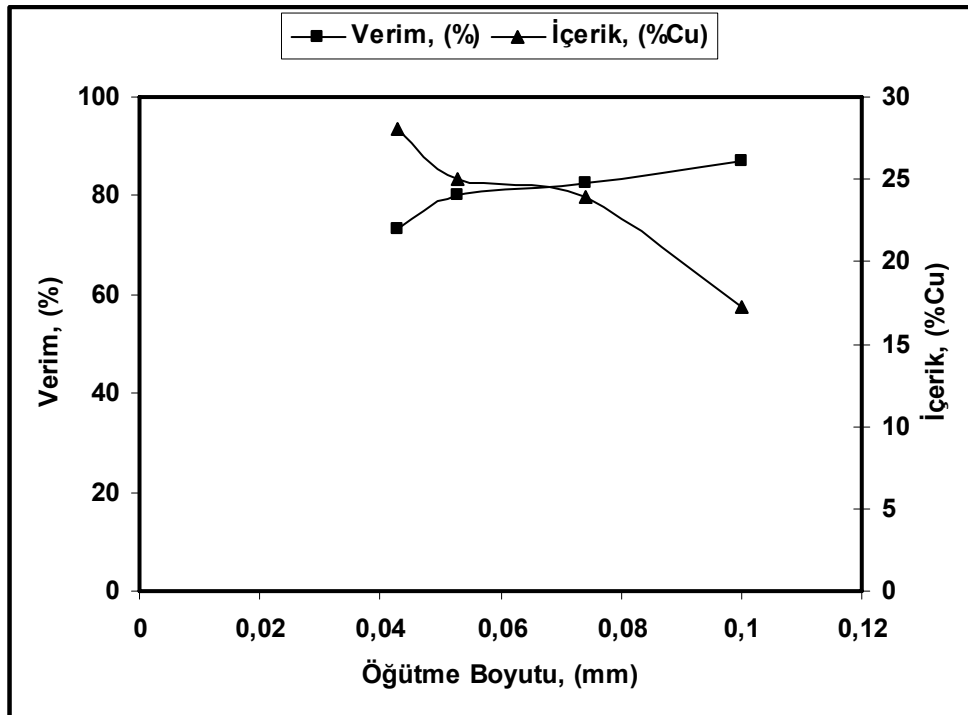
seçimli sülfür flotasyonunda elde edilen ürünlerin metalurjik denge tablosu Tablo 4.17’de verilmiştir.

**Tablo 4.17:** 100 µm ile Yapılan Deneyin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 15.9       | 17.20        | 87.2      |
| Ara Ürün 1 | 5.7        | 1.30         | 2.3       |
| Ara Ürün 2 | 12.3       | 0.56         | 2.2       |
| Pirit      | 45.4       | 0.42         | 6.1       |
| Artık      | 20.6       | 0.33         | 2.2       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.10         | 100.0     |

Tablo 4.17’de verilen 2 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %15.9 oranında %17.20 Cu içerikli bir konsantre % 87.2 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %20.6 oranında bir artık ise 0.33 Cu içeriği ve %2.2 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 45.4 oranında pirit konsantresi ise %0.42 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %6.1’dir.

43 µm ile yapılan deneyin sonuçları, 53 µm, 74 µm ve 100 µm ile karşılaştırıldığında, öğütme boyutunun, bakır içeriği ve verimine göre değişim grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



**Şekil 4.18:** Öğütme Boyutunun Bakır İçeriği ve Verimine Göre Değişim Grafiği

#### 4.2.2. Toplu Sülfür Flotasyonu

Cevherin yapısını oluşturan sülfürlü mineraller, toplu sülfür flotasyonu ile gang minerallerinden ve seçimli sülfür flotasyonu ile sülfürlü minerallerin birbirlerinden ayrılması sağlanmıştır. Toplu sülfür flotasyonunda öğütme boyutu 43 µm altıdır ve öğütme koşulları, kollektör cinsi ve miktarının zenginleştirmeye olan etkisinin incelenmesinde yapılan deneylerle aynıdır. Toplu sülfür flotasyonu doğal pH'da yapılarak toplam 350 gr/t AERO 3418 A ve 120 gr/t MIBC kullanılmıştır. Seçimli sülfür flotasyonu PH 11.8'de yapılarak toplam 70 gr/t AERO 3418 A ve 18 gr/t MIBC kullanılmıştır ve 5 kademe temizleme yapılmıştır. Deneyin akım şeması Şekil B.15'de ve metalurjik denge tablosu Tablo 4.18'e verilmiştir. Kıvam ve köpük alma süresi 3 dakikadır.

**Tablo 4.18:** Toplu Sülfür Flotasyonu Deneyinin Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 7.8        | 28.5         | 69.9      |
| Ara Ürün 1 | 2.3        | 8.89         | 6.4       |
| Ara Ürün 2 | 2.5        | 5.23         | 4.1       |
| Ara Ürün 3 | 24.8       | 0.66         | 5.1       |
| Ara Ürün 4 | 8.4        | 1.05         | 1.9       |
| Ara Ürün 5 | 14.8       | 0.71         | 4.9       |
| Pirit      | 12.4       | 0.74         | 4.8       |
| Artık      | 27.0       | 0.56         | 2.9       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.18         | 100.0     |

Tablo 4.18'de verilen 5 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %7.8 oranında %28.5 Cu içerikli bir konsantre % 69.9 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte; %27.0 oranında bir artık ise 0.56 Cu içeriği ve %2.9 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 12.4 oranında pirit konsantresi ise %0.74 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.8'dir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde cevherin yapısını oluşturan yaklaşık %60 oranında piritin ara ürünlere dağıldığı görülmektedir. Bu sonuç bize toplu sülfür flotasyonunun cevherin yapısına uygun olmadığını göstermektedir.

## **5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ**

Sülfürlü bakır cevherlerinin zenginleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem flotasyondur. Flotasyonla zenginleştirmede, cevherin içeriği değerli minerallerin kendi aralarında ve gang mineralleri ile olan bağlılık derecesi serbestleşme boyutuna ulaşmak açısından belirleyici olmaktadır. Serbestleşmeye genel olarak çok küçük boyutlarda ulaşılmakta ve bu nedenle öğütme maliyeti çok yüksek olmaktadır. Flotasyon cevher hazırlamadaki zenginleştirme yöntemleri içerisinde maliyeti en yüksek olan yöntemlerden biridir.

### **5.1 Toplayıcı Cinsinin Belirlenmesinde Yapılan Deneylerin İrdelenmesi**

Toplayıcı cinsinin flotasyon üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile 43 µm altında KEX, AERO 3418 A ve AEROFLOAT 211 ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında, AERO 3418 A ve AEROFLOAT 211 ile yapılan flotasyon deneylerinde içerik ve verim açısından daha nitelikli konsantreler elde edilmektedir. Bu sebeple, toplayıcı miktarının tespit edilmesi için yapılan deneylerde AEROPHINE 3418 A ile AEROFLOAT 211 kullanılmıştır.

### **5.2. Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi için Yapılan Deneylerin İrdelenmesi**

Cevherin yapısına ve tezin amacına uygun toplayıcı miktarının tespit edilmesinde, Tablo 4.8, Tablo 4.12 karşılaştırıldığında, AERO 3418 A ve AEROFLOAT 211 ile yapılan seçimli sülfür flotasyonlarında, daha fazla miktarda Cu konsantresi, daha yüksek Cu kazanma verimi ve Cu içeriği ile elde edilmektedir. Bu sonuçlar ara ürünlerde hesaba katılarak değerlendirildiğinde, AERO 3418 A (90 gr/t) cevherin yapısına ve tezin amacına uygun olduğu tespit edilmiştir.

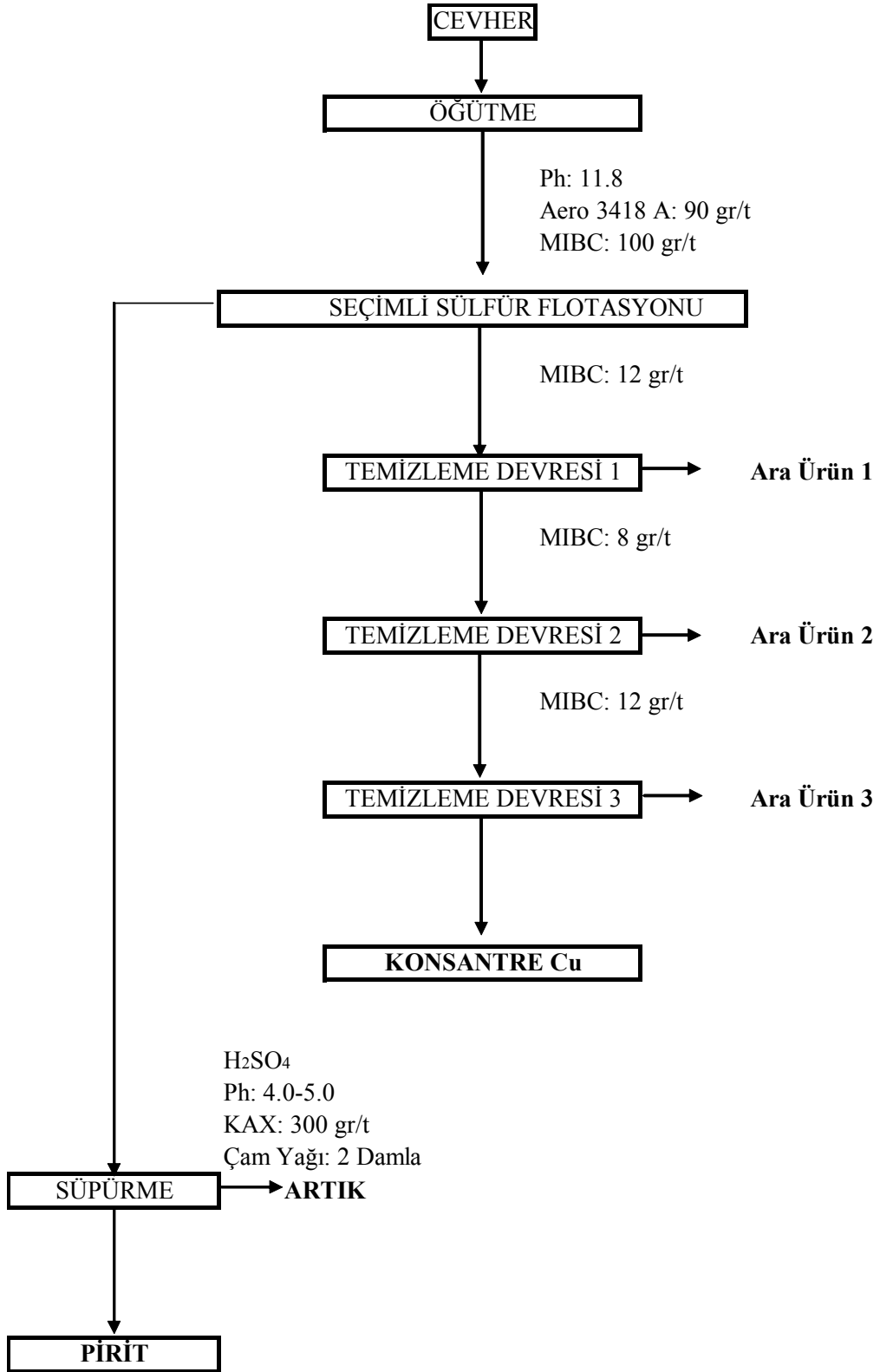
### 5.3. Öğütme Boyutunun Belirlenmesi için Yapılan Deneylerin İrdelenmesi

Öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin incelenmesinde, malzemenin % 80'ninin 43 mikron altına geçtiği ve toplayıcı olarak AERO 3418 A (90 gr/t) kullanıldığı deney koşulları sabit tutularak, 53  $\mu$ m, 74  $\mu$ m ve 100  $\mu$ m altında deneyler yapılmıştır. 43  $\mu$ m ile yapılan deneyin sonuçları, 53  $\mu$ m, 74  $\mu$ m ve 100  $\mu$ m ile karşılaştırıldığında, 43  $\mu$ m altında içerik ve verim açısından daha nitelikli konsantreler elde edilmektedir. Optimum koşul olarak kabul edilen 43 $\mu$ m altında AERO 3418 A ve toplam 90 gr/t ile yapılan deneyin 3 temizleme sonunda elde edilen metalurjik denge tablosu Tablo 4.19'da ve akım şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.19:** Optimum Koşullardaki Deneyin 3 Temizleme Sonunda Metalurjik Denge Tablosu

| ÜRÜNLER    | MİKTAR (%) | İÇERİK (%Cu) | VERİM (%) |
|------------|------------|--------------|-----------|
| Konsantre  | 8.7        | 28.94        | 80.4      |
| Ara Ürün 1 | 1.2        | 9.78         | 3.8       |
| Ara Ürün 2 | 2.0        | 5.23         | 3.4       |
| Ara Ürün 3 | 8.5        | 2.84         | 7.7       |
| Pirit      | 59.5       | 0.21         | 4.0       |
| Artık      | 20.1       | 0.11         | 0.7       |
| TOPLAM     | 100.0      | 3.12         | 100.0     |

Tablo 4.19'da verilen 3 kademe temizleme işlemi sonucunda cevherin %8.7 oranında 28.94 Cu içerikli bir konsantre % 80.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte ve konsantre % 2.73 Zn içermektedir; %20.1 oranında bir artık ise 0.11 Cu içeriği ve %0.7 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 59.5 oranında pirit konsantresi ise %0.21 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.0'dür ve S içeriği % 43.6'dır.



**Şekil 5.1:** Optimum Koşullardaki Deneyin 3 Temizleme Sonunda Akım Şeması

## SONUÇLAR

1. Siirt-Madenköy sondaj çalışmalarından alınan karot numuneleri üzerinde yapılan minerolojik incelemeler sonucunda, numunenin değerli mineral olarak, kalkopirit ve pirit minerallerinin teşkil ettiği ayrıca değişik oranlarda markasit, pirotin, sfalerit, galen, kovelin, hematit, muşketoffit, götit, limonit, manyetit, rutil, sfen, kromit, ile birlikte kuvars, kalsit, siderit, ve klorit gibi gang minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonucunda ise % 3.11 Cu, %0.29 Zn, %34.07 Fe, %33.5 S, %14.92 SiO<sub>2</sub>, %1.00 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0.17 Na<sub>2</sub>O içerdiği saptanmıştır.

2. Toplayıcı cinsinin flotasyona etkisinin incelendiği deneylerde toplayıcı olarak KEX, AERO 3418 A ve AERO 211 seçilmiştir. Öğütme boyutunun sabit tutulduğu, flotasyon deneyleri sonucunda sırasıyla, KEX ile yapılan deneyde, 8.6 oranında %22.7 Cu içerikli bir konsantre, %69.6 Cu kazanma verimi ile, AERO 3418 A ile, cevherin %9.0 oranında %26.8 Cu içerikli bir konsantre % 76.7 Cu kazanma verimi ve AERO 211 ile cevherin %6.1 oranında %28.0 Cu içerikli bir konsantre % 63.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmektedir.

3. Toplayıcı miktarının flotasyona etkisinin incelendiği deneylerde toplayıcı olarak AERO 3418 A ve AERO 211 seçilmiştir. Öğütme boyutunun sabit tutulduğu AERO 3418 ile yapılan deneylerde, miktar olarak, 60-90-150-300 gr/t seçilmiştir ve belirtilen miktarlarda yapılan flotasyon deneyleri sonucunda sırasıyla, 60 gr/t kullanıldığında, cevherin %9.4 oranında %26.0 Cu içerikli bir konsantre % 80.2 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte, 90 gr/t kullanıldığında, %8.7 oranında %28.1 Cu içerikli bir konsantre % 73.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte, 150 gr/t kullanıldığında, cevherin %10.7 oranında %24.42 Cu içerikli bir konsantre % 83.1 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte ve 300 gr/t kullanıldığında, %15.2 oranında %16.19 Cu içerikli bir konsantre % 84.7 Cu kazanma verimi ile elde edilmektedir.

AERO 211 ile yapılan deneylerde, miktar olarak, 60-300-400-500 gr/t seçilmiştir ve belirtilen miktarlarda yapılan flotasyon deneyleri sonucunda sırasıyla, 60 gr/t

kullanıldığında, cevherin %4.9 oranında %28.5 Cu içerikli bir konsantre % 42.5 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte, 300 gr/t kullanıldığında, %9.2 oranında %28.28 Cu içerikli bir konsantre % 81.8 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte, 400 gr/t kullanıldığında, cevherin %9.9 oranında %25.06 Cu içerikli bir konsantre % 82.3 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte ve 500 gr/t kullanıldığında, %11.6 oranında %22.49 Cu içerikli bir konsantre % 80.2 Cu kazanma verimi ile elde edilmektedir.

**4.** Öğütme boyutunun flotasyona etkisinin incelendiği deneylerde, öğütme boyutları (malzemenin %80'ninin geçtiği boyut) 53 µm, 74 µm, 100 µm olarak seçilmiştir. Belirtilen boyutlarla yapılan deneylerde, toplayıcı cinsi ve miktarının tespit edilmesinde optimum koşul olan AERO 3418 A (90 gr/t) kullanılmıştır. Flotasyon deneyleri sonucunda sırasıyla, 53 µm altında, cevherin %10.1 oranında %25.03 Cu içerikli bir konsantre % 80.0 Cu kazanma verimi ile, 74 µm altında, %10.7 oranında %23.91 Cu içerikli bir konsantre % 82.5 Cu kazanma verimi ile, 100 µm altında cevherin %7.8 oranında %28.5 Cu içerikli bir konsantre % 69.9 Cu kazanma verimi ile elde edilmektedir.

**5.** Toplu sülfür flotasyonu deneyi sonucunda, %7.8 oranında %28.5 Cu içerikli bir konsantre % 69.9 Cu kazanma verimi ile elde edilmektedir. Fakat sonuçlar incelendiğinde cevherin yapısını oluşturan yaklaşık %60 oranında piritin ara ürünlere dağıldığı görülmektedir. Bu sonuç, toplu sülfür flotasyonunun cevherin yapısına uygun olmadığını göstermektedir.

**6.** Bu tez kapsamında, toplayıcı cinsi, miktarı ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinde, tezin amacına en uygun toplayıcının dithiofosfin kökenli AERO 3418 A, miktarının 90 gr/t ve öğütme boyutunun 43 µm olduğu tespit edilmiştir. Optimum koşullarda 3 kademe temizleme işlemi sonucunda, cevherin %8.7 oranında 28.94 Cu içerikli bir konsantre % 80.4 Cu kazanma verimi ile elde edilmekte ve konsantre % 2.73 Zn içermektedir; %20.1 oranında bir artık ise 0.11 Cu içeriği ve %0.7 Cu kaybı ile uzaklaştırılabilmektedir. % 59.5 oranında pirit konsantresi ise % 0.21 Cu içermektedir. Pirit devresinde bakır kaybı, %4.0'dür ve S içeriği % 43.6'dır.

## KAYNAKLAR

- [1].**Çilingir, Y.**, 1996. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- [2] **Atak, S.**, 1982. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, İ.T.Ü Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [3] **Doğan, Z.**, 1986. Chemical Mining, İ.T.Ü Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [4] **Turan, K.**, 1996. Concentration Studies of Şirvan-Siirt Madenköy District Copper by Flotation, *Yüksek Lisans Tezi*, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- [5] **Uz, B.**, 1994. Mineraller Kristallografi-Mineroloji, Kurtiş Matbaacılık, İstanbul.
- [6] **D.P.T**, 2001. Metal Madenler Alt Komisyonu Bakır-Pirit Çalışma Grubu Raporu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, Türkiye.
- [7] **Sirkeci, A.A.**, 1998. Türkiye Bakır Envanteri, Maden İhracatçıları Birliği, İstanbul.
- [8] **Vadi Mühendislik İnşaat Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.**, 2005 Siirt-Madenköy Bakır Konsantratör Tesisi Tanıtım Raporu, Ankara, Türkiye.
- [9] **Çağatay, A.**, 1981. Güneydoğu Anadolu Bakır Yatak ve Zuhurlarının Jeolojik Minerolojik Etüdü Sonunda Elde Edilen Genetik Bulgular, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, xx, 58-62.
- [10] **Çalgın, R.**, 1976. Siirt-Madenköy Bakır Yatağının Jeolojisi ve Mineralizasyonu Hakkında Rapor, Ankara, Türkiye.
- [11] **Borchert, H.**, 1958. Türkiye’de İnisiyal Ofiolitik Magmatizmaya Ait Krom ve Bakır Cevheri Yatakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, 102, Ankara.

- [12] **Dutrizac, J.E.**, 1992. The Leaching of Sulfide Minerals in Chloride Media, *Hydrometallurgy*, **29**, 1-45.
- [13] [http://www.lme.co.uk/copper\\_graphs.asp](http://www.lme.co.uk/copper_graphs.asp), web sayfası.
- [14] **Perek, K.T. ve Arslan, F.**, 2003, Basınçlı Liç ile Küre Masif Zengin Bakır Cevherlerinden Metalik Değerlerin Kazanımı, *İ.T.Ü Dergisi*, **3**, 65-72.
- [15] **Gül, A.**, 2001. Küre Dissemine Bakır Cevherinin Ön Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Bulut, G.**, 2000. Piritlerin Flotasyon Davranışı ve Yüzey Özellikleri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Karahan, S.**, Bakır Hidrometalurjisi ve Flotasyonu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Metalurji Mühendisleri Odası, Şafak Matbaası.
- [18] **Acarkan, N. and Arslan, F.**, 2000. Kimyasal Zenginleştirmede Yenilikler, Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler Process-Tesis Tasarımı, Tesis İşletmesi, Denetimi ve Maliyet Kontrolü Konulu Eğitim Semineri, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, 29-31 Mayıs.
- [19] **Bulatović, S. and Salter, R. S.**, 1991. Process Development for Treatment of Refractory Massive Sulphide Copper Ores, *Copper Mineral Processing and Process Control*, **91**, 117-131.
- [20] **Gürkan, V.**, 2005 Siirt-Madenköy Cevherinin Mineralojik Raporu, İ.T.Ü, İstanbul, Türkiye.
- [21] **Hurlbut, C., S.**, 1966. Dana's Manuel of Mineralogy, Sixth Printing, November.
- [22] **Ateşok, G.**, 1986. Kömür Hazırlama Kitabı, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- [23] **Fuerstenau, D., W.**, 1962. Froth Flotation, 50<sup>th</sup> Anniversary Volume, Chapter 6 by Rogers, J., A.I.M.E., New York.
- [24] **Mulak, W. and Wawrzak, D.**, (1994). Ferric Chloride Leaching of Lead Sulphide Concentrate. 5<sup>th</sup> International *Mineral Processing Symposium, Progress in Mineral Processing Technology*, Ed: H.,

Demirel, S., Ersayın, A.,A., Balkema, 373-377, Rotterdam, Brookfield.

- [25] **Havlik, T., Skrobian, M., Balaz, P., Kammel, R.,** (1995). Leaching of Chalcopyrite Concentrate with Ferric Chloride. *International Journal of Mineral Processing*, **43**, 61-72.
- [26] **Ackerman, P.K., Harris, G. H., Klimpel, R.R., Aplan, F. F.,** 1987. Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, I. Common Sulfhydryl Collectors, *International Journal of Mineral Processing*, **21**, 105-127.
- [27] **Ackerman, P.K., Harris, G. H., Klimpel, R.R., Aplan, F. F.,** 1987. Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, II. Non Sulfhydryl Collectors, *International Journal of Mineral Processing*, **21**, 129-140.
- [28] **Ackerman, P.K., Harris, G. H., Klimpel, R.R., Aplan, F. F.,** 1987. Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, III. Effect of Xanthate Chain Length and Branching, *International Journal of Mineral Processing*, **21**, 141-158.
- [29] **Güler, T., Hiçyılmaz, C., Gökağaç, G., Ekmekçi, Z.,** 2004. Elektrochemical Behaviour of Chalcopyrite in the Absence and Presence of Dithiophosphosphate, *International Journal of Mineral Processing*, **75**, 217-228.
- [30] **Klimpel, R.R.,** 1999. A review of sulphide mineral collector practice. In: Parekh, B.K., Miller, J.D. (Eds.), *Proceedings of a Symposium Held at the Annual SME Meeting, Advances in Flotation Technology. J.D. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Denver, Colorado*, pp. 115-127.
- [31] **Leppinen, J.,** 1991. FTIR and Flotation Investigation of Adsorption of Diethyldithiophosphate on Sulfide Minerals. Technical Research Centre of Finland, Report No.726.
- [32] **Mingione, P.A.,** 1990. Use of AEROPHINE 3418 A Promoter for Sulphide Minerals Flotation, Paper No. 26, American Cyanamid Company, pp. 485-508.

- [33] **Güler, T., Hiçyılmaz, C.,** 2004. Hydrophobicity of Chalcopyrite with Dithiophosphate and Dithiophosphinate in Electrochemically Controlled Condition, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspect* **235**, 11-15.
- [34] **Güler, T., Hiçyılmaz, C., Gökağaç, G., Ekmekçi, Z.,** 2006. Adsorption of Dithiophosphate and Dithiophosphinate on Chalcopyrite. *Mining Engineering* **19**. 62-71.
- [35] **Gourram-Badri, F., Conil, P., Morizot, G.,** 1997. Measurements of Selectivity Due to Coalescence Between Two Mineralized Bubbles and Characterization of MIBC Action on Froth Flotation. *International Journal of Mineral Processing*, **51**, 197-208.
- [36] **Kocabağ, D.,** 1983. The Oleophilicity/Hydrophobicity of Galena and Pyrite in Two Liquid Flotation, PhD Thesis, Imperial College University of London, London, May.
- [37] **Göktepe, F.K.,** 1992. Elektrochemical Potentials in Flotation of Complex Sulphide Ores. PhD Thesis, University of Wales College of Cardiff, U.K.
- [38] **Sirkeci, A.A.,** 1992. Separation of Pyrite from Arsenopyrite by Flotation, PhD Thesis, Imperial College, University of London, London, December.
- [39] **Leja, J.,** 1982. Surface Chemistry of Froth Flotation, Plenum Press, New York.
- [40] **Pecina, E.T., Uribe, A., Nava, F. and Finch, J.A.,** 2005. The Role of Copper and Lead in the Activation of Pyrite in Xanthate and Non Xanthate Systems, *Minerals Engineering*, **19**, 172-179.
- [41] **Kuopanportti, H., Suorsa, T., Dahl, O. and Niinimäki J.,** 1999. A Model of Conditioning in the Flotation of a Mixture of Pyrite and Chalcopyrite Ores, *International Journal of Mineral Processing*, **59**, 327-338.
- [42]. **Finkelstein, N.P.,** 1997. The Activation of Sulphide Minerals for Flotation, *International Journal of Mineral Processing*, **52**, 81-120.

- [43] **Ekmekçi, Z., Demirel, H.,** 1997. Effect of Galvanic Interaction on Collectorless Flotation Behaviour of Chalcopyrite and Pyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **52**, 31-48.
- [44] **Kydros, K.A., Matis, K.A.,** 1995. Flotation of Iron Sulfide Minerals: Electrokinetics Aspects, in *Flotation Science and Engineering*, pp. 127-155, Editor K.A. Matis, New York.
- [45] **Ahn, J.H., Gebhardt, J.E.,** 1991. Effect of Grinding Media-Chalcopyrite Interaction on the Self-Induced Flotation of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **33**, 243-262.
- [46] **Seniour, G.D., Trahar, W.J.,** 1991. The Influence of Metal Hydroxides and Collector on the Flotation of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **33**, 321-341.
- [47] **Heyes, G.W., Trahar, W.J.,** 1977. The Natural Flotability of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **4**, 317-344.
- [48] **Trahar, W.J.,** 1983. A Laboratory Study of the Influence of Sodium Sulphide and Oxygen on the Collectorless Flotation of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **11**, 57-74.
- [49] **Gardner, J.R., Woods, R.,** 1979. An Electrochemical Investigation of the Natural Flotability of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, **6**, 1-16.

## EKLER

**Tablo A.1:** Cevherin %80'ninin 53 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı

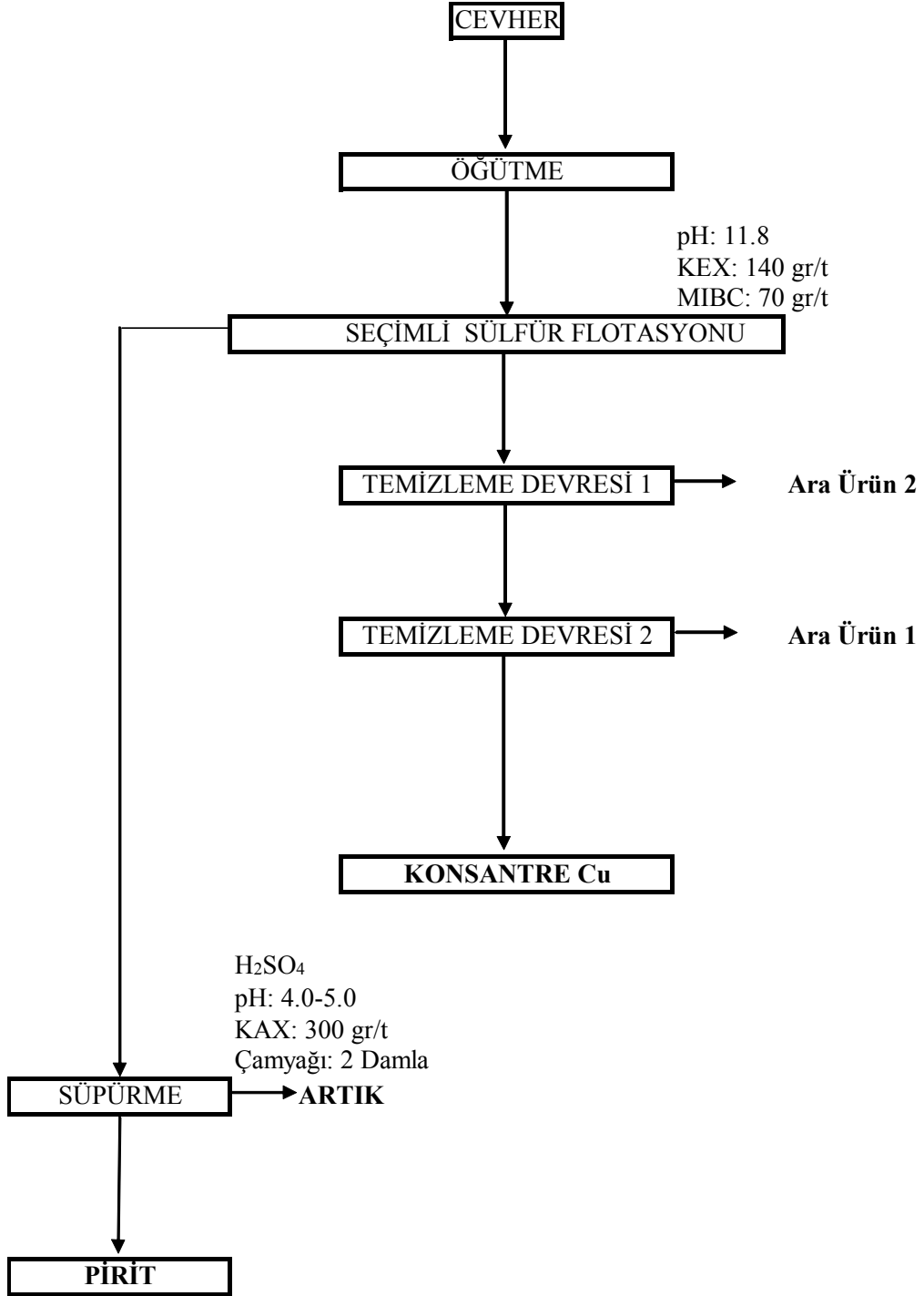
| <b>Boyut<br/>(mm)</b> | <b>Miktar<br/>(%)</b> | <b>Toplam Elek Üstü<br/>(%)</b> | <b>Toplam Elek Altı<br/>(%)</b> |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>+0,1</b>           | 1.9                   | 1.9                             | 100.0                           |
| <b>-0,1+0,074</b>     | 4.9                   | 6.8                             | 98.1                            |
| <b>-0,074-0,053</b>   | 12.6                  | 19.4                            | 93.2                            |
| <b>-0,053+0,038</b>   | 10.0                  | 29.4                            | 80.5                            |
| <b>-0,038</b>         | 70.6                  | 100.0                           | 70.6                            |
| <b>TOPLAM</b>         | 100.0                 |                                 |                                 |
| <b>d<sub>80</sub></b> | <b>53 µm</b>          |                                 |                                 |

**Tablo A.2:** Cevherin %80'ninin 74 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı

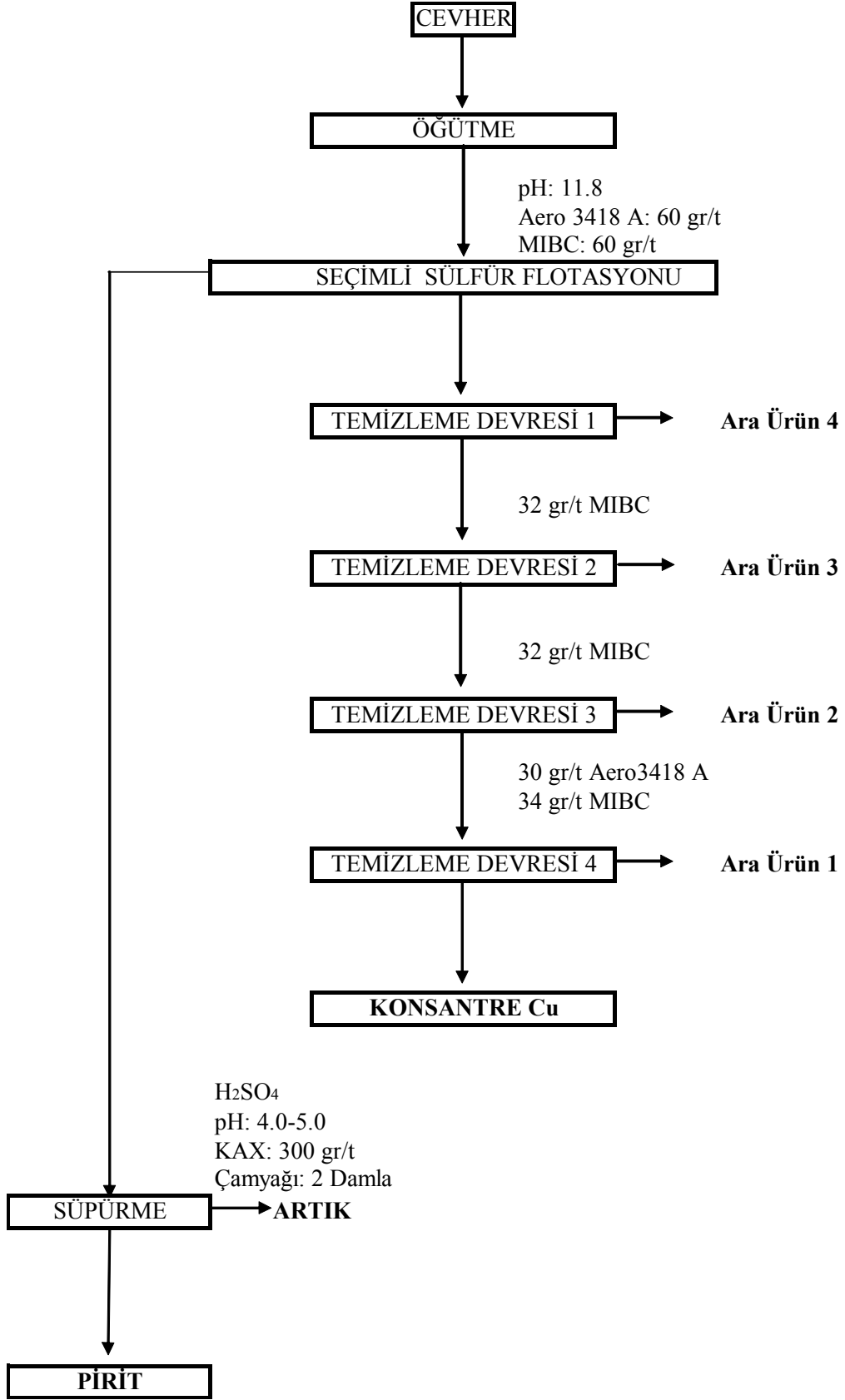
| <b>Boyut</b><br><b>(mm)</b> | <b>Miktar</b><br><b>(%)</b> | <b>Toplam Elek Üstü</b><br><b>(%)</b> | <b>Toplam Elek Altı</b><br><b>(%)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>+0,1</b>                 | 6.8                         | 6.8                                   | 100.0                                 |
| <b>-0,1+0,074</b>           | 11.7                        | 18.6                                  | 93.2                                  |
| <b>-0,074-0,053</b>         | 13.7                        | 32.2                                  | 81.4                                  |
| <b>-0,053+0,038</b>         | 10.0                        | 42.3                                  | 67.8                                  |
| <b>-0,038</b>               | 57.7                        | 100.0                                 | 57.7                                  |
| <b>TOPLAM</b>               | 100.0                       |                                       |                                       |
| <b>d<sub>80</sub></b>       | <b>74 µm</b>                |                                       |                                       |

**Tablo A.3:** 100 µm Altındaki Malzemenin Elek Analiz Tablosu

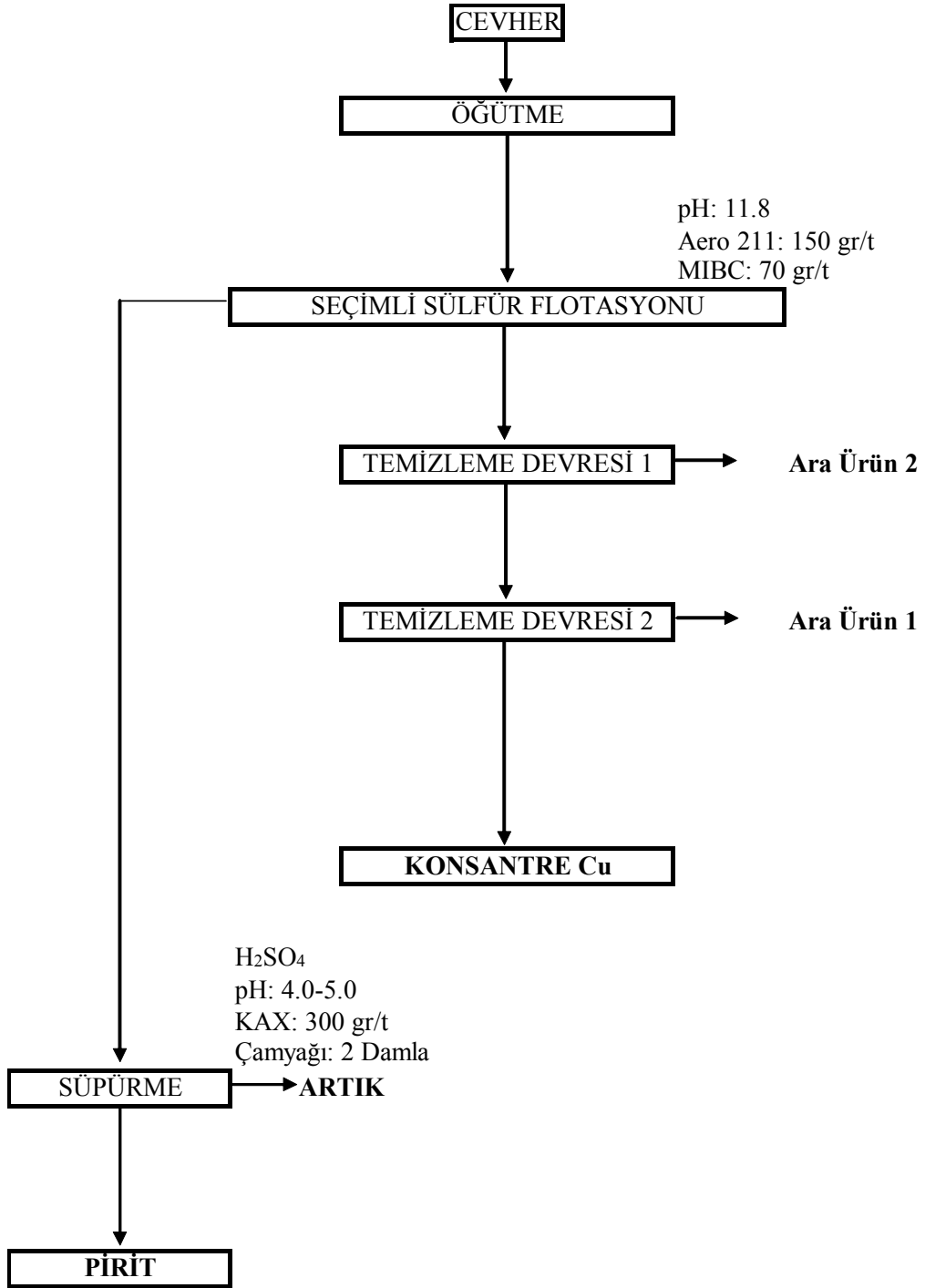
| <b>Boyut</b><br><b>(mm)</b> | <b>Miktar</b><br><b>(%)</b> | <b>Toplam Elek Üstü</b><br><b>(%)</b> | <b>Toplam Elek Altı</b><br><b>(%)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>+0,1</b>                 | 19.1                        | 19.1                                  | 100.0                                 |
| <b>-0,1+0,074</b>           | 8.2                         | 27.3                                  | 80.9                                  |
| <b>-0,074-0,053</b>         | 10.2                        | 37.5                                  | 72.7                                  |
| <b>-0,053+0,038</b>         | 14.4                        | 51.9                                  | 62.5                                  |
| <b>-0,038</b>               | 48.1                        | 100.0                                 | 48.1                                  |
| <b>TOPLAM</b>               | 100.0                       |                                       |                                       |
| <b>d<sub>80</sub></b>       | <b>100 µm</b>               |                                       |                                       |



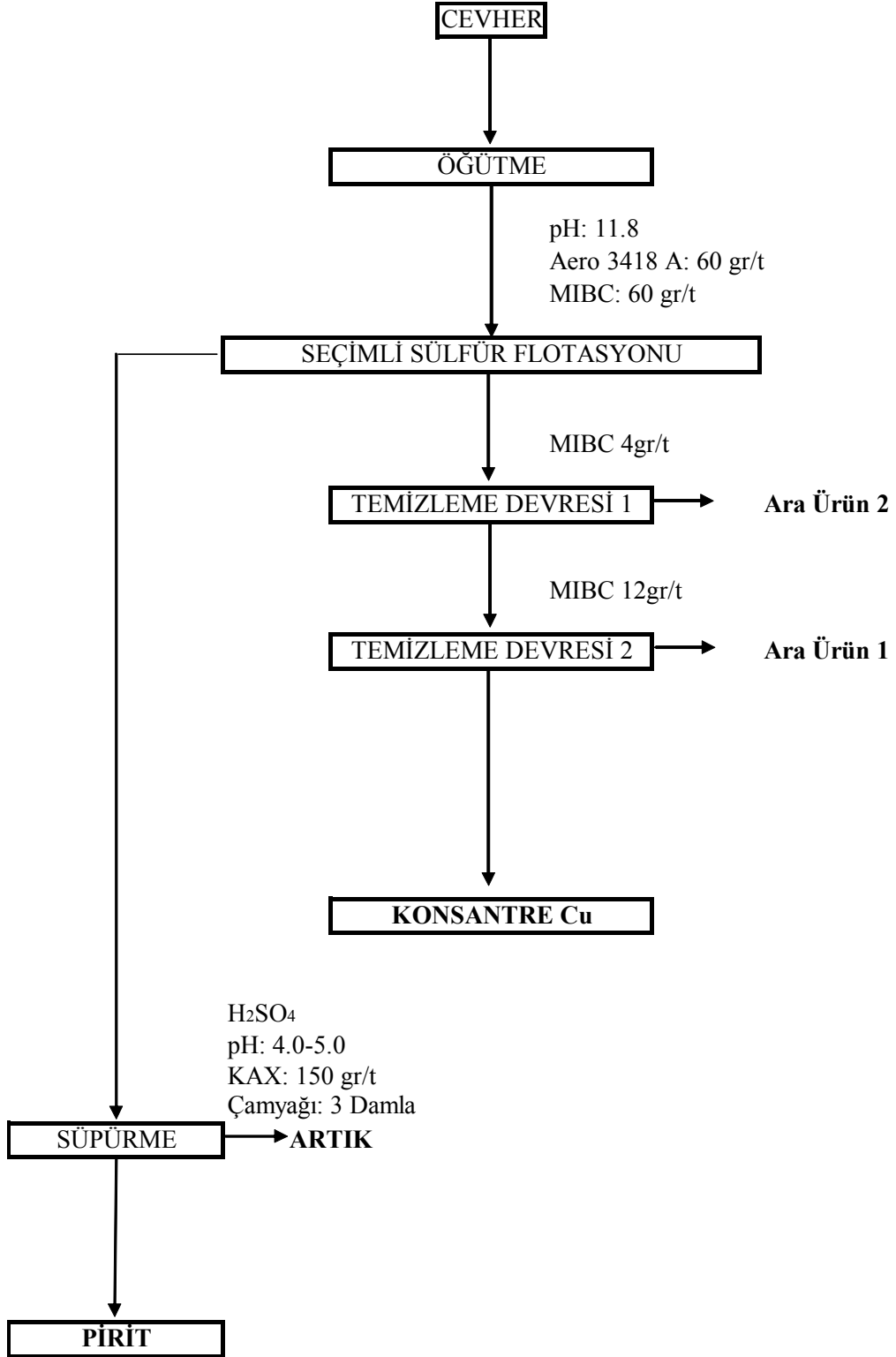
**Şekil B.1:** KEX (Potayum Etil Ksantat) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



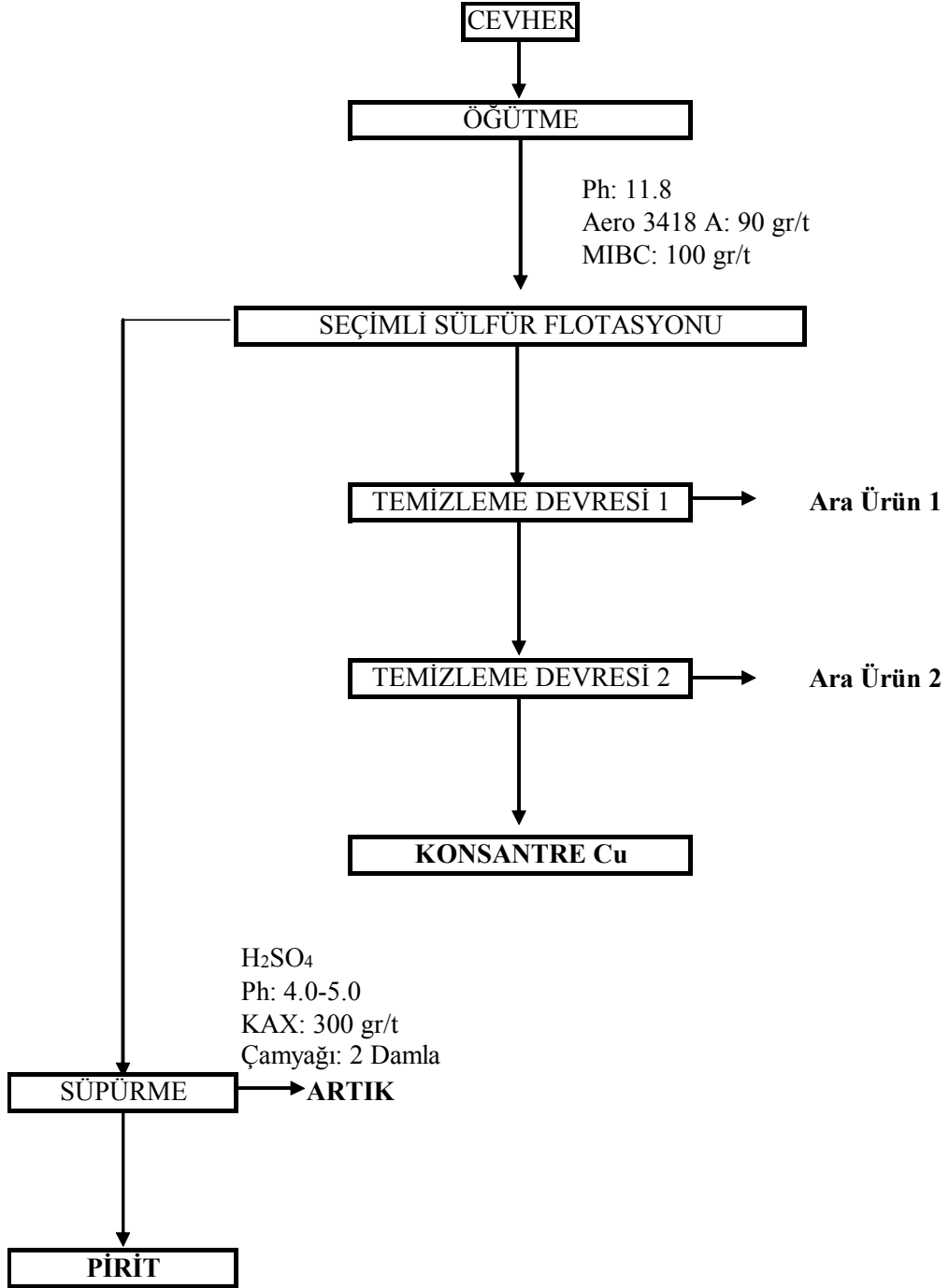
**Şekil B.2:** AEROPHINE 3412 A ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



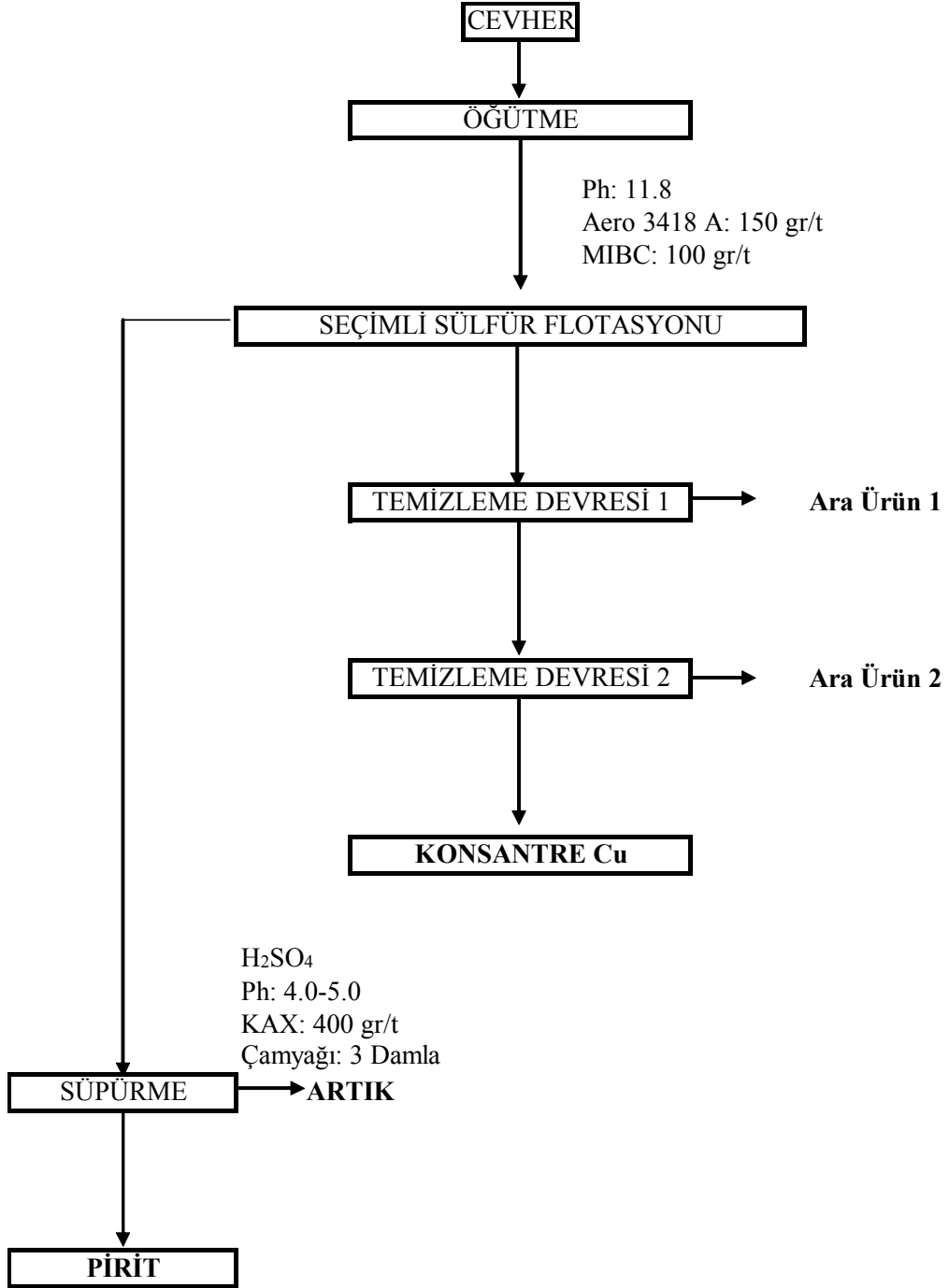
**Şekil B.3:** AEROFLOAT 211 ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



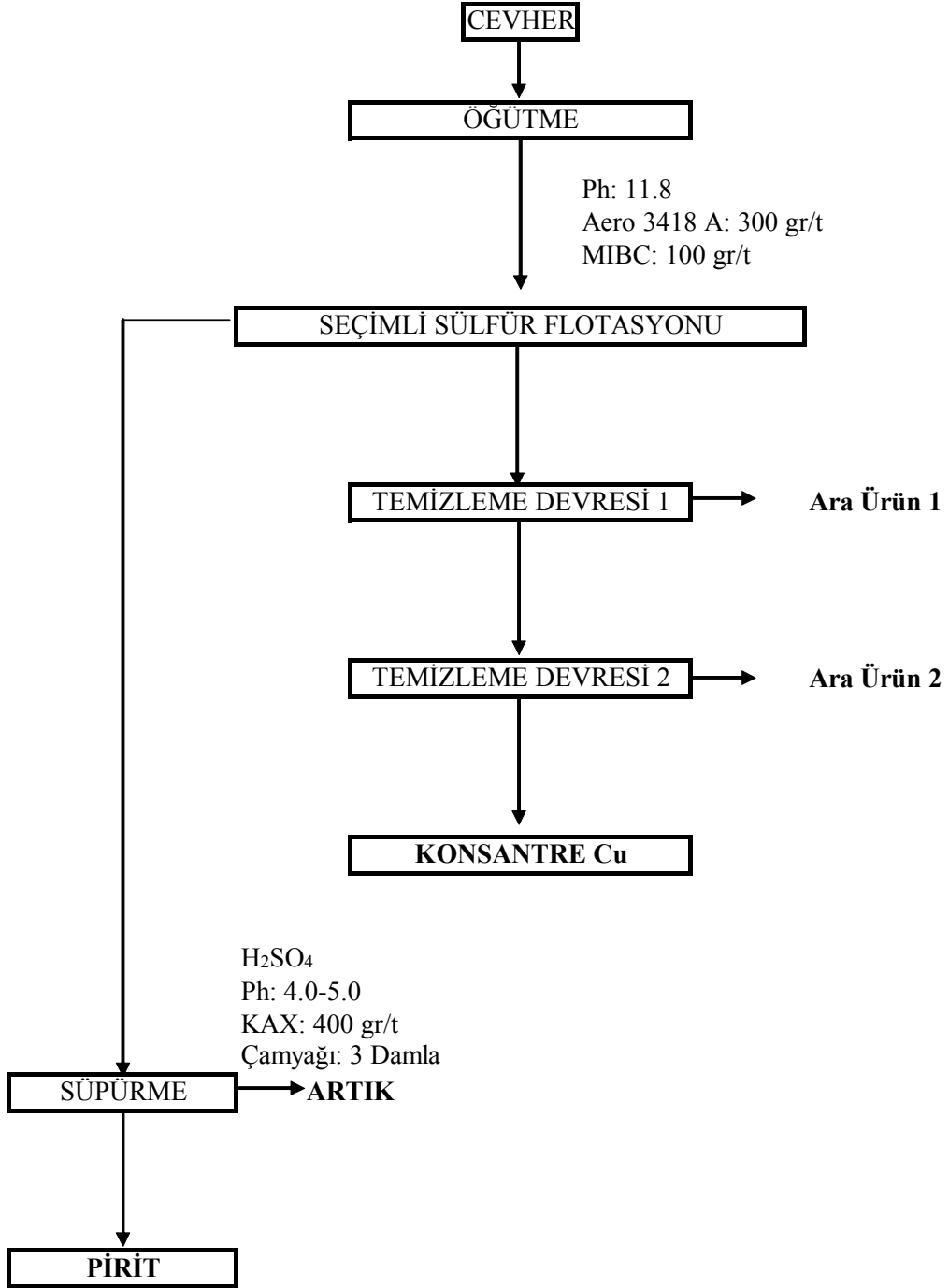
Şekil B.4: AERO 3418 A (60 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



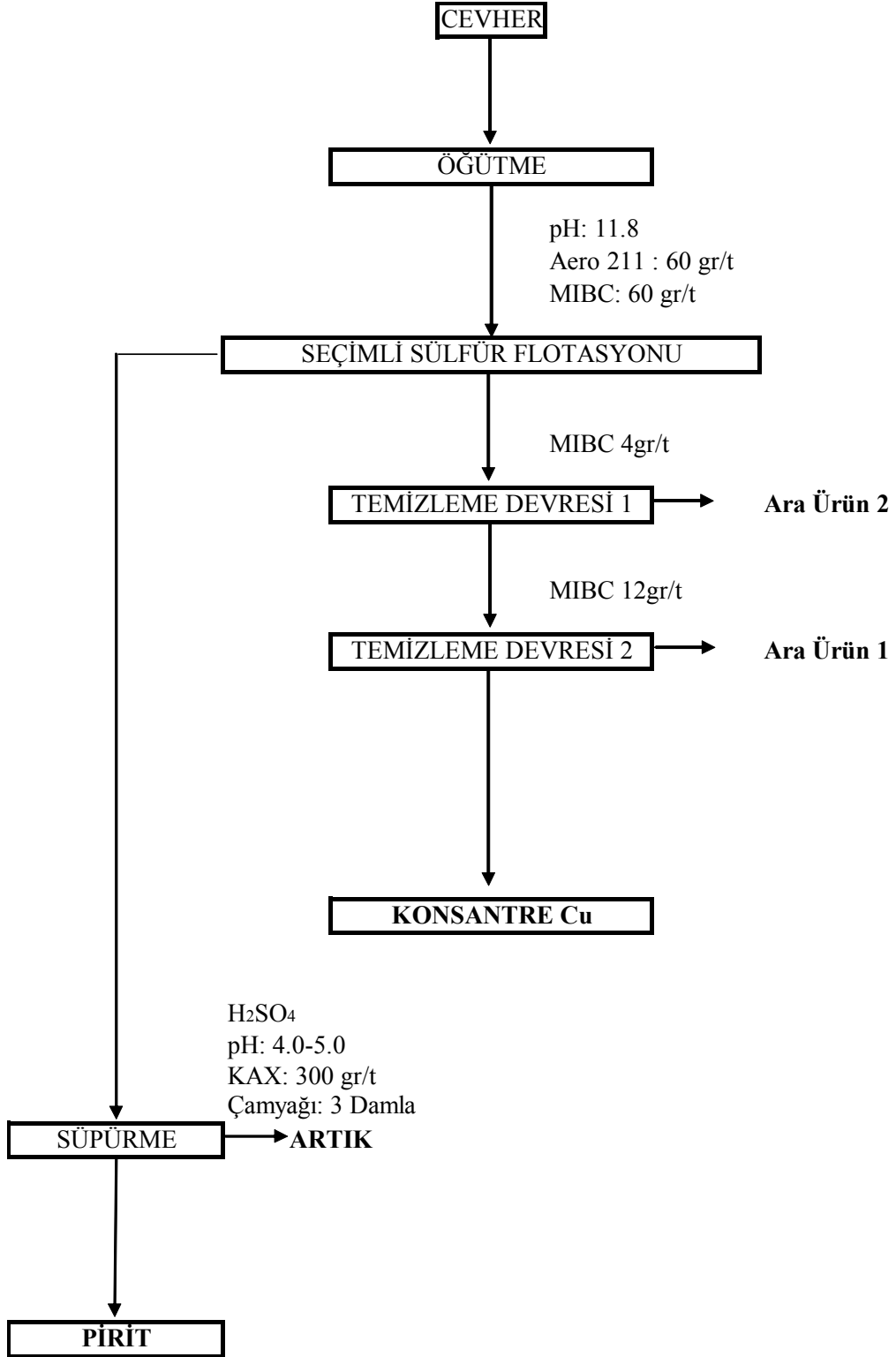
**Şekil B.5:** AERO 3418 A (90 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



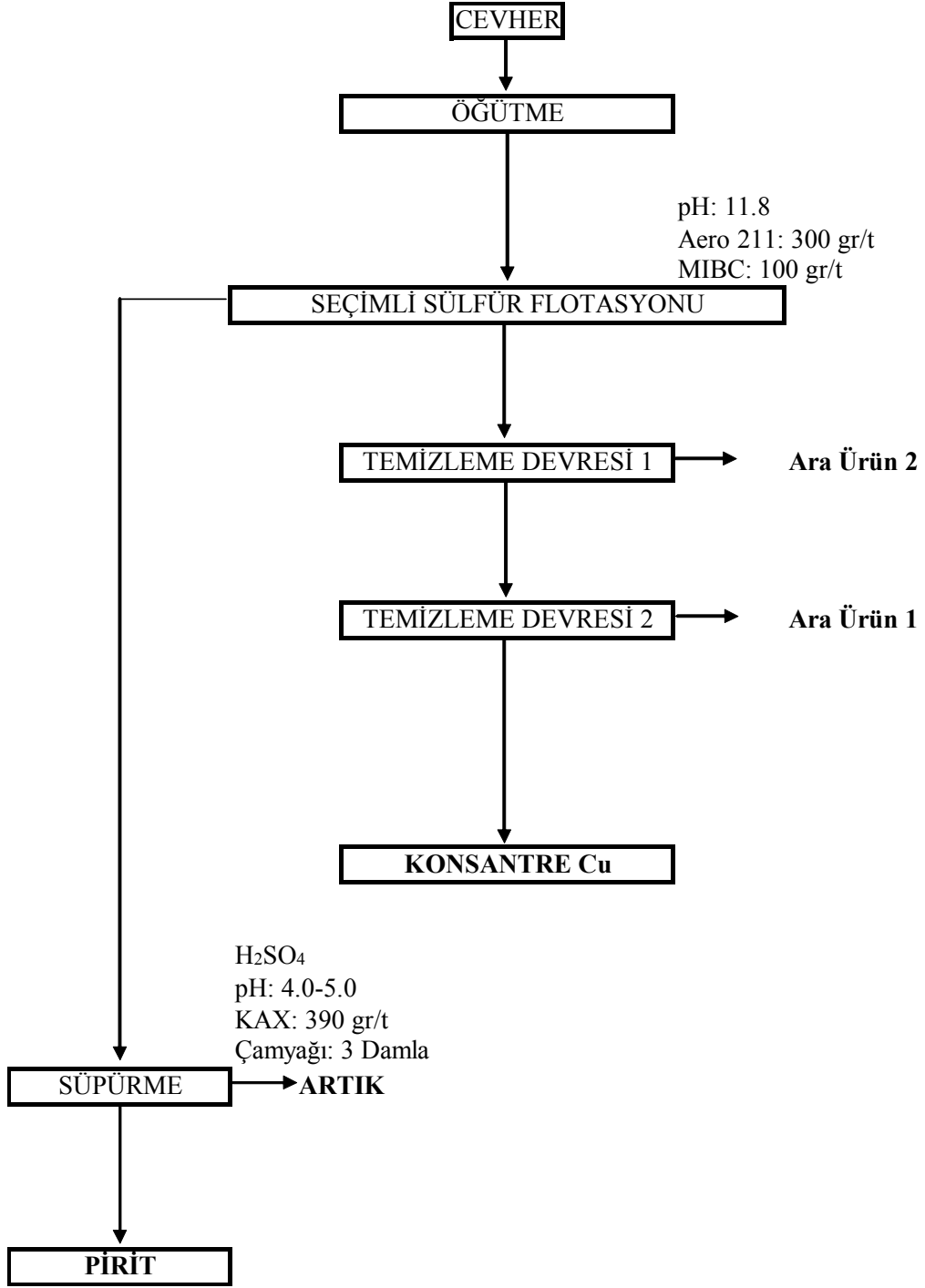
**Şekil B.6:** AERO 3418 A (150 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



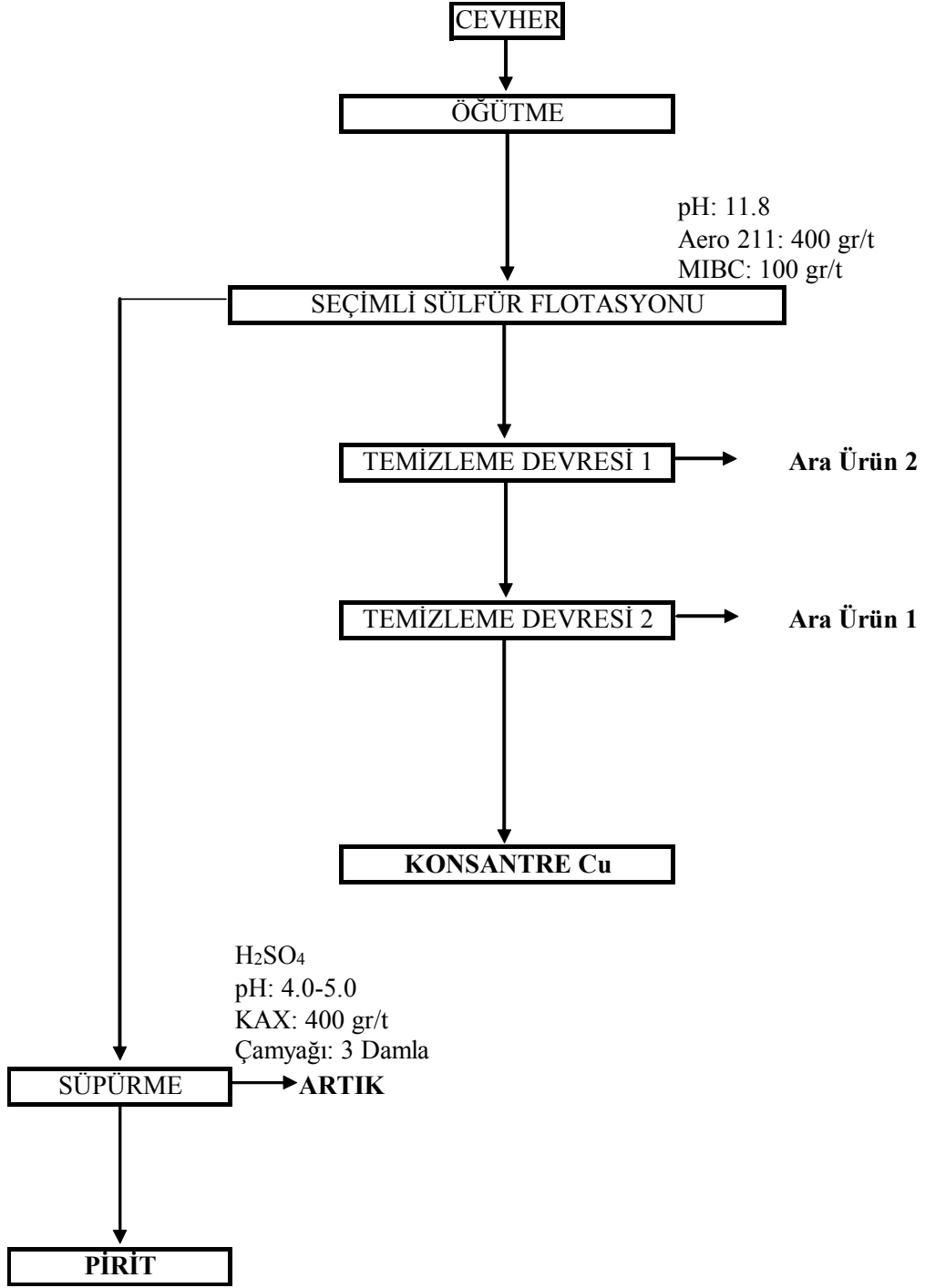
Şekil B.7: AERO 3418 A (300 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



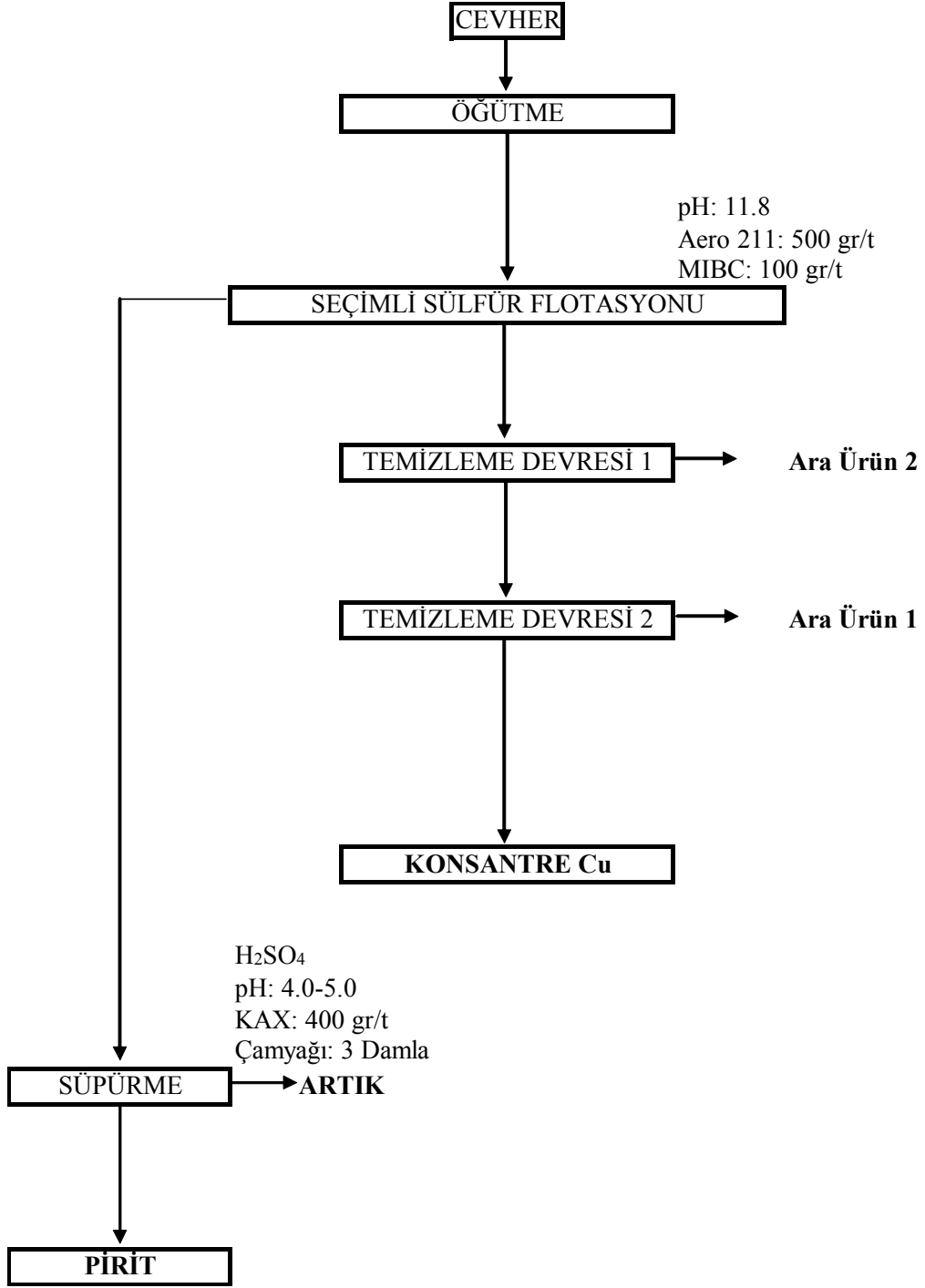
Şekil B.8: AERO 211 (60 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



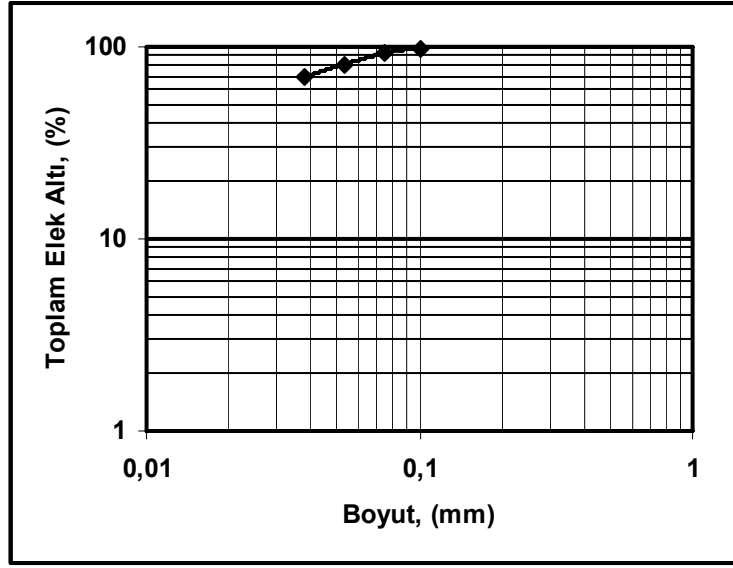
**Şekil B.9:** AERO 211 (300 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



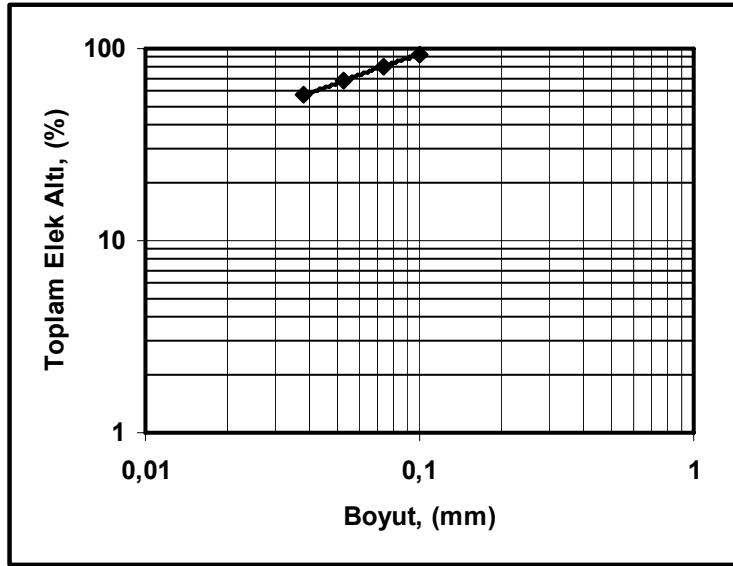
Şekil B.10: AERO 211 (400 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



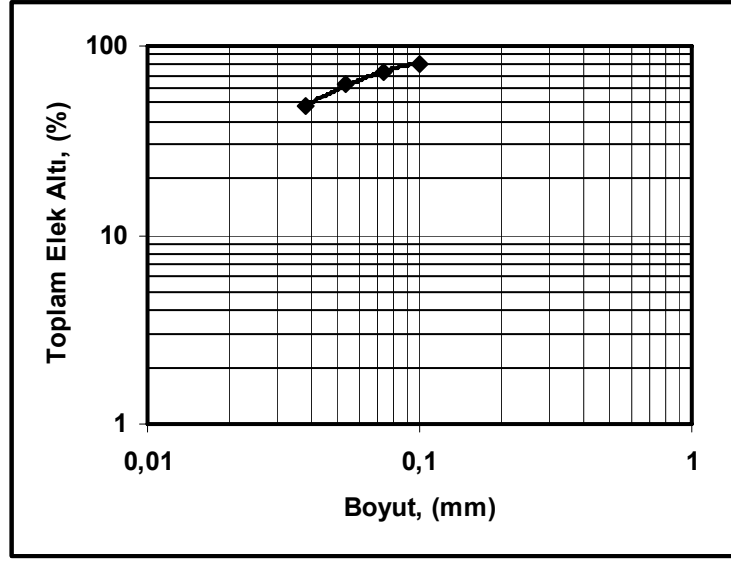
Şekil B.11: AERO 211 (500 g/t) ile Yapılan Deneyin Akım Şeması



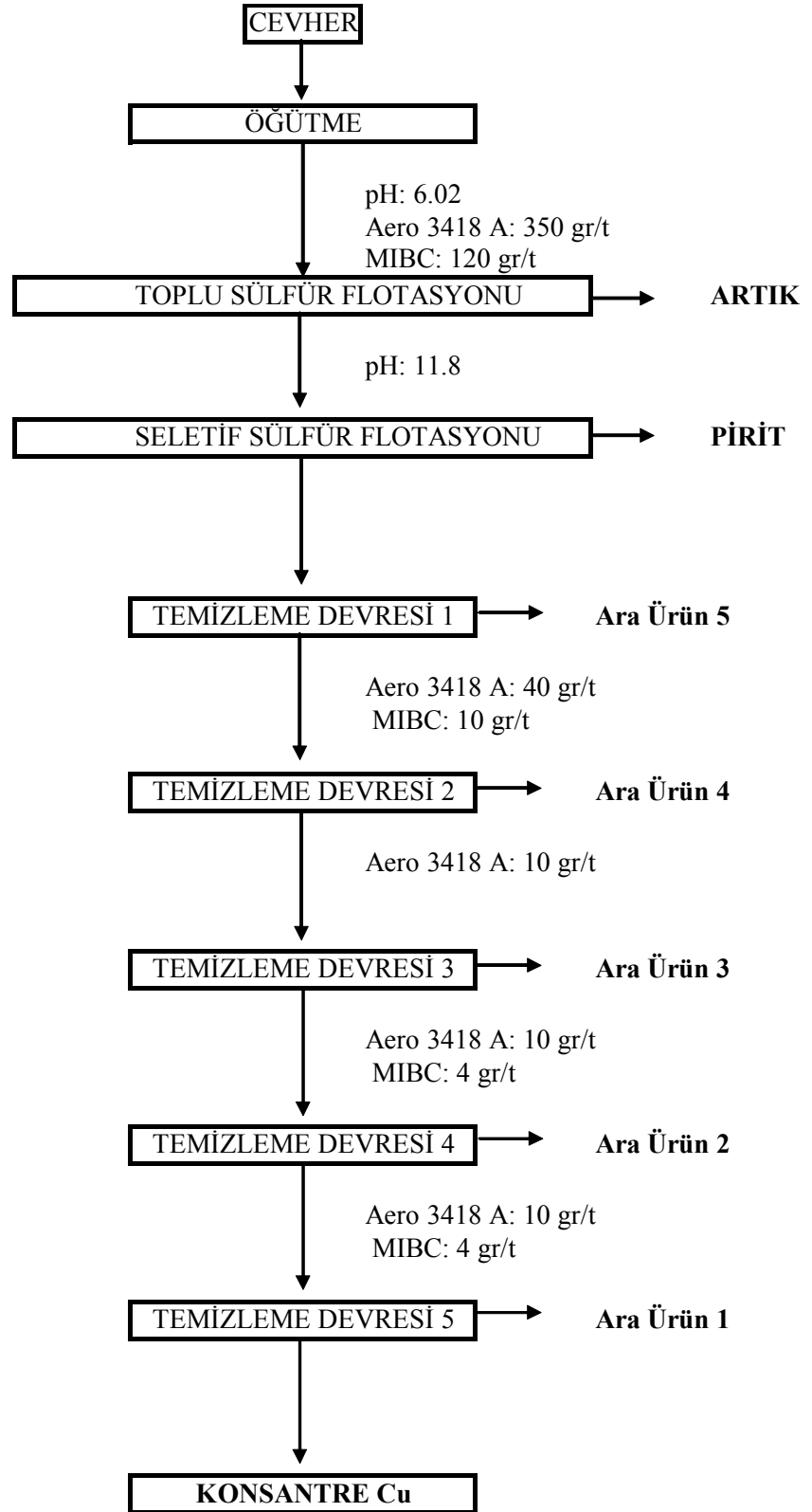
**Şekil B.12:** Cevherin %80'ninin 53 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği



**Şekil B.13:** Cevherin %80'ninin 74 µm Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği



**Şekil B.14:** Cevherin %80'ninin 100  $\mu\text{m}$  Altına Geçtiği Durumda Boyut Dağılımı Grafiği



**Şekil B.15:** Toplu Sülfür Flotasyonu Akım Şeması

## **ÖZGEÇMİŞ**

16.05.1979 yılında İstanbul’da doğdum. İlk öğrenimimi Hilmiçelikoğlu İlkokulu’nda, lise öğrenimimi Halide Edip Adıvar Süper Lisesi’nde tamamladıktan sonra Üniversite öğrenimime 1998-2003 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde devam ettim. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher-Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimime başladı