

57213



**MURGUL - ÇAKMAKKAYA BAKIR
CEVHERİNİN FLOTASYONU VE
TESİS TASARIMI**

Vildan ÇAKIN

**Yüksek Lisans Tezi
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

ISPARTA - 1996

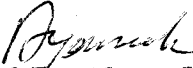
T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MURGUL - ÇAKMAKKAYA BAKIR CEVHERİNİN FLOTASYONU
VE TESİS TASARIMI


VİLDAN ÇAKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI


Prof. Dr. Ahmet YAMIK
(Danışman)


Doç. Dr. Ahmet ŞENTÜRK


Yrd. Doç. Dr. Yıldırım TOSUN

ÖZET

Minerallerin sürekli (tesis) devrelerdeki yüzebilirlik davranışları, kesikli (klasik laboratuvar deneyleri) devrelerden farklı olmaktadır. Bu nedenle klasik flotasyon deneyleri, minerallerin tesis devrelerindeki davranışlarını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Minerallerin yüzebilirliklerinin tesis devrelerine benzer sürekli devrelerde incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kapalı devre flotasyon deneyleri ve pilot tesis çalışmaları yapılmaktadır. Fakat bu iki çalışmanın yürütülebilmesi çok güç, zaman alıcı hatta bazı durumlarda olanaksız olabilmektedir. (Örneğin; devrelerde denge durumuna ulaşılamaması yada önceden tahmin edilemediği için devrelerde oluşan aşırı yükten dolayı deneyin tamamlanamaması gibi.)

Son zamanlarda gelişen teknolojiye uygun olarak, bazı cevher hazırlama yöntemlerinin sonuçları bu amaç için geliştirilen matematiksel modeller ve bilgisayar yardımı ile önceden tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmaların belirgin özellikleri ise daha kolay elde edilebilen verileri kullanarak daha karışık ve yapılması daha güç cevher hazırlama yöntemlerinin sonuçlarının önceden belirlenebilmesidir.

Bu tez çalışmasında, yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda, Murgul - Çakmakkaya bakır cevheri üzerinde flotasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen kesikli laboratuvar deney verilerinden yararlanılarak, simulasyon ve iterasyon yöntemleri ile kapalı devre flotasyon deney sonuçları belirlenmiştir. Böylece yürütülebilmesi çok güç olan kapalı devre flotasyon deneyleri yapılamaksızın bir bakır flotasyon tesisinin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

ABSTRACT

In the continuous circuits, flotability behavior of the minerals are different from ones in classic flotation. The classic flotation tests are insufficient for determining the behavior of the minerals in plant circuits. It is therefore necessary to analyze the flotability of minerals in continuous circuits which are similar to plant circuits. Therefore the locked cycle flotation tests and pilot plant analysis have been developed but it is difficult to carry out these tests because of the lack of time. For example, sometime the tests are not concluded because of the unexpected formation of excessive mass and inequality of material balance in circuits.

Recently it has become widespread to simulate or predict the results of some mineral processing works by mathematical models supported with computers. In these models, parameters obtained by simple works are used to predict the results of more sophisticated works. Therefore, saving of time cost sample and necessary labor is realized.

In this study, flotation tests are conducted, through the aims mentioned above by using the copper mine that is obtained from Murgul - Çakmakkaya plant. The locked cycle test results are determined from the data obtained from the classic laboratory flotation tests by using the methods of simulation and iteration. As a result, the projection of a copper flotation plant is realized without carrying out locked cycle flotation test that is difficult to conduct.

ÖNSÖZ

Minerallerin, flotasyon devrelerindeki yüzebilirlikleri, matematiksel modeller ile analitik olarak açıklanabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen matematiksel modeller, kullanmada araştırmacıya kolaylık sağlaması için bilgisayar programları olarak yeniden düzenlenebilmektedir.

Yapılması güç ve zaman alıcı kapalı devre laboratuvar flotasyon deneyi sonuçları, klasik olarak yapılan kesikli flotasyon deneylerinden elde edilen verileri, bu modeller içerisinde kullanarak belirlenebilmektedir. Böylece, kapalı devre flotasyon deneylerinin yürütülmesinde çıkabilecek bazı güçlükler önceden belirlenebileceği gibi zamandan, maliyetten ve gerekli iş gücünden de tasarruf sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, laboratuvarında gerçekleştirilen kesikli flotasyon deneylerinden elde edilen verilerden yararlanılarak, kapalı devre flotasyon deney sonuçlarının belirlenebilmesi amacıyla geliştirilen, iterasyon ve simulasyon yöntemleri kullanılarak, bir bakır flotasyon tesisinin tasarımı yapılmıştır.

Bu projenin hazırlanmasında yapıcı fikirleriyle beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet YAMIK 'a, danıştığım her konuda benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Emin Cafer Çilek 'e, kimyasal analizlerim sırasında yardımcı olan Öğrt. Gör. Namık GÜNEŞ 'e, ve öğrenimim süresince bilgilerinden yararlandığım tüm değerli hocalarım ile Maden mühendisliği bölümü elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca maddî ve manevî desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi ifade etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| ÖZET | |
| ABSTRACT | |
| ÖNSÖZ | |
| İÇİNDEKİLER | |
| SİMGELER LİSTESİ | |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | |
| TABLolar LİSTESİ | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERLERİNİN FLOTASYONU | 3 |
| 2.1. Pirit - Pirotinli Bakır Cevherlerinin Flotasyonu | 7 |
| 3. K.B.İ MURGUL - ÇAKMAKKAYA BAKIR ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ | 12 |
| 3.1. Coğrafi Konum | 12 |
| 3.2. Murgul - Artvin Maden Yatakları | 12 |
| 3.2.1. Damar Sahası | 12 |
| 3.2.2. Çakmakkaya Sahası | 13 |
| 3.3. Kırma ve Öğütme Devresi | 13 |
| 3.4. Bulk Flotasyon Devresi | 13 |
| 3.5. Bakır Flotasyonu Devresi | 14 |
| 3.6. İzabe Tesisi | 14 |
| 3.7. Sülfirik Asit Tesisleri | 14 |
| 4. KAPALI DEVRE FLOTASYON DENEY SONUÇLARININ ÖNCEDEDEN TAHMİNİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER | 16 |
| 4.1. İterasyon Yöntemi | 16 |
| 4.1.1. İterasyon Denklemlerinin oluşturulması | 17 |
| 4.1.2. Bilgisayar Programı | 18 |
| 4.2. Simulasyon Yöntemi | 20 |
| 4.2.1. Flotasyon Kapalı Devrelerinin Simulasyonu | 20 |
| 4.2.2. Simulasyon Yönteminin Uygulanması | 25 |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 26 |
| 5.1. Kollektif Aşama Deney Sonuçları | 26 |
| 5.1.1. Kaba Devre | 26 |
| 5.1.2. Temizleme Devresi | 27 |
| 5.1.3. Süpürme Devresi | 27 |

| | |
|--|----|
| 5.1.4. Kollektif Aşama Toplam Devre Sonuçları | 28 |
| 5.2. Selektif Aşama Deney Sonuçları | 29 |
| 5.2.1 Kaba Devre | 29 |
| 5.2.2 Temizleme Devresi | 29 |
| 5.2.3. Süpürme 1 Devresi | 30 |
| 5.2.4. Süpürme 2 Devresi | 30 |
| 6. LABORATUVAR SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | 32 |
| 6.1. Laboratuvar Sonuçlarının İterasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi | 32 |
| 6.1.1. Kollektif Aşama | 32 |
| 6.1.2. Selektif Aşama | 33 |
| 6.2. Laboratuvar Sonuçlarının Simulasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi | 36 |
| 6.2.1. Kollektif Aşama | 36 |
| 6.2.1.1. Kollektif Aşama Kütle Balansı | 36 |
| 6.2.1.2. Kollektif Aşama Tenör Balansı | 37 |
| 6.2.1.3. Kollektif Aşama Su Balansı | 37 |
| 6.2.1.4. Simulasyon Yöntemi ile Hesaplanan Kollektif Aşama Kapalı Devre Flotasyon Sonuçları | 38 |
| 6.2.1.5. Kollektif Aşama Flotasyon Sürelerinin Hesaplanması | 38 |
| 6.2.2. Selektif Aşama | 39 |
| 6.2.2.1. Selektif Aşama Kütle Balansı | 40 |
| 6.2.2.2. Selektif Aşama Tenör Balansı | 41 |
| 6.2.2.3. Selektif Aşama Su Balansı | 42 |
| 6.2.2.4. Simulasyon Yöntemi ile Hesaplanan Selektif Aşama Kapalı Devre Flotasyon Sonuçları | 42 |
| 6.2.2.5. Selektif Aşama Flotasyon Sürelerinin Hesaplanması | 43 |
| 7. TESİSTE KULLANILACAK EKİPMANLARIN SEÇİMİ | 44 |
| 7.1. Tesiste Kullanılacak Selüllerin Seçimi | 44 |
| 7.1.1. Kollektif Aşamada Kullanılacak Selüllerin Seçimi | 44 |
| 7.1.2. Selektif Aşamada Kullanılacak Selüllerin Seçimi | 44 |
| 7.2. Tesiste Kullanılacak Pompaların Seçimi | 45 |
| 7.3. Tikner Tasarımı | 46 |
| 7.3.1. Bulk Konsantre Tikneri | 46 |
| 7.3.2. Bakır Konsantresi Tikneri | 47 |
| 7.3.3. Pirit Konsantre Tikneri | 48 |
| 7.4. Bilyalı Değirmen Tasarımı | 49 |

| | |
|--|----|
| 7.5. Siklon Tasarımı | 50 |
| 7.6. Kondisyon Tanklarının Tasarımı | 51 |
| 8. TESİSİN YATIRIM MALİYETİNİN HESAPLANMASI | 52 |
| 8.1. Tesiste Kullanılan Selüllerin Maliyeti | 52 |
| 8.2. Tesiste Kullanılan Pompaların Maliyeti | 54 |
| 8.3. Tesiste Kullanılan Tiknerlerin Maliyeti | 57 |
| 8.4. Bilyalı Değirmen Maliyeti | 58 |
| 8.5. Hidrosiklon Maliyeti | 58 |
| 8.6. Kondisyon Tankı Maliyeti | 58 |
| 8.7. Tesisin Toplam Yatırım Maliyetinin Hesaplanması | 59 |
| 9. SONUÇ VE ÖNERİLER | 60 |
| KAYNAKLAR | 64 |
| EKLER | |



SİMGELER LİSTESİ

| | |
|-----------------|---|
| A | Tikner kesit alanı |
| An | n'inci akış kolu |
| an | n'inci akış kolu için tenör değeri |
| a,b | Ekonomik yapı, tesis tipi ve yerel üretime bağlı etkenleri gösteren katsayı |
| c | Konsantrasyon tenörü |
| Co | Başlangıç konsantrasyonu |
| Cs | Son konsantrasyon |
| Dn | Dağılım katsayısı |
| dp | Pulp özgül ağırlığı |
| f | Besleme tenörü |
| F ₃₀ | Ürün boyutu |
| H | Tikner yüksekliği |
| Hs | Sonuç yüksekliği |
| Ho | Başlangıç yüksekliği |
| IF | İlk besleme |
| k | Flotasyon hız sabiti |
| n | Selül sayısı |
| p | Pulp yoğunluğu |
| P ₃₀ | Besleme boyutu |
| Q | Kapasite |
| R _L | Laboratuvar randımanı |
| R _E | Endüstriyel randıman |
| R _r | Ufalama oranı |
| t | Flotasyon süresi |
| T | Sürekli sistem için flotasyon süresi |
| tl | Laboratuvar flotasyon süresi |
| te | Endüstriyel flotasyon süresi |
| ts | Maximum çökelme zamanı |
| Y _B | İlk sirkulasyondan sonra oluşan yeni besleme |
| Wi | İş endeksi |
| Wp | t dakikada kalacak pulp ağırlığı |
| x | Kullanılan ekipmana ait parametre (maliyet hesabı için) |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-----------|--|----|
| Şekil 1a. | Selektif Cu - Pirit flotasyonu genel akım şeması | 9 |
| Şekil 1b. | Selektif Cu - Pirit flotasyonunda kullanılan reagensler ve flotasyon selülleri | 10 |
| Şekil 2. | Kollektif - Selektif Cu - Pirit flotasyonu genel akım şeması | 11 |
| Şekil 3. | K.B.İ Murgul - Çakmakkaya bakır zenginleştirme tesisi akım şeması | 15 |
| Şekil 4. | Çözümlemeye temel oluşturan flotasyon devresi akım şeması | 17 |
| Şekil 5. | n' inci döngüde tipik bir kapalı devre flotasyon şeması | 21 |
| Şekil 6. | Flotasyon devrelerinde dağılım katsayılarının hesaplanması | 21 |
| Şekil 7. | 5 ayırıcılı kapalı devre flotasyon deneyi akım şeması | 23 |
| Şekil 8. | Kollektif aşama akım şeması | 28 |
| Şekil 9. | Toplam devre akım şeması | 31 |
| Şekil 10. | İterasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren kollektif aşama kapalı devre akım şeması | 32 |
| Şekil 11. | İterasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren selektif aşama kapalı devre akım şeması | 34 |
| Şekil 12. | Simulasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren kollektif aşama kapalı devre akım şeması | 36 |
| Şekil 13. | Simulasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren selektif aşama kapalı devre akım şeması | 39 |

TABLOLAR LİSTESİ

| | | |
|-----------|--|----|
| Tablo 1. | Örneklemede kullanılan flotasyon laboratuvar deney verileri | 19 |
| Tablo 2. | Program çalıştırıldıktan sonra alınan bilgisayar çıktısı | 19 |
| Tablo 3. | Kollektif aşama kaba devre flotasyon sonuçları | 26 |
| Tablo 4. | Kollektif aşama temizleme devresi flotasyon sonuçları | 27 |
| Tablo 5. | Kollektif aşama süpürme devresi flotasyon sonuçları | 27 |
| Tablo 6. | Kollektif aşama toplam devre metalurjik denge çizelgesi | 28 |
| Tablo 7. | Selektif aşama kaba devre flotasyon sonuçları | 29 |
| Tablo 8. | Selektif aşama temizleme devresi flotasyon sonuçları | 29 |
| Tablo 9. | Selektif aşama süpürme 1 devresi flotasyon sonuçları | 30 |
| Tablo 10. | Selektif aşama süpürme 2 devresi flotasyon sonuçları | 30 |
| Tablo 11. | Toplam devre metalurjik denge çizelgesi | 31 |
| Tablo 12. | Kollektif aşama flotasyon deney verileri | 32 |
| Tablo 13. | İterasyon yöntemi ile hesaplanan kollektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları | 33 |
| Tablo 14. | Selektif aşama kaba ve temizleme devreleri deney verileri | 34 |
| Tablo 15. | Selektif aşama süpürme 1 ve süpürme 2 devreleri deney verileri | 34 |
| Tablo 16. | İterasyon yöntemi ile hesaplanan selektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları | 35 |
| Tablo 17. | Simulasyon yöntemi ile hesaplanan kollektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları | 38 |
| Tablo 18. | Simulasyon yöntemi ile hesaplanan selektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları | 42 |
| Tablo 19. | Bulk konsantre sedimantasyon testi sonuçları | 46 |
| Tablo 20. | Bakır konsantresi sedimantasyon testi sonuçları | 47 |
| Tablo 21. | Pirit konsantresi sedimantasyon testi sonuçları | 48 |
| Tablo 22. | Tesis bileşenleri maliyetlerinin katsayı yöntemi ile hesaplanması | 59 |

1. GİRİŞ

Laboratuvarda gerçekleştirilen kesikli flotasyon deneylerinden elde edilen veriler doğrudan sürekli sistemde kullanılamazlar. Çünkü kesikli laboratuvar deneyleri minerallerin tesis devrelerindeki davranışlarını belirlemede yetersiz kalmaktadır (1).

Flotasyonda, tesis kurma aşamasına geçilmeden önce, kapalı devre flotasyon deneyleri ile pilot tesis çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Kapalı devre flotasyon deneyleri bir önceki sirkülasyonda elde edilen temizleme artıkları ve süpürme konsantrelerinin daha sonraki sirkülasyonda gerekli yerlere yeniden yüzdürülmek üzere birleştirilmesiyle oluşan deneylerdir. Yani aslında klasik flotasyon deneylerinin tekrarı olan uzun flotasyon deneyleridir (2). Kapalı devre flotasyon deneylerinin yapılması bazı güçlükleride beraberinde getirmektedir. Bunlardan ilki kapalı devre flotasyon deneylerinde denge durumunun oluşturulamaması veya devre akışlarında daha önceden hesaplanmamış fazlalıkların oluşmasıdır. Ayrıca, kapalı devre laboratuvar deneylerinin çok fazla zaman alıcı olmasıda başka bir dezavantajdır. Basit bir devrenin bile dengeye ulaştırılması için en az beş yada altı sirkülasyon gerekmektedir. Kapalı devre flotasyon deneylerinin bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla yapılan bazı çalışmalar, kesikli laboratuvar deney verilerinden yararlanılarak kapalı devre flotasyon deney sonuçlarının önceden belirlenebileceğini göstermektedir (3).

Bu amaçla geliştirilen iterasyon yönteminde kapalı devrenin denge durumuna ulaştırılması iteratif olarak gerçekleştirilmektedir. Kapalı devre laboratuvar deneylerinde yapılan tekrarlı sirkülasyon işlemi bu yöntemde matematiksel olarak yapılmaktadır. Yöntemin temel özelliği, sirkülasyon işlemleri sırasında her devre için zenginleştirme, randıman ve konsantrasyon oranlarının sabit kaldığı kabul edilerek geliştirilen iterasyon denge denklemleri sayesinde çözüme ulaşılmasıdır (3).

Bu konuda geliştirilmiş bir başka yöntemde simülasyon yöntemidir. Simülasyon, bir sürecin (prosesin), gerçekteki muhtemel davranışının sürecin fiziksel veya matematiksel modeli aracılığı ile incelenmesi veya benzetimidir. Cevher hazırlama akım şemalarının tasarım ve değerlendirilmesi için yapılan pilot tesis çalışmaları ve laboratuvarda yürütülen kesikli deneylerin süreli çalışan bir sürecin benzetimini sağlayacak şekilde kapalı devre (locked - cycle) düzeni içinde tekrarlanması fiziksel modellere yapılan simülasyon örnekleridir (4).

Süreç simülasyonu teknikleri, bilgisayarlardaki gelişmelere paralel olarak 1960 'lı yıllardan beri birçok endüstri dalında giderek artan bir önemle akım şeması tasarımı ve tesis işletiminde modern bir araç olarak kullanılmaktadır. Önceleri kimya ve petrokimya endüstrilerinde geliştirilmiş olan süreç simülasyonunun cevher hazırlamadaki uygulamaları ancak 1970 'li yılların sonlarından itibaren görülmektedir. Bu gecikmenin en önemli nedeni

de cevher hazırlama süreçlerinin karmaşık yapısı nedeniyle simulasyon için uygun matematiksel modellerin geliştirilmesinde karşılaşılan zorluklardır (5).

Süreç simulasyonu için geliştirilen modellerin ana amacı, tesis akım şemasının tümünün veya tesisteki temel işlemlerin herhangi birinin performansının ve çıkan ürünlerin miktar ve özelliklerinin tasarım ve işletme değişkenlerine bağlı olarak kestirimidir. Bu amaca yönelik olarak geliştirilen modellerle, alternatif akım şemalarının kararlı veya dinamik davranışlarının karşılaştırılmasıyla, optimum tasarım ve süreç denetimi stratejilerinin geliştirilmesi sağlanabilmektedir (5).

Flotasyon süreçlerinin simulasyonunu yapabilmek amacıyla bu konuda elde edilen temel bilgiler birleştirilerek genelleştirilmiş kinetik modeller geliştirilmiştir. Flotasyon işlemini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Simulasyon, bu değişken faktörlerle karmaşık hale gelen flotasyon işleminin optimizasyonunu sağlamaktadır. Geliştirilen kinetik modeller, flotasyon tesis projelerinin hazırlanmasında optimal şartların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışmalarda başlangıçta sürekli ve kesikli operasyonlar için aynı flotasyon verilerinin kullanılabilmesi kabul edilmiştir. Kinetik modeller kesikli deneysel veriler ile tesis şartları arasında bağlantı kurması açısından bilinen yöntemler içerisinde en kullanışlı olanıdır. Kinetik modellerin kullanılması ile tesis kurma aşamasında verilen kararlarda yapılabilecek hatalar minimuma indirildiği gibi optimal flotasyon şartlarının belirlenmesi ile flotasyon işleminin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Ayrıca bu yöntemle kapalı devre flotasyon deneylerinin dezavantajları da ortadan kaldırılmış olmaktadır (6).

Simulasyonun en büyük avantajı, tesis çapında deneysel bir çalışma yürütmeksizin veya çalışan bir tesisin düzenini bozmaksızın mühendislere süreç analizi olanağı sağlamasıdır. Simulasyonun bu avantajı, aynı zamanda en tehlikeli özelliğini oluşturmaktadır. Simulasyondan elde edilecek sonuçların gerçekçi olabilmesi için modellerin, sürecin fiziksel veya kimyasal olaylarını doğru temsil edebilecek şekilde geliştirilmiş olması ve kullanılabilirlik sınırlarının doğru belirlenmiş olması gereklidir. Simulasyon sonuçlarının gerçekçi olup olmadığı süreç mühendisi tarafından eleştireci bir yaklaşımla değerlendirilmeli ve gerekiyorsa matematiksel modelde gerekli düzeltmeler yapılmalıdır (5).

2. SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERLERİNİN FLOTASYONU

Bakır cevherlerinde, sülfürlü bakır mineralleri olarak kalkopirit (CuFeS_2), kalkosin (Cu_2S), bornit (Cu_3FeS_3), kovellin (CuS), tetraedrit ($3\text{Cu}_2\text{S.SbS}_3$), enargit (Cu_3AsS_4), pirit, pirotin, markazit ile Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Hg, Sb, Bi'un sülfürlü mineralleri, gang minerali olarak kuvars, serisit, barit, kalsit vs. bulunur. Sülfürlü minerallerin tümü anyonik toplayıcılar (ksantatlar ve ditiyofosfatlar) ve çamyacı veya bir alkol köpürtücü kullanılarak başarıyla flote edilebilirler. Cevherde bulunan kıymetli minerallerin selektif serbestleşme tane boyutu 30 mikrondan fazla ise selektif metal konsantreleri olarak kazanılırlar. Kıymetli metal sülfür minerallerinin serbestleşme tane boyutu 30 mikrondan küçük ise, kollektif serbestlik derecesine öğütülmüş cevherden flotasyonla bulk konsantre(kollektif konsantre) üretilir. Bu toplu konsantreler daha sonra pirometalurjik veya hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilebilirler (7).

Bakır cevherlerinde, sülfür minerallerinin flotasyondaki davranışları özet olarak aşağıdaki gibidir:

Kalkosin yüksek bakır içerikli önemli bir bakır mineralidir. Genelde sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu oluşmuştur. Bu nedenle kalkosinle beraber, pirit, kalkopirit, bornit, kovellin, malahit, azuritte bulunur. İç yapısında Ag, Fe, Co, Ni, As, Au içerebilir. Pulpa Cu iyonları verdiği için, pirit ve sfalerit bastırılmasını güçleştirir. Kalkosin flotasyonunda anyonik toplayıcılar, bilhassa ksantatlar, ditiyofosfatlarla yüzdürülür. Kostik soda ve siyanür kalkosini bastırır. En güçlü kalkosin bastırıcıları Na_2SiO_3 , $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_3$, Na_2S , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dir. Kireç kalkosinin yüzebilirliğini olumsuz etkilediğinden piriti bastırmak veya pH ayarlamak için kullanıldığında çok dikkatli olmak gerekir (8).

Kalkopirit en önemli ve en çok üretilen bakır mineralidir. Genellikle primer oluşumludur. Altın, gümüş nadiren talyum içerir. Kalkopirit genelde pirit, pirotin, sfalerit, galen ve fahlerzlerle beraber bulunur. Uzun süre nötr veya hafif alkali ortamda kalmış kalkopirit yüzeyinde ince bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka pH 10'un üzerinde bozunur. Bu arada pulpta SO , S_2O_3 , S_4O_6 iyonları oluşur. Ağır metal iyonlarına rastlanmaz. Hafif asidik ortamli kalkopirit pulplarında H, SO_4 , Cu, Fe ve diğer metal iyonlarına rastlanır. Oksitleyici reaktifler kalkopirit yüzeyinde demir hidroksit filmi oluşturarak yüzebilirliğini olumsuz yönde etkilerler. Yüzey veya kendisi oksidasyona uğramamış kalkopirit, bir köpürtücü yardımıyla yüzdürülebilirse, kalkopirit yüzdürmede normal sülfür toplayıcılardan biri (ksantatlar - ditiyofosfatlar) kullanılır. Siyanürlerle kalkopiriti bastırma oldukça iyidir. Zira siyanür kalkopiritin yüzmesi için gerekli yüzeysel bakır-ksantojen filminin oluşmasını engeller. Hatta kalkopirit yüzeyinde önceden oluşmuş bakır-ksantojen filmi siyanür ilavesiyle dağılır. Bu özellikten yararlanarak kollektif galen-kalkopirit

konsantrelerinden selektif konsantreler üretilir. Kireç ancak çok fazla kullanıldığında kalkopiriti bastırır. Sülfürün Na-Hyposülfürün , Na-bikromatin kalkopirit üzerinde bastırıcı etkisi yoktur. Bu özellikten galenle kalkopiritin selektif flotasyonunda yararlanılır (8).

Bornit genelde sekonder oluşmuş bakır mineralidir. Kalkopirit ve piritle beraber bulunur. Oksidasyon dayanımı oldukça yüksektir. Yüzebilirliği, kalkosinden iyi kalkopiritten kötüdür. NaCN' den kalkopirit gibi etkilenir (7).

Kovellin sekonder oluşmuştur. Pirit, kalkopirit, bornit ve diğer oksidasyon zonu mineralleri ile birlikte bulunur. Kovelline bazen kalkopirit yüzeylerinde koyu mavi film şeklinde rastlanır. Bakır yataklarında, kovellin ekonomik ağırlıklı mineral olarak da bulunur. Flotasyon davranışları yönünden kalkozine benzer. Yüzebilirliği yönünden kalkopirit kadar iyi değildir. Kırılgan olmalarından ve sert piritlerle birlikte bulunmalarından dolayı aşırı öğünüp şlama kaçabilirler (8).

Enargit, tentanit ve tetraedrit minerallerine sülfürlü bakır mineralleriyle veya galen ve sfaleritle beraber rastlanır. Bu minerallerden en iyi yüzebileni olan enargitin yüzebilirliği kalkopirit'inkinden biraz kötüdür (8).

Pirit'e hemen hemen tüm bakır yataklarında rastlanır. Cevherde yüksek oranda pirit olması halinde bastırılıp ayrı değerlendirilmezlerse, cevherden üretilecek bakır veya diğer metal konsantrelerinin tenörlerini düşürür. Bu nedenle bakır cevherlerinin ve diğer sülfürlü metal cevherlerinin zenginleştirilmesinde, piritin flotasyondaki davranışı oldukça önemlidir (8).

Bakır sülfürlerin flotasyonun da, en önemli problem piritin bastırılmasıdır. Kireç kullanarak ortamı alkali yapmakla (pH 8.5-12) piriti bastırmak mümkündür. Eger cevher metalik Au içeriyorsa kireç miktarının iyi ayarlanması gerekir. Çünkü kireç fazla miktarda kullanılırsa altın için bastırıcı etki gösterir. Piriti bastırmak için, şiddetli karıştırma ile pulpa hava vermek, böylece bakır minerallerine göre daha kolay oksitlenen pirit yüzeylerini oksitleyerek piritin yüzmesini önlemek mümkündür. PH'ı yükseltmekle beraber, bir miktar alkali siyanür (KCN veya NaCN) ilavesi de piritin bastırılmasını kolaylaştırır. Ancak siyanür, kirece oranla pahalı olduğundan ve fazlasının bakırda bastıracağı düşünülerek az miktarlarda kullanılmalıdır (5-20 gr/ton) (9).

Bastırılmış pirit asitli ortamda tekrar aktive olur. Uygulamada bastırılmış pirit sodalı ortamda yüzdürülür. Soda, pirit yüzeyindeki hidroksit ve sülfatları temizleyerek flotasyona hazır hale getirir. Bakır sülfat' da ayrıca önemli bir pirit canlandırıcısıdır (7).

Pirotin, piritle beraber bakır cevherlerinde sık rastlanan minerallerdendir. Piritin içerisinde inklüzyonlar halinde veya kafes sistemine yerleşmiş olarak Ni, Co, Cu, Pt, Au, Ar veya bunların sülfürlerine rastlanır. Pirotin alkali ortamda önce yavaş, uzun sürede ise pirit gibi hızlı oksitlenir. Zira oksidasyonun ilerlemesiyle pirotin piritte dönüşür ve oksidasyon davranışı piritte eşdeğer ilerler. Pirotinli bakır cevheri flotasyonunda, pirotin ve

pirit pulpun serbest oksijenini tükettiği için sülfürlü bakır mineralleri ortamda serbest oksijen miktarı artana kadar yüzmezler. Bu nedenle bu tip cevherlerin flotasyonunda kondisyonlere hava basılır. Bu hava bakır minerallerinin canlanmasını hızlandırdığı gibi, pirit ve pirotin bastırmada yardımcı olur (10).

Markazit'in kimyasal bileşimi piritle aynı olmasına rağmen kristal yapısı farklıdır. Piritten farklı olarak, markazit yalnızca hidrotermal yatakların düşük sıcaklık zonlarında oluşur. Markazitler emprüte olarak antimuan, talyum ve arsenik içerirler. Markazitin hem bastırılması hem de yüzdürülmesi piritten daha kolaydır (8).

Bakır minerali yüzdürmede etilksantat yeterli etkinlikte bir toplayıcıdır. Bakır minerallerinin yüzeyi oksit tabakası ile kısmen veya tamamen kaplı ise etilksantat ile amil veya butil ksantatlar karıştırılmış olarak kullanılır. Ditiyofosfatlar da, piritte karşı aktif olmayan bakır sülfürleri etkin yüzdüren toplayıcılarıdır (7).

Mineral yüzeyine toplayıcı adsorpsiyonunu etkileme (kondisyonlama) süresini, adsorpsiyon ortamının (pulpın) pH'ı, bu ortamın sıcaklığı, ortamdaki toplayıcı konsantrasyonu, toplayıcı cinsi, mineral yüzeyinin fiziko-kimyasal özellikleri etkiler. Bir grup minerali bir arada bulunduran cevherdeki minerallerin selektif flotasyonunda, yüzdürülecek mineralin toplayıcıyı optimal oranda adsorbe etmesi istenir. Yüzmesi istenmeyen mineral, toplayıcıyı hiç adsorbe etmemeli veya ancak kendisini yüzdürmeyecek oranda adsorbe etmelidir. Bir cevherdeki minerallerden birinin flotasyonla selektif yüzdürülebilirliğinin, yukarıdaki çeşitli faktörlerin etkisinde, toplayıcıların o mineral yüzeylerinde adsorplanıp adsorplanmadığının, toplayıcının ilgili mineral tarafından ne kadarının adsorplandığının saptanması en iyi şekilde radiometrik ölçümlerle yapılır. Bir mineralin diğerlerinden selektif flotasyonu için gerekli toplayıcı adsorpsiyonunun büyüklüğü, uygun şartlarda herşeyden önce kondisyonlama süresine ve ortamdaki toplayıcı konsantrasyonuna bağlıdır. Toplayıcı konsantrasyonunun artırılması, optimal adsorpsiyon için gerekli optimal süreyi kısaltır. Ayrıca tane iriliğinin küçülmesiyle, tanenin köşe ve kenarlarında adsorplanan toplayıcının, tanenin tümünün adsorpladığı toplayıcıya oranı hızla artar. İri taneli herhangi bir minerali zayıf etkileyen bir toplayıcı, bu mineral çok ince öğütüldüğünde, köşe ve kenarlarında yoğun olarak adsorplanır. Böylece iri tanelerde belli bir toplayıcıya karşı selektif adsorplama özelliği olan minerallerin selektiviteleri taneleri inceldikçe oldukça azalır. Yani çok ince öğütülmüş cevherlerde minerallerin selektif flote edilebilirlikleri kötüleşir (11).

Bakır mineralleri cevher tipine göre pH 8-11'de 20-60 g/t ksantatlar, 20-60 g/t çamyacı ile veya pH 7-8'de, 20-40g/t çamyacı, 20-80g/t kreselikasit, 20-80g/t ditiyofosfat toplayıcı ile yüzdürülürler. Ditiyofosfatlar kullanıldığında bastırılmayıp konsantreye karışan piritler çok azalır. Ditiyofosfatlar uzun kondisyon süresinde etkili olduğundan değirmenlerde

pulpa karıştırılırken, ksantatlar flotasyon selüllerinden bir önceki kondisyonere beslenirler. Köpürtücü olarak, çamyacı, kresilik asit veya her ikisi birlikte kullanılır (7).

Cevher oluşumuna bağlı olarak istenmediği halde, aşırı gang şlamı oluşuyorsa veya bakır mineralleri aşırı öğünüyorsa, flotasyon besleme malı sınıflandırılarak iri mal ve ince mal ayrı ayrı flote edilip iki ayrı bakır konsantresi üretilir. İri konsantre yüksek, ince konsantre düşük bakır tenörlüdür (7).

Sülfürlü bakır cevherlerinden bakır mineralleri başarılı bir şekilde, % 90-95 bakır kazanma verimleri ile flote edilerek %15-25 Cu tenörlü konsantreler üretilir. Buna karşılık flotasyonu güçleştiren bazı etkenlere rastlanabilir. Bu etkenler:

- Cevherde piritin çok fazla miktarda bakır minerallerinin ise az miktarda bulunması: Genellikle % 0.1 - 1 civarında bakır içeren yataklar işletilebilir bakır cevheri olarak kabul edilir. Bu denli az bakırlı pirit yataklarında, piritin bastırılarak temiz bakır konsantresinin elde edilmesi güçleşir. Kademeli temizlemelerle böyle cevherlerden temiz bakır konsantresi almak mümkündür.

- Cevher yatağının oksidasyonu: Oksidasyon derecesine bağlı olarak, bakır minerallerinin konsantre edilmesi güçleşebilir. Bakır verimi düşebilir ve oksidasyon sonucu ortamda artan bakır iyonları piriti canlandırarak temiz bakır konsantresi alınmasını güçleştirebilir. Bu durumda, pulptaki bakır iyonlarını bağlamak üzere siyanür kullanılması ve miktarının artırılması gerekebilir.

- Pirit ve bakır mineralleri arasında uygun serbestleşme olmaması: Pirit içerisinde ince zerreler halinde kalkopirit bulunması veya pirit yüzeylerinin ince bir kalkozin tabakası ile kaplı olması, flotasyonda hem konsantre tenörünün düşük olmasına hemde metal veriminin azalmasına neden olur.

- Kıymetli metallerin kazanılması: Cevherdeki altın ve gümüşün zenginleştirme sonucu bakır konsantresinde toplanması istenir. Ancak altın ve gümüş bakır minerallerinden çok, pirit içinde bulunuyorsa altın ve gümüşün büyük bir kısmını artıktaki bırakarak, yüksek tenörlü bir bakır konsantresi elde etmek yerine daha düşük tenörlü bakır konsantresi ile altın ve gümüş verimini artırmak düşünülebilir (12).

Cevherdeki bakır minerallerinin kısmen oksidasyonu ile, sülfürlü minerallerle beraber malakit, azurit, küprit ve metalik bakır gibi mineraller birarada bulunabilir. Bazen oksidasyonun ileri derecede olması sonucu bütün sülfürler oksitli bakır minerallerine dönüşmüş olabilir. Ksantat tipi kollektörler tek başına oksitli mineralleri yüksek verimle toplayamazlar. Bu tip cevherlere üç farklı flotasyon yöntemi uygulanabilir.

a- Bir alkali siyanür kullanılarak, oksit mineralleri yüzeyinde bakır sülfür tabakası oluşturulur. Daha sonra ksantat tipi kollektörlerle, sülfürlerle beraber oksitler yüzdürülür. Bu yöntemin uygulanması sırasında özellikle alkali sülfür miktarının çok dikkatle ayarlanması, bir defada yüksek konsantrasyonda verilmek yerine kademeli olarak az

miktarlarda verilmesi gerekmektedir. Çünkü alkali sülfürler, bakır mineralleri için etkili bir bastırıcı reaktiftir. Bu yöntem uygulandığı zaman kullanılan ksantat miktarını artırmakta da yarar vardır.

b- Yağ asitleri ile bakır mineralleri yüzdürülür. Bu durumda en önemli faktör gangın minerolojik yapısıdır. Gang da yağ asitleri ile kolayca yüzebilecek yapıda ise, selektif ayırma yapılamaz. Kalsit, manyezit gibi karbonatlı mineraller yağ asitleri ile kolay yüzerler. Kalsiyum ve magnezyum içeren silikatlar içinde aynı durum geçerlidir. Saf kuvars yağ asitleri ile yüzmez ancak silisin yüzeyi yeter miktarda metal iyonu ile kaplanmışsa yağ asitleri ile yüzer. Bu nedenle pulp içinde bu iyonları çöktürecek önlemler almak gerekir. Karbonat, silikat, metafosfat gibi bastırıcılar kullanılarak bu iyonlar bastırılır.

c- Liç -çöktürme- flotasyon yöntemi ile zenginleştirme: Oksit bakır mineralleri seyreltik asit çözeltilerinde kolayca çözünürler. Pulp asitle karıştırılarak, oksit minerallerin çözeltiye geçmesi sağlanır. Sonra pulpa demir talaşı ilave edilerek, çözeltiye geçen bakır metalik bakır halinde çöktürülür. Üçüncü kademedeki ksantat tipi kollektörlerle pulptaki bakır mineralleri yüzdürülür. Bu aşamada sülfürlerle birlikte metalik bakırda yüzer. Artık bir manyetik ayırıcıdan geçirilerek, demir talaşının fazlası tekrar kullanılmak üzere geri kazanılır(13).

Bakır cevherleri çok çeşitli şekilde oluştukları için ve bakır mineralleri yanında çok değişik metal sülfür mineralleri de bulunduğundan, bakır cevheri tiplerine göre, flotasyon uygulamalarında farklı şekillerde yapılır (7).

2.1. Pirit - Pirotinli Bakır Cevherleri Flotasyonu

Piritli-bakır mineralleri flotasyonunda amaç, pirit ve pirotini ayrı bir konsantre olarak bakır minerallerinden ayırmak ve Cu konsantresi yanında bir pirit konsantresi elde ederek gang minerallerini her iki konsantreden uzaklaştırmaktır. Bu tip cevherlerin flotasyonunda gang cam suyu (Na_2SiO_3) ile bastırılır. Pirit ve pirotini bastırmak için ise pulpun pH'nın 10 civarında olması gerekir. Bu yüksek pH'lı ortamda sülfürlü bakır mineralleri ksantat tipi toplayıcılar (25-100 gr/t) ilavesi ile hidrofob hale getirilip, bir köpürtücü ilavesi yardımıyla Cu konsantresi olarak kazanılır. Piriti gangla birlikte daha iyi bastırmak için az miktarda (10-30gr/t) NaCN; KCN, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ kullanılabilir. Fakat fazla alkali siyanür kullanılması halinde siyanür bakır minerallerini de bastırabilir. Bu nedenle ilgili cevher için kullanılacak siyanür konsantrasyonunu iyi ayarlamak gerekir. Bastırılan gang, pirotin ve piritten, ortamın pH'ı 4-5 arasına H_2SO_4 ile ayarlanarak kuvvetli bir kollektör (K-amilksantat: 100-500g/t) ve az miktarda canlandırıcı (CuSO_4 : 20-50 g/t) ilavesi ile pirit, pirotin konsantresi kazanılır. Bu selektif bakır flotasyonu, cevherden ve yöntemden ileri gelen aşağıda belirtilen bazı güçlükler içerir:

a- Cu yüzdürme kademesinde yüksek pH derecelerinde çalışılması gerekliliği, pirit-pirotin yüzdürme kademesinde fazla sülfirik asit sarfiyatına neden olur.

b- Bazı cevherlerde bakır tenörünün düşük ve pirit oranının yüksek olması, yüksek tenörlü bakır konsantresi üretimini güçleştirir.

c- Pirit ve bakır minerallerinin kendi aralarında çok ince taneli kenetlenmiş olmaları tüm minerallerin serbestleşmeleri için aşırı öğütmeyi gerektirebilir. Bu durum da öğütme masraflarını artırır ve ayrıca flotasyonu güçleştirir.

d- Cevherde fazla bakır oksit mineralleri varsa veya sülfür mineralleri yüksek derecede oksitlenmişse, flotasyon ortamında Cu iyonları artarak piritin bastırılmasını güçleştirir. Piriti bastırmak için fazlaca alkali siyanür veya Na_2S kullanılması gerekir. Bu her iki bastırıcının fazla kullanılması da Cu mineralinin yüzdürülebilirliğini olumsuz etkileyerek bakır kayıplarını artırır. Bakıroksitler sülfürlerle beraber konsantreye alınamazlar.

e- Cevherde bakırdan başka değerlendirilmesi düşünülen Ag,Au gibi elementler varsa ve bunlar Cu minerallerine değilde pirit veya pirotine bağlı bulunuyorlarsa, bu kıymetli minerallerin Cu konsantresinden kazanımı güçleşir. Zira yalnızca bu işletmede üretilen pirit konsantresinin değerlendirilmesi için özel bir yöntem planlamak ve tesis kurmak gerekir. Bu nedenle yüksek tenörlü Cu konsantresi yerine, piritli ve yüksek tenörde Au-Ag içeren fakir bakır konsantresi üretmek tercih edilir (7).

Piritli Cu cevherlerinin belirtilen sorunlarını çözebilecek üç farklı flotasyon düşünülmüştür. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

a- Selektif bakır-pirit flotasyonu

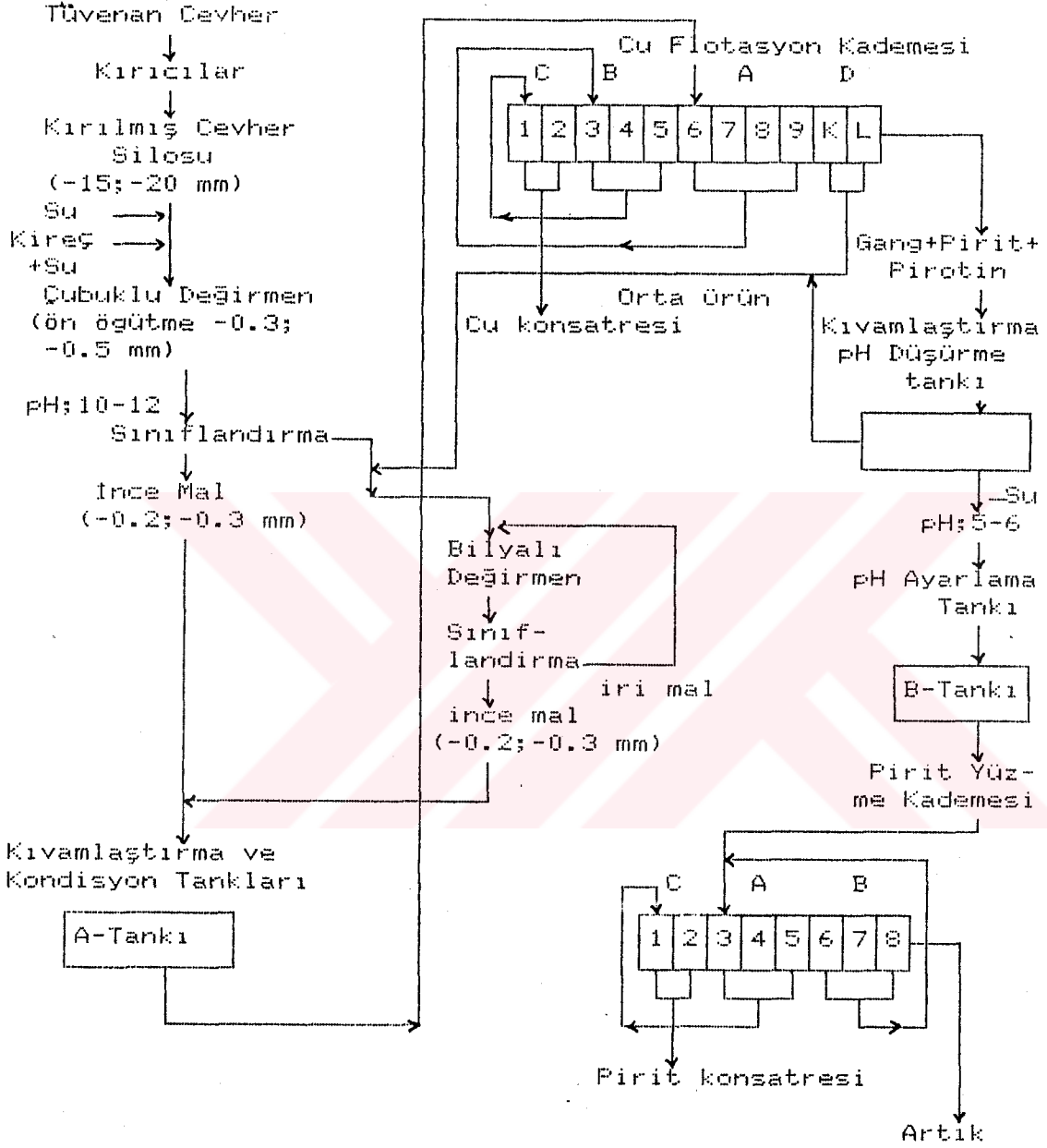
Bu yöntem kolay serbestleşebilen, oksidasyon oranı çok az olan cevherlere uygulanır. Yöntemin akım şeması ve kullanılan reagensler şekil'de verilmiştir. İlgili cevher için uygun reagenslerin cinsi konsantrasyonu ön araştırmalarla kesin olarak saptanmalıdır.

b- Kollektif-selektif bakır-pirit flotasyonu

Bu yöntem yukarıda a-b-c-d şıklarında açıklanan, flotasyonu güçleştiren nedenleri içeren cevherlere uygulanır. Şekil 2'de bu yöntemin akım şeması verilmektedir. Ülkemizin ergani piritli Cu flotasyon tesisi de bu yöntemle benzer akım şemasına sahiptir. Fakat kollektif flotasyon kademesinde pH kireçle 7.5-8 olarak ayarlanmakta ve piritin büyük bir kısmı bu kademedeki artılla beraber bastırılmaktadır.

c- Bakırlı-pirit cevherlerinin liç- sedimantasyon flotasyonu (LPF) yöntemi ile zenginleştirilmesi:

Cevherde oksitli bakır mineralleri varsa veya Cu sülfürlerin oksidasyonu fazla ise bakır flotasyonunda bakır konsantresine alınan bakır verimi fazlaca azalır. Bu durumda flotasyon işlemi liç-çöktürme(sedimantasyon) yöntemi ile kombine edilir (7).



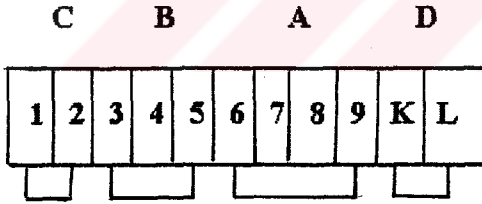
Şekil 1a. Selektif Cu - Pirit flotasyonu genel akım şeması (7).

A - Tankı

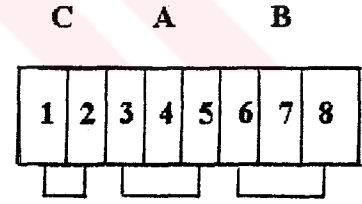
| | |
|---|--------------------|
| % Katı | : % 20 - 38 |
| Na ₂ SiO ₃ | : 100-1500 gr/t |
| NaCN, KCN veya | |
| K ₂ Cr ₂ O ₇ | : 100 - 500 g / t |
| K-Etil ksantat veya K-Amil | |
| Ksantat | : 20 -200 gr / ton |
| Çamyacı | : 1-5 gr / ton |

B - Tankı

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Na ₂ SiO ₃ | : 50 - 250 gr / ton |
| CuSO ₄ | : 20 -200 gr / ton |
| H ₂ SO ₄ | : pH 5 - 6 |
| K -Amilksantat | : 50 - 500 gr /ton |
| Çamyacı | : 20 -60 gr /ton |

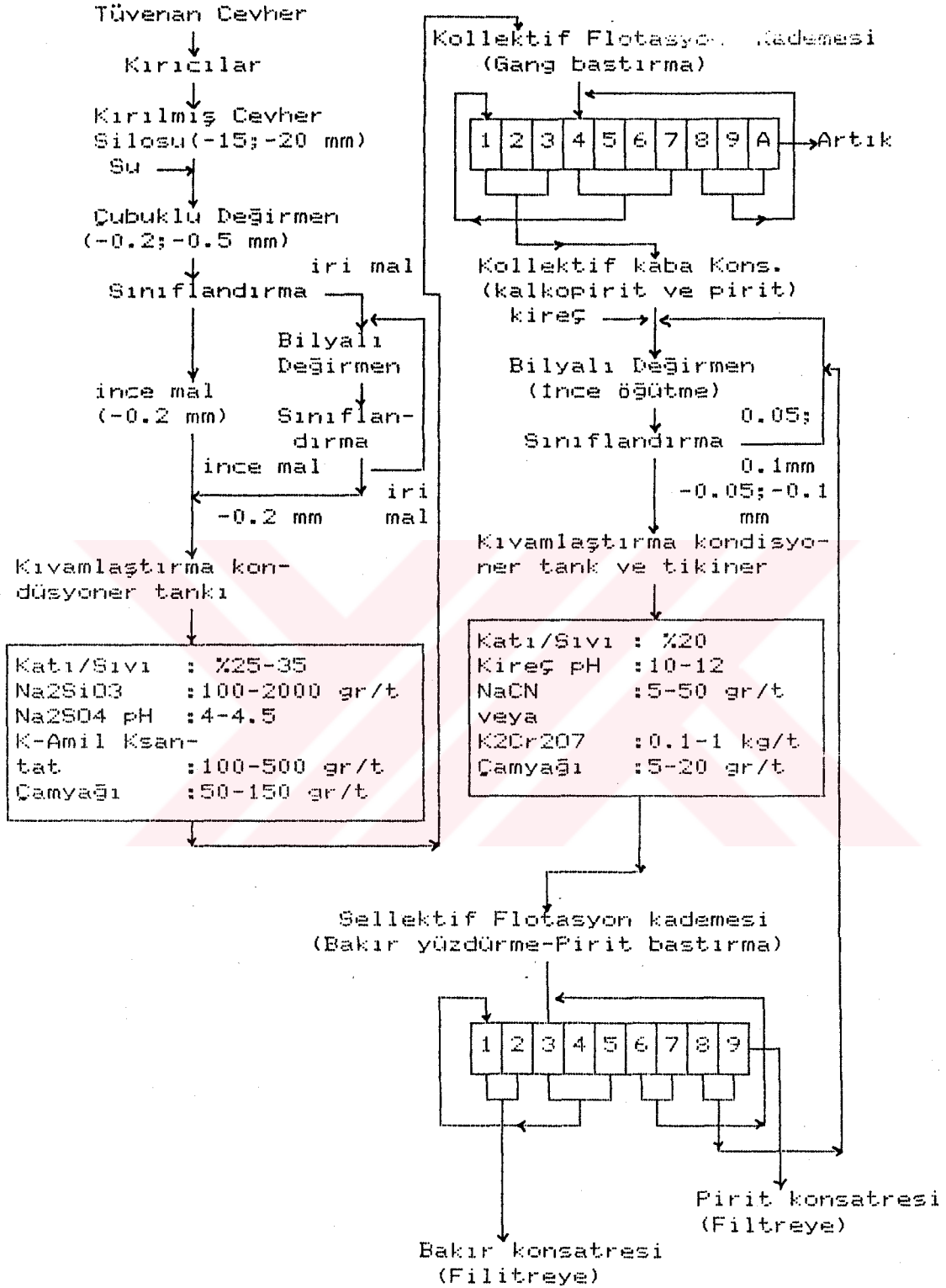
Cu Flotasyon Selülleri

- A : Ön yüzdürme selülleri
 B : Temizleme selülleri
 C : Cu son temizleme selülleri
 D : Fakir taneleri toplama selülleri

Pirit Flotasyon Selülleri

- A : ön yüzdürme selülleri
 B : Artık temizleme selülleri
 C : Konsantre temizleme selülleri

Şekil 1b. Selektif Cu-Pirit flotasyonunda kullanılan reagensler ve flotasyon selülleri



Şekil 2. Kollektif - Selektif Cu - Pirit flotasyon genel akım şeması (7).

3. K.B.İ MURGUL - ÇAKMAKKAYA BAKIR ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ

1898 yılından bu yana zengin kısımlarının işletildiği bilinen Murgul bakır yatağı, 1938 yılında Etibanka devredilmiş ve %2.13 Cu tenörlü cevherler Etibank'ın Göktaş tesislerinde flotasyon ve izabe yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Zamanla Murgul bakır yatağındaki Damar ve Çakmakkaya bölgelerinin gerçek rezervi ortaya çıkarıldıktan sonra (ortalama %1.31 Cu tenörlü, 32 700 000 ton cevher) Çakmakkaya ya 9000 -11000 t/gün kapasiteli flotasyon tesisi kurulmuştur. 1968 yılında ise Etibank Murgul tesisleri K.B.İ'ne devredilmiştir. (7). Cevherde ortalama % 3.8 kalkopirit, % 9.8 pirit bulunur. Cevher ortalama % 1.3 Cu, % 6.7 S, % 80-85 SiO₂ tenörlüdür. Pirit ve kalkopiritin gang minerallerinden serbestleşme tane iriliği 0.200 mm, piritin kalkopiritten serbestleşme tane iriliği 0.043 mm civarındadır. Bu tesiste üretilen % 20 Cu tenörlü 630 t/gün bakır konsantresi ve % 49 S tenörlü 695 t/gün pirit konsantresi Çakmakkaya dan Hopaya boru hattı ile oradan da Samsun daki değerlendirme tesislerine gemi ile nakledilmektedir (14).

3.1.Coğrafi Konum

Murgul bakır işletmesi Artvin ili murgul ilçesi hudutları içerisinde olup, maden işletme ve cevher hazırlama tesisleri damar belediyesi hudutları içerisinde, bakır izabe ve sülfirik asit tesisleri murgul ilçesi hudutları dahilinde, konsantrelerin depolama, filtrasyon, stok ve gemi yükleme tesisleri ise Hopa ilçesi limanının yanında bulunmaktadır (15).

3.2. Murgul - Artvin Maden Yatakları

Murgul ile Artvin arasında yer alan NE-SW eksenli büyük domun kuzeydoğu ve kuzeybatı kenarında masif tip yataklar (Akarşen, Kuvarshan, Sinkot vs) vardır. Domun batı kanadı üzerinde ise stokvork tip yataklar (Çarkbaşı, Çakmakkaya Anayatak Kızılkaya) bulunmaktadır. Halen cevherin çıkarıldığı iki saha vardır (15).

3.2.1.Damar Sahası

Genellikle altta dasidik tuf, onun üzerinde kloritleşmiş-serisitleşmiş tortul tuf serisi ve en üstte mor renkli dasit yer alır. Yatak dik kesiti mantar şeklinde olan, uzun ekseni N60W doğrultulu bir elipsoid şeklindedir. Elipsoidin uzun ekseni 700 m, kısa ekseni 400 m'dir. Cevher kalınlığı merkezde daha fazladır ve kenara doğru gidildikçe azalmaktadır.

Pirit-Kalkopirit, kalkopirit damarları elipsoidin uzun ekseni boyunca fazlalaşmaktadır. Bakırca zengin kısımlar NE yönündeki küçük kıvrım yapılarıyla

ilişkilidir. Yataktaki Cu tenörü genellikle yukarıdan aşağıya doğru azalmaktadır. Kaolinleşme, piritleşme, silisleşme yaygındır. Damar sahasında en üst basamak kotu 1156, en alt basamak kotu 1072 dir. Basamak yüksekliği 12 m genişliği 15 m'dir. Genel şev eğimi 45-50° arasında , basamak şev eğimi ise 70° dir. 1993 tarihi itibariyle % 1.185 Cu tenörlü 15 238 302 ton rezervi vardır (15).

3.2.2. Çakmakkaya Sahası

Cevherleşmenin şekli ve sınırları tam olarak saptanmamıştır. Piritleşme, serisitleşme kloritleşme, hematitleşme, silisleşme yaygındır. En üst cevher basamak kotu 1200, en alt cevher basamak kotu 1092'dir.1200 kotu üzerinde dekapaj yapılmaktadır. Basamak yüksekliği cevher için 12 m, basamak genişliği ise 15 m'dir. Dekapajda basamak yüksekliği 15 m, basamak genişliği yine 15 m'dir. Cevherde genel şev eğimi 45-50°, basamak şev eğimi 70°dir. Dekapajda genel şev eğimi 30-45° arasında basamak şev eğimi 60°dir. 1993 tarihi itibariyle % 0.988 Cu tenörlü, 16 618 412 ton cevher rezervi vardır (15).

3.3. Kırma ve Öğütme Devresi

Çakmakkaya tesisinde kırma ve öğütme işlemleri otojen sistemle yapılmaktadır. Açık işletmede üretilen cevher, çeneli kırıcılarda kırıldıktan sonra (-25 cm) stok sahasında biriktirilmektedir. Cevher buradan besleyiciler ve otojen besleme bantları yardımı ile üç otojen değirmene beslenmektedir (şekil 3). Besleme bantları ile otojen değirmene beslenen -250 mm boyutlu malzemenin değirmenden çıkışı Pebble Extractor yardımı ile olmaktadır. Bu boşaltma sisteminde 80, 30 ve 12.7 mm açıklıklı elekler kullanılarak +80 mm boyutunun otojen değirmen içinde kalması, -12.7 mm boyutunun serbest boşalma şeklinde çakıllı değirmene beslenmesi, 30-80 mm boyutlu malzemenin ise öğütücü ortamı oluşturmak üzere çakıllı değirmene beslenmesi sağlanmaktadır. Çakıllı değirmen çıkışı öğütülmüş malzeme bir pompa yardımı ile spiral klasifikatöre beslenmektedir. Klasifikatör çökene otojen değirmene beslenirken, klasifikatör taşanı siklona beslenmektedir. Siklon alt akımı çakıllı değirmene, üst akımı ise bulk flotasyon devresine gönderilmektedir (16).

3.4. Bulk Flotasyon Devresi

Malzeme bulk flotasyon devresine %65'i 200 mesh olacak şekilde beslenmektedir. Bu boyutta kalkopirit ve pirit taneleri birleşik halde asıl gang mineralini teşkil eden kuvars ise serbest haldedir. Ortam pH'ı 7 civarındadır. Toplayıcı olarak anyonik kollektör olan KEX, köpürtücü olarak alkol bileşimi köpürtücüler kullanılmaktadır (17).

Herbiri 8.5 m³ hacimli seri haldeki 12 adet selülden meydana gelen üç üniteli selül gurubunda gerçekleştirilen bulk flotasyon neticesinde ilk altı selülden alınan malzeme, 8.5m³ hacimli üç adet selülden meydana gelen birinci temizleme devresine beslenmektedir. Birinci temizleme devresi sonrasında gerçekleştirilen ikinci temizleme devresinin köpüğü tiknere, birinci ve ikinci temizleme artıkları ile bulk flotasyon devresinin son 6 selülünden alınan malzeme ise bulk flotasyon devresinin başına beslenmektedir. Daha sonra ise % 8-11 Cu, %4-7 SiO₂ ve %42 FeS₂ içeren bulk konsantre tiknere verilmektedir (16).

3.5. Bakır Flotasyonu Devresi

Bulk konsantreden bakır ve piriti ayrı ürünler halinde elde edebilmek için bakır ve piritin birbirinden serbest hale gelmesi gerekir. Bu serbestleşme işlemi ancak öğütmeyle mümkündür. Öğütme işlemi için bilyalı değirmen kullanılmakta, %85'i -325 mesh olacak şekilde öğütme sınıflandırma işleminden sonra bakır ve pirit mineralleri birbirinden serbest hale gelmektedir. Daha sonra malzeme kireçle pulp arasında şartlandırmayı tam sağlamak amacıyla kondisyonerlere beslenmektedir. Kondisyoner tankından selektif flotasyon devresine beslenen malzemenin pH'ı yaklaşık 11'dir. Bu pH noktasında bakır dışındaki diğer maddeler pasif haldedir.

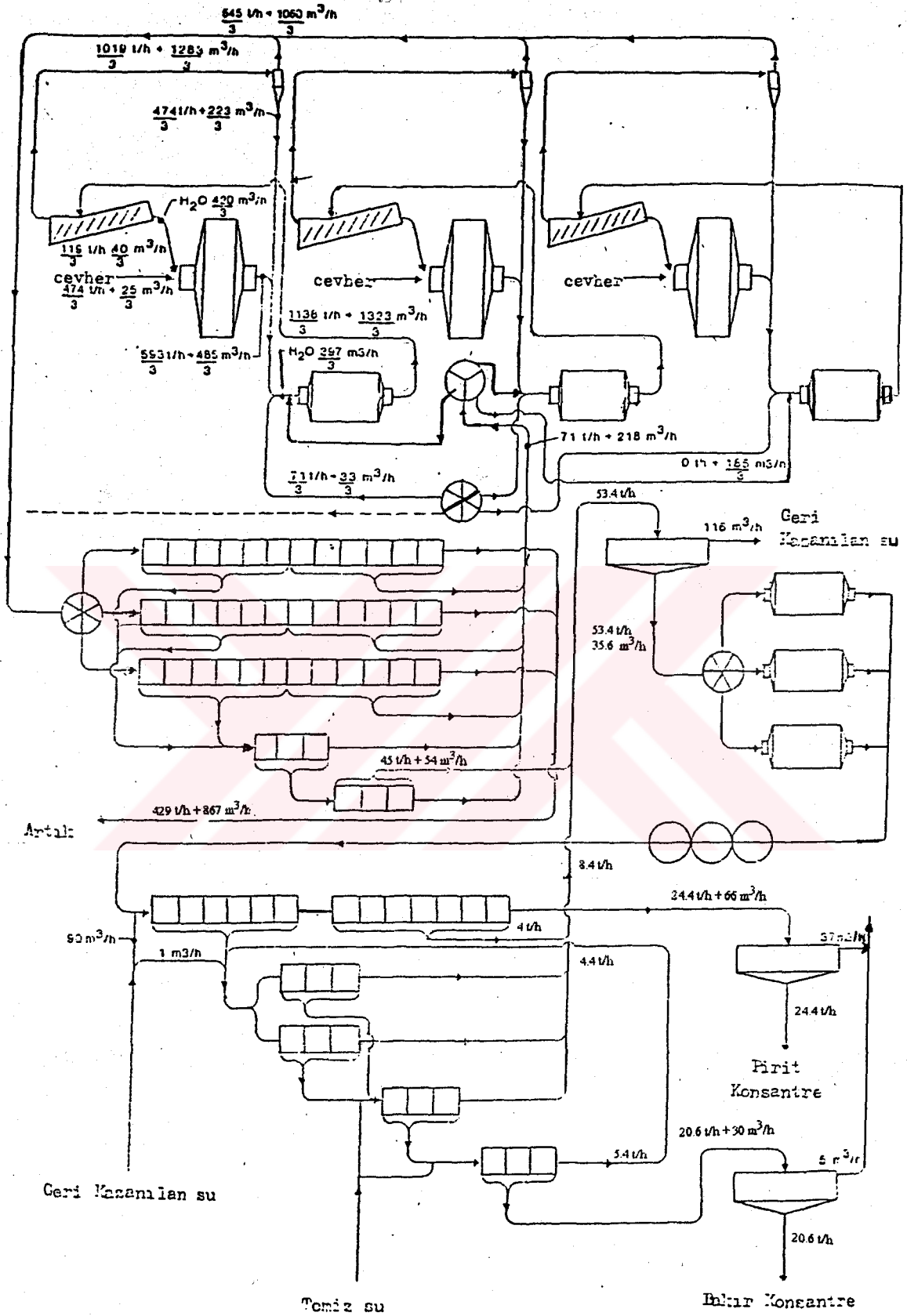
Selektif flotasyon devresinde 8.5 m³'lük 12 adet selül kullanılmaktadır. İlk altı selülden alınan malzeme bakır temizleme selülüne, bu devrenin köpüğü ise diğer temizleme devresine beslenmektedir. Elde edilen konsantre ortalama % 20 bakır içermektedir. Selektif flotasyon devresinin son altı selülünden alınan malzeme temizleme 1'in artışıyla birlikte bakır ara ürün tiknerine gitmektedir. Selektif flotasyon devresinin artışı ise pirit konsantresini oluşturmaktadır (16).

3.6. İzabe Tesisi

Konsantrenin reverber fırınında ergitilmesiyle elde edilen mat bakır potalar vasıtasıyla konvertere alınmakta ve konverter fırınında mata % 28 silis ilave edilerek %99.2 Cu içeren blister bakır elde edilmektedir (16).

3.7. Sülfirik Asit Tesisleri

Tiknerden filtre ünitesine %50 nemle gelen pirit konsantresinin nemi burada %8'e düşürülerek, 6t/h kapasiteli kavurma fırınında kavurulmakta ve SO₂ gazı açığa çıkarılmaktadır. Açığa çıkan SO₂ gazı ve izabe baca gazlarından %98'lik sülfirik asit üretilmektedir. Tesisin kapasitesi 98 000 ton/yıl'dır (16).



Şekil 3. K.B.İ. Murgul-Çakmakkaya bakır zenginleştirme tesisi akım şeması

4. KAPALI DEVRE FLOTASYON DENEY SONUÇLARININ ÖNCEDEDEN TAHMİNİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Laboratuvarında, birkaç defa süpürme ve temizleme içeren flotasyon deneyleri ile sağlanan parametre optimizasyonu sonucunda, cevherin flotasyonla zenginleştirilmesinde elde edilecek metalurjik performansı ortaya konulmuş olur. Ancak laboratuvarında yapılan flotasyon deneyleri kesikli deneyler olduğundan buradan elde edilen veriler doğrudan sürekli sistemde kullanılamazlar. Sürekli sisteme geçiş için sağlıklı verilerin elde edilmesi laboratuvarında kapalı devre olarak gerçekleştirilen flotasyon deneyleri ile mümkün olmaktadır (18). Bununla birlikte, kapalı devre laboratuvar deneylerinin yapılması bazı güçlükleride beraberinde getirmektedir. Kapalı devre laboratuvar flotasyon deneylerinin bu dezavantajlarının ortadan kaldırılabilmesi için literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Kapalı devre flotasyon deney sonuçlarının, klasik flotasyon deney sonuçlarını kullanarak önceden tahmininde kullanılan simülasyon ve iterasyon yöntemleride bunlardandır (19).

4.1. İterasyon Yöntemi

Bu yöntemde, kapalı devrenin denge durumuna ulaştırılması iteratif (tekrarlı hesap) olarak gerçekleştirilmektedir. Kapalı devre laboratuvar deneylerinde yapılan tekrarlı sirkülasyon işlemi bu yöntemde matematiksel olarak yapılmaktadır (3).

Bir flotasyon devresinde süpürme ve temizleme sayısı birden fazlada olabilmektedir. Bu nedenle Şekil 4'te verilen akım şemasında yer alan devre için sunulan çözüm anlatılacaktır.

Şekil 4'te verilen semboller yardımıyla aşağıda oluşturulan iterasyon denge denklemleri sayesinde çözüme ulaşılmaktadır. Çözüme ulaşılabilmesi için aşağıda verilen kabuller yapılmaktadır.

1- Başlangıçtaki laboratuvar verileri ile hesaplanan konsantrasyon oranı (F / C) ve randıman, devre dengeye ulaşınca kadar sabittir.

2- Zenginleştirme oranı (c / f) tüm hesaplamalar sırasında sabittir.

3- Her aşamadaki laboratuvar flotasyon deneyleri süresi birinci dereceden hız denklemleri ile tanımlanabilir.

$$C / C_0 = \exp(-kt) \quad (1)$$

k: flotasyon hız sabiti (dk^{-1})

t: flotasyon süresi (dk)

4- Sürekli sistemdeki flotasyon süresi, mükemmel karıştırmalı akış sisteminin birinci dereceden hız denklemleri ile tanımlanabilir.

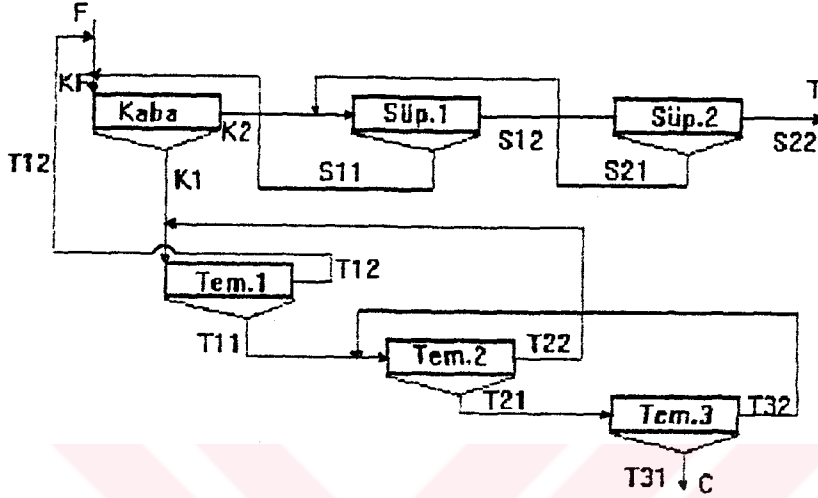
$$C / C_0 = [1 / (1+kT)]^n \quad (2)$$

C / C_0 : Selül içinde kalan değerli minerallerin kütle oranı

n : Selül sayısı

T : Sürekli sistem için flotasyon süresi

4.1.1. İterasyon Denklemlerinin Oluşturulması



Şekil 4 . Çözümlemeye temel oluşturan flotasyon devresi akım şeması

Şekil 4'ten yararlanılarak, her bir devre için oluşturulan kütle balansı iterasyon denklemleri aşağıda verilmiştir. denklemlerde yer alan ve Z ile başlayan semboller her devre elemanına ait konsantrasyon oranını temsil etmektedir.

$$K_F = S_{11} + T_{12} + F \quad (3)$$

$$K_1 = K_F (1 / Z_{K1}) \quad (4)$$

$$K_2 = K_F - K_1 \quad (5)$$

$$S_{1F} = K_2 + S_{21} \quad (6)$$

$$S_{11} = S_{1F} (1 / Z_{S1}) \quad (7)$$

$$S_{12} = S_{1F} - S_{11} \quad (8)$$

$$S_{2F} = S_{12} \quad (9)$$

$$S_{21} = S_{2F} (1 / Z_{S2}) \quad (10)$$

$$T_{1F} = K_1 + T_{22} \quad (11)$$

$$T_{11} = T_{1F} (1 / Z_{T1}) \quad (12)$$

$$T_{12} = T_{1F} [1 - (1 / Z_{T1})] \quad (13)$$

$$T_{2F} = T_{11} \quad (14)$$

$$T_{21} = T_{2F} (1 / Z_{T2}) \quad (15)$$

$$T_{22} = T_{2F} [1 - (1 / Z_{T2})] \quad (16)$$

$$T_{3F} = T_{21} \quad (17)$$

$$T_{31} = T_{3F} (1 / Z_{T3}) \quad (18)$$

$$T_{32} = T_{3F} [1 - (1 / Z_{T3})] \quad (19)$$

Yukarıda kütle dengesinin sağlanması için verilen denklemler, $T_{31} + S_{22} = F$ oluncaya kadar iteratif olarak hesaplanır. Kapalı devre oluşturulduğunda, her bir akış kolundaki miktarlar veya devre elemanlarına giren - çıkan kütle miktarları değiştiğinden,

tenör değerlerindeki benzer bir hesaplama ile belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için başlangıç verileri kullanılarak her ürün için birim değerleri hesaplanmaktadır.

Bu işlemden sonra, her devre akış kolu için; her bir konsantredeki değerli mineral kütle oranını ifade eden E değerleri aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

Örneğin; kaba devre için E_k değeri: $E_k = B_{FK} / B_{K11}$ ile hesaplanır. Burada B_{FK} kaba devre besleme birimini, B_{K11} ise kaba konsantre birimini ifade etmektedir. Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra (3) ile (19) nolu denklemler benzer şekilde yeniden düzenlenerek $B_{T31} + B_{S22} = Ff$ eşitliği sağlanıncaya kadar iteratif hesaplama devam edilir. Bu hesaplamalar devrenin su akış devresi için denklemler yeniden düzenlendikten sonra tekrarlanmalıdır (3).

4.1.2. Bilgisayar Programı

Yukarıda verilen iteratif hesaplama yönteminin elle ve hesap makinesi eşliğinde yapılması oldukça güç ve zaman alıcı bir yoldur. Ayrıca bu hesaplamalar yapılırken hata yapma şansı da oldukça yüksektir. İterasyon hesaplamalarında kolaylık sağlamak amacıyla geliştirilmiş bilgisayar programları mevcuttur. QBasic dilinde yazılarak doğrudan çalıştırılabilir bir program haline getirilen Flosim programı bu amaçla geliştirilmiş bir programdır.

Devrenin kolektif - selektif olması halinde önce kolektif aşama için çözüm yapılmalı ve buradan elde edilen veriler selektif aşama laboratuvar verileri ile birleştirilmelidir.

Program çalıştırıldığında, devrede yer alacak süpürme ve temizleme sayısı kullanıcıdan istenmektedir. Bu veri girişinden sonra; kaba, süpürme (veya diğer süpürmeler), ve temizleme (veya diğer temizlemeler) aşamalarındaki konsantre, artık ve besleme gibi ürünlerin tenör, % ağırlık ve % katı değerlerinin bilgisayara girilmesiyle bilgisayar (3) ve (19) nolu denklemlerden ilgili olanları iteratif olarak hesaplamaktadır.

Aşağıda bir bakır cevherinin flotasyonla zenginleştirilmesi için laboratuvarda yapılan kesikli deney sonuçları ile örnek bir çözümlenme verilmiştir.

Tablo 1'de sunulan veriler selektif bir zenginleştirme işlemi olduğundan, bilgisayarın kolektif mi selektif mi sorusu selektif olarak cevaplanmıştır. Bu durumda bilgisayar devreye beslenecek katı miktarını ve pulp akış hızlarının hesaplanması içinde katı yoğunluğunun girilmesini istemektedir. Bu veri girişinden sonra, flotasyon deney sonuçlarının bilgisayara girilmesi işlemine başlanır. Veri girişi yapılırken ekranda tablo 1 benzeri bir çizelge oluşturulmuş olmaktadır. Veri girişi tamamlandıktan sonra, sonuçlar ekranda aşağıda tablo 2' de verilen şekilde görüntülenir. Bu sonuçlar isteğe bağlı olarak kurulan devrenin çizimi ile birlikte yazıcıdan alınabilir.

Tablo 1. Örneklemede kullanılan flotasyon laboratuvar deney verileri

| Ürünler | Kaba | | | Süptürme | | | Temizleme | | |
|--------------|-------|-------|--------|----------|-------|--------|-----------|-------|--------|
| | %Ağ | %Cu | %Katı | %Ağ | %Cu | %Katı | %Ağ | %Cu | %Katı |
| Konsantre | 16.43 | 4.534 | 11.0 | 4.57 | 0.60 | 16.925 | 57.40 | 7.418 | 9.73 |
| Artık | 83.57 | 0.066 | 23.834 | 95.43 | 0.04 | 24.31 | 42.60 | 0.65 | 13.348 |
| Besleme | 100 | 0.78 | 20.0 | 100 | 0.066 | 23.834 | 100 | 4.534 | 11.0 |
| Flot. süresi | 3 dk | | | 4 dk | | | 4 dk | | |

Tablo 2. Program çalıştırıldıktan sonra alınan bilgisayar çıktısı

| Akış Kolu | AĞIRLIK | | Tenör % | Pulp Katı Sıvı Oranı | Su Debisi m ³ /h | Pulp Debisi m ³ /h | Pulp Yoğ gr/cm ³ |
|-----------|----------|--------|---------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | ton/saat | % | | | | | |
| A1 | 89.70 | 112.13 | 0.78 | 19.05 | 381.16 | 411.06 | 1.150 |
| A2 | 74.97 | 93.71 | 0.06 | 22.76 | 254.49 | 279.48 | 1.180 |
| A3 | 14.74 | 18.42 | 4.42 | 10.42 | 126.67 | 131.59 | 1.070 |
| A6 | 3.42 | 4.28 | 0.59 | 16.08 | 17.86 | 19.00 | 1.120 |
| A7 | 71.54 | 89.43 | 0.04 | 23.22 | 236.62 | 260.47 | 1.180 |
| A4 | 8.45 | 10.57 | 7.23 | 9.23 | 83.38 | 86.20 | 1.070 |
| A5 | 6.28 | 7.85 | 0.63 | 12.67 | 43.30 | 45.39 | 1.090 |

Bilgisayardan bu çizelgeye ilave olarak aşağıdaki verilerde çıktı olarak alınmaktadır.

Kaba flotasyon için gerekli selüllerin hacmi: 103.9 m³

Süptürme için gerekli selüllerin hacmi: 24.663 m³

Temizleme için gerekli selüllerin hacmi: 48.345 m³

Kaba flotasyon süresi: 15.166 dk

Süptürme flotasyon süresi: 5.295 dk

Temizleme flotasyon süresi: 22.043 dk

Toplam devre verimi: % 95.526

Toplam konsantre miktarı: % 10.57

Toplam konsantre tenörü: % 7.23

4.2. Simulasyon Yöntemi

Bir cevher hazırlama sürecinin simulasyonunda takip edilmesi gereken yöntemin aşamalarını aşağıdaki gibi genelleştirmek mümkündür.

1. Simulasyon amacının belirlenmesi
2. Simulasyonun amacı doğrultusunda matematiksel modellerin geliştirilmesi
3. Modelin denenmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılması

Simulasyonun amacının açık bir şekilde belirlenmesi temel işlemlerin modellerinin amaca uygun olarak geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Örneğin, süreç kontrolü stratejilerinin karşılaştırılması amacı ile devre yazılacak bir model, tasarım amaçlı ve sürecin kararlı devre davranışını yansıtacak modelden farklı olacaktır. Alternatif akım şemalarının karşılaştırılması durumunda da, eğer ekipman boyutlarının değiştirilmesi söz konusu değilse, simulasyon için geliştirilecek modellerde ekipman boyutlarının etkisini yansıtacak parametrelerin bulunması gerekmektedir. Bu da modellerin daha basite indirgenmesini sağlayacaktır.

Bir temel işlemin matematiksel modeli, gerçekçi bir model simulasyonunun en önemli unsurudur. Modeller, tesis işletim verilerinden elde edilen regrasyon modelleri olabileceği gibi, süreçteki fiziksel olayları gözönünde bulunduran teorik veya yarı teorik modellerde olabilirler. Cevher hazırlama temel işlemleri için geliştirilen modellerin çoğunda tesis veya laboratuvar çapında yapılacak deneylerle değerleri tesbit edilmesi gereken parametreler vardır.

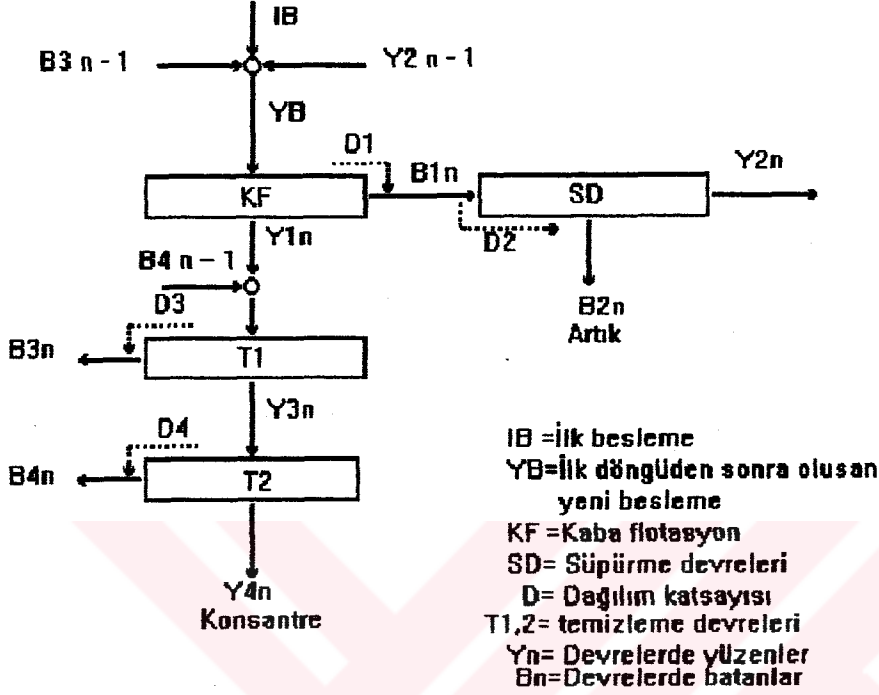
Genel veya özel bir amaç için geliştirilen modeller, benzetişimi yapılan akım şeması için tipik sayılabilecek koşulları ile denenmeli ve simulasyon sonuçlarının gerçekçi olup olmadığı mutlaka değerlendirilmelidir (20).

4.2.1. Flotasyon Kapalı Devrelerinin Simulasyonu

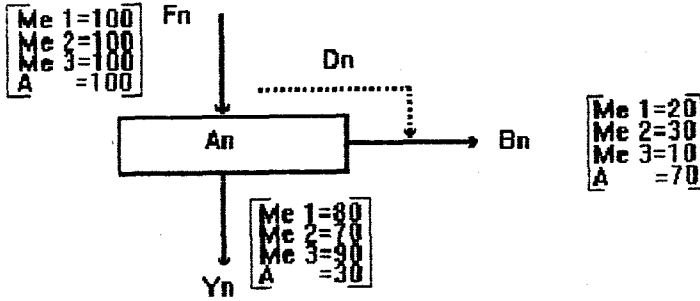
Flotasyon devrelerinin simulasyonunda genel amaç, konsantre, tenör ve randımanın bataryasındaki selül sayısına bağlı olarak belirlenmesidir. Her selülden elde edilen konsantrenin miktarı, cevher taneciklerinin flotasyon hız sabitlerine ve taneciklerin selülde geçirdikleri zamana bağlıdır. Bu nedenle endüstriyel flotasyon sürecinin simulasyonunda çözülmesi gereken ilk problem pulpun seri haldeki selüllerin her birinde geçirdiği flotasyon zamanının belirlenmesidir. Belli bir besleme hızı için selüldeki flotasyon zamanının hesaplanması, artık ve konsantre akış hızlarının bilinmesini gerektirmektedir (21).

Kapalı devre flotasyon deneyleri (Şekil 5), n'inci sirkülasyonda elde edilen ara ürünlerin ($B_1(n)$, $B_2(n)$, ...) ve varsa süpürme devresi konsantresinin ilk besleme (IB) ile bir

sonraki sirkülasyonda ($n + 1$) gerekli yerlere yeniden yüzdürmek için birleştirilmesiyle oluşan ve aslında klasik flotasyon deneylerinin tekrarı olan uzun flotasyon deneyleridir(22).



Şekil 5. n'inci döngüde tipik bir kapalı devre flotasyon şeması



Şekil 6. Flotasyon devrelerinde dağılım katsayılarının hesaplanması

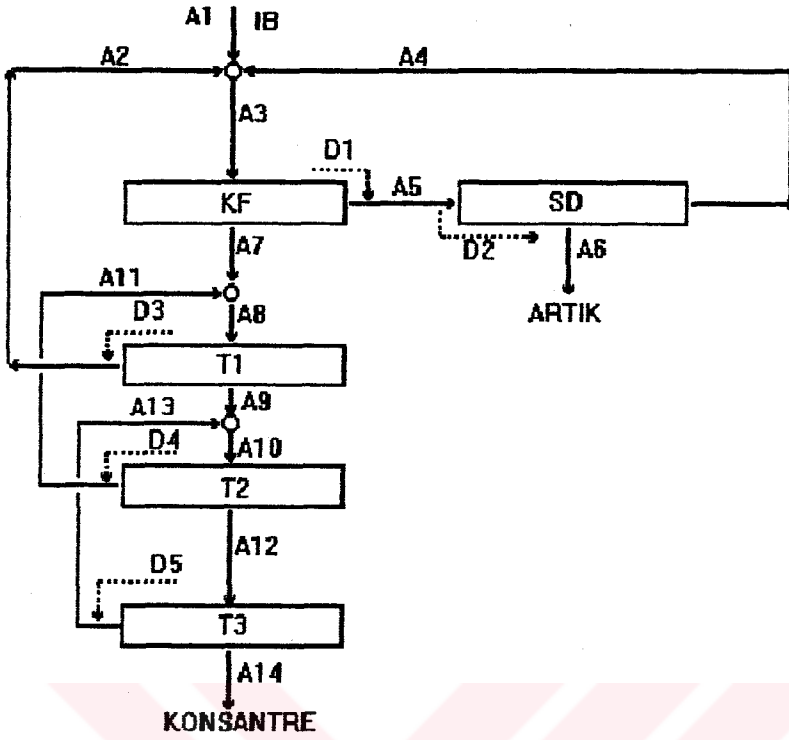
Bu çalışmada sunulan simulasyon yönteminde, flotasyon devrelerindeki madde taneciklerinin dağılımının devrenin içinde bulunduğu kimyasal koşullara ve flotasyon zamanına bağlı olduğu ve bu koşullar sabit kaldığı sürece değişmeyeceği kabul edilmiştir. Bu yüzden her ayırma işlemine (kaba flotasyon, temizleme ve süpürme devreleri) klasik flotasyon deneylerinden elde edilen dağılım katsayıları (D) verilmiştir. Bu dağılım katsayıları (Şekil 6), bir devrede batan kısmın ağırlıkça ve metal içeriği olarak o devreye beslenen cevherin aynı özelliklerine oranlanmasıyla elde edilmektedir.

Dağılım katsayılarının devrelerdeki kimyasal koşullar ve flotasyon zamanı değişmediği sürece sabit kalacağı kabul edildiğinden, devrelerin denge durumundaki yüklerini (ağırlık ve metal miktarı) hesaplamada kullanılan matematiksel eşitlikler türetilmektedir. Bu eşitliklerin nasıl çıkartıldıkları anlaşıldıktan sonra herhangi bir akım şeması için devrelerdeki yük dağılımlarını veren eşitliklerin yazılabilmesi kolay olmaktadır (23).

Kapalı devre flotasyon deneyi sonuçlarının simulasyonunda, ilk döngüde beslenen numune ağırlıkça ve metal miktarı olarak yukarıda bahsedilen ağırlık ve metal dağılım katsayılarına uygun olarak alt devrelere dağıtılırlar. Bundan sonraki döngülerde ise bazı ürünlerin yeniden beslenmesiyle oluşan yeni besleme, yine aynı dağılım katsayılarıyla alt devrelere dağıtılırlar. Belirli sayıda döngü sonunda devrelerin taşıdıkları ağırlık ve metal miktarı değişmez. Bu durum denge durumu olarak adlandırılır (24).

Bu çalışmada sunulan simulasyon yönteminin kapsadığı matematiksel model, kapalı devre flotasyon deneyinde, akım şemasının içerdiği ayırıcıların sayılarına göre değişebilen sayıda devrelerin, denge durumunda taşıyacakları ağırlık ve metal miktarını veren eşitliklerden oluşmaktadır. Bu eşitliklerin analitik çözümleri örnek bir uygulama üzerinde aşağıda sunulmuştur (23).

Bazı kapalı devre flotasyon deneyleri, cevherin zenginleştirilebilme özelliklerine bağlı olarak daha fazla sayıda temizleme devresi içerebilmektedir. Böylece, daha zengin konsantre üretilebilmektedir. Ayrıca, artığa kaçan bir miktar minerali de yeniden kazanmak için süpürme devreleri bu tür akım şemalarına eklenmektedir. Bu şekilde oluşan akım şemalarına örnek Şekil 7'de sunulmuştur. Bu akım şemasının, denge durumunda, devrelerinin taşıyacakları yükleri veren eşitlikler aşağıda çıkartılmıştır (23).



Şekil 7. 5 ayırıcılı kapalı devre flotasyon deneyi akım şeması

Birinci döngü:

$$A_3 = A_1 \quad (20) \quad A_9 = A_3 (1 - D_1) (1 - D_3) \quad (27)$$

$$A_2 = A_3 D_3 (1 - D_1) \quad (21) \quad A_{10} = A_9 \quad (28)$$

$$A_4 = A_3 D_1 (1 - D_2) \quad (22) \quad A_{11} = A_3 D_4 (1 - D_1) (1 - D_3) \quad (29)$$

$$A_5 = A_3 D_1 \quad (23) \quad A_{12} = A_3 (1 - D_1) (1 - D_3) (1 - D_4) \quad (30)$$

$$A_6 = A_3 D_1 D_2 \quad (24) \quad A_{13} = A_3 D_5 (1 - D_1) (1 - D_3) (1 - D_4) \quad (31)$$

$$A_7 = A_3 (1 - D_1) \quad (25) \quad A_{14} = A_3 (1 - D_1) (1 - D_3) (1 - D_4) (1 - D_5) \quad (32)$$

$$A_8 = A_7 \quad (26)$$

Denge durumunda A_3 , A_8 ve A_{10} devreleri:

$$A_3 = A_1 + A_2 + A_4 \quad (33)$$

$$A_8 = A_7 + A_{11} \quad (34)$$

$$A_{10} = A_9 + A_{13} \quad (35)$$

olarak yeniden oluşturular. Eşitlik (35)'te A_{13} nolu devre eşitliği A_{10} nolu devreye bağlı yazılıp, yerine konulursa :

$$A_{10} = A_9 + A_{10} D_5 (1 - D_4) \quad (36) \quad \text{yada} \quad A_{10} = A_9 / [1 - D_5 (1 - D_4)] \quad (37)$$

olarak yeniden düzenlenebilir. A_9 nolu devre;

$$A_9 = A_8 (1 - D_3) \quad (38)$$

olduğundan,(36) nolu denklemdaki A_{10} nolu devre eşitliği;

$$A_{10} = A_8 (1 - D_3) / [1 - D_5 (1 - D_4)] \quad (39)$$

olarak A_8 nolu devreye bağlı yazılır. Buna benzer olarak, (34) nolu eşitlikte A_8 nolu devre eşitliği A_3 nolu devreye bağlı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A_8 = A_3 (1 - D_1) + A_8 (1 - D_3) / [1 - D_5 (1 - D_4)] \quad (40)$$

Aynı şekilde A_4 ve A_2 nolu devreler;

$$A_4 = A_3 D_1 (1 - D_2) \quad (41)$$

$$A_2 = A_8 D_3 \quad (42)$$

olarak yazılıp, A_8 nolu devre eşitliği (42) nolu denklemden yerine konulursa A_2 nolu devre;

$$A_2 = A_3 D_3 (1 - D_1) / [1 - D_4 (1 - D_3)] / [1 - D_5 (1 - D_4)] \text{ olur.} \quad (43)$$

Buradan da (41) ve (43) nolu eşitlikler (33) nolu eşitlikte yerlerine konulursa A_3 :

$$A_3 = A_1 / [1 - D_3 (1 - D_1)] / [1 - D_4 (1 - D_3)] / [1 - D_5 (1 - D_4)] + D_1 (1 - D_2) \quad (44)$$

Yeni besleme eşitliği olarak çıkartılır. Bu yeni besleme artık, matematiksel modelde devrelerin denge durumundaki yüklerini veren eşitlikleri oluşturmada aşağıdaki gibi kullanılabilir.

$$A_2 = A_3 D_3 (1 - D_1) \quad (45)$$

$$A_4 = A_3 D_1 (1 - D_2) \quad (46)$$

$$A_5 = A_3 D_1 \quad (47)$$

$$A_6 = A_3 D_1 D_2 \quad (48)$$

$$A_7 = A_3 (1 - D_1) \quad (49)$$

$$A_8 = A_3 (1 - D_1) / [1 - D_4 (1 - D_3)] / [1 - D_5 (1 - D_4)] \quad (50)$$

$$A_9 = A_8 (1 - D_3) \quad (51)$$

$$A_{10} = A_8 (1 - D_3) / [1 - D_5 (1 - D_4)] \quad (52)$$

$$A_{11} = A_{10} D_4 \quad (53)$$

$$A_{12} = A_{10} (1 - D_4) \quad (54)$$

$$A_{13} = A_{10} D_5 (1 - D_4) \quad (55)$$

$$A_{14} = A_{10} (1 - D_4) (1 - D_5) \quad (56)$$

4.2.2. Simulasyon Yönteminin Uygulanması

Bu çalışmada sunulan simulasyon yönteminin uygulanabilmesi için aşağıda sunulan işlemlerin sırasıyla yapılması gerekmektedir.

1- Klasik flotasyon deneyinde kullanılacak numunenin kimyasal analizinin yapılması.

2- Öngörülen akım şemasına bağlı olarak optimum koşulda klasik flotasyon deneylerinin yapılması. Bu deneylerin birkaç kez tekrar edilmesi, elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliği açısından önemlidir.

3- Klasik flotasyon deneyinden elde edilen ürünlerin (konsantre, orta ürün, artık) tartılıp, kimyasal analizlerinin yapılması

4- Elde edilen bu verilerden sonra ağırlık ve metal dağılım katsayılarının hesaplanması

5- Verilen örnekte de sunulduğu gibi, üzerinde çalışılan akım şemasına ait yük dağılım eşitliklerinin analitik yolla çıkartılması.

6- A₁ nolu devrede yük dağılımı 100 kabul edilip, ağırlık dağılım katsayılarının girilmesinden sonra devrelerdeki ağırlık dağılımlarının hesaplanması.

7- Eşitliklere cevherin içerdiği her metal'e ait metal dağılım katsayılarının girilip, devrelerdeki metal dağılımlarının hesaplanması.

8- A₁ nolu devrede metal içeriği 100 olarak alınacağından, devrelerdeki metal dağılımları o devredeki verimi göstermektedir. Sonuç olarak, devrelerdeki verim ve ağırlık dağılımlarının bu şekilde belirlenmesi ile her devredeki tenör hesapları aşağıdaki şekilde yapılabilmektedir (25).

$$c = (Ff / C) * (R / 100) \quad (57)$$

c : Devredeki tenör (%)

C : Devredeki ağırlık miktarı

F : Flotasyon deneyine beslenen numunenin ağırlığı (100 birim)

f : Besleme tenörü (%)

R : Devrelerdeki verim (%)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda Murgul - Çakmakkaya bakır cevheri kullanılmıştır. Cevherde ortalama % 3.7 kalkopirit, % 10.6 pirit bulunmaktadır. Cevher ortalama % 1.27 Cu, % 6.12 Fe, % 78.95 SiO₂ tenörlüdür. Pirit ve kalkopiritin gang minerallerinden serbestleşme tane iriliği 74 µ, piritin kalkopiritten serbetleşme tane iriliği 43µ civarındadır.

5.1. Kolektif Aşama Deney Sonuçları

Bu aşamanın amacı, kalkopirit ve piriti bulk konsantre halinde elde ederken silisten oluşan gangi cevherden uzaklaştırmaktır. Bu nedenle cevher kalkopirit ve piritin gang minerallerinden serbestleşme tane boyutu olan - 74 µ 'a öğütülmüştür.

5.1.1. Kaba devre

| | | | |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|---------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 30 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 30 gr / ton | (60 sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW 250 | 25 gr / ton | (60 sn) |
| Karıştıma hızı | | 1500 dev / dk | |
| Katı oranı | | % 30 | |
| Flotasyon süresi | | 2 dk | |
| pH (H ₂ SO ₄) | | 7 | |

Tablo 3. Kolektif aşama kaba devre flotasyon sonuçları

| Ürün | %Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|--------|---------|-------|------------------|---------|--------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 17.77 | 6.00 | 21.52 | 36.33 | 83.84 | 62.50 | 8.18 |
| Artık | 82.23 | 0.25 | 2.79 | 88.16 | 16.16 | 37.50 | 91.82 |
| Besleme | 100.00 | 1.27 | 6.12 | 78.95 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

5.1.2. Temizleme Devresi

| | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|---------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW 250 | 25 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 10 | |
| Flotasyon süresi | | 2 dk | |
| pH (H ₂ SO ₄) | | 7 | |

Tablo 4. Kollektif aşama temizleme devresi flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|-------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 58.45 | 9.52 | 33.47 | 10.27 | 92.79 | 90.90 | 16.52 |
| Artık | 41.55 | 1.04 | 4.71 | 72.99 | 7.21 | 9.10 | 83.48 |
| Besleme | 100 | 6.00 | 21.52 | 36.33 | 100 | 100 | 100 |

5.1.3. Süpürme Devresi

| | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|---------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW 250 | 25 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 31.34 | |
| Flotasyon süresi | | 4 dk | |
| pH (H ₂ SO ₄) | | 7 | |

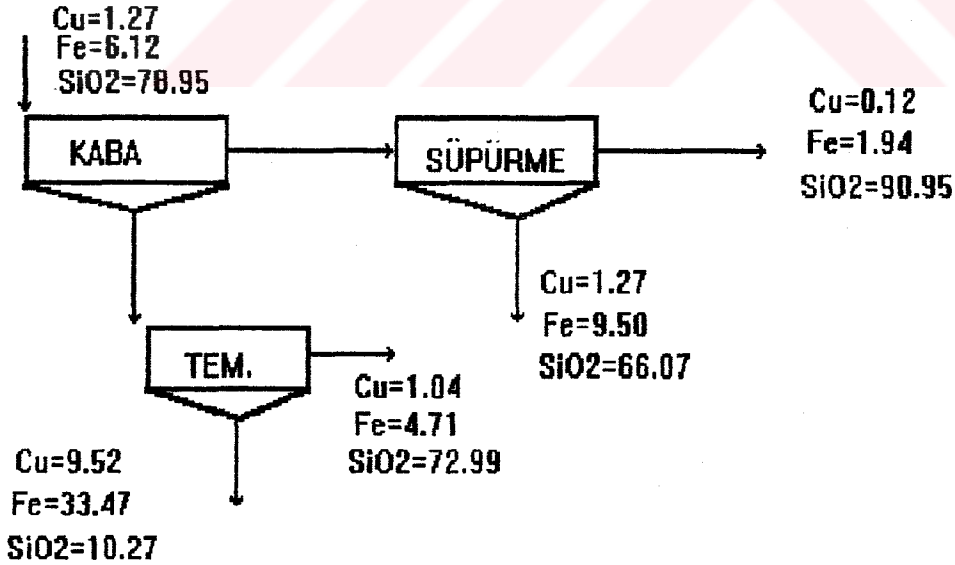
Tablo 5. Kollektif aşama süpürme devresi flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 11.24 | 1.27 | 9.50 | 66.07 | 57.27 | 38.28 | 8.42 |
| Artık | 88.76 | 0.12 | 1.94 | 90.95 | 42.73 | 61.72 | 91.58 |
| Besleme | 100 | 0.25 | 2.79 | 88.16 | 100 | 100 | 100 |

5.1.4. Kollektif Aşama Toplam Devre Sonuçları

Tablo 6. Kollektif aşama toplam devre metalurjik denge çizelgesi

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|--------|---------|-------|------------------|---------|--------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 10.39 | 9.52 | 33.47 | 10.27 | 77.83 | 56.83 | 1.36 |
| Tem. Ar | 7.38 | 1.04 | 4.71 | 72.99 | 6.04 | 5.68 | 6.82 |
| Süp.Kon | 9.24 | 1.27 | 9.50 | 66.07 | 9.24 | 14.35 | 7.73 |
| Artık | 72.99 | 0.12 | 1.94 | 90.95 | 6.89 | 23.14 | 84.09 |
| Besleme | 100.00 | 1.27 | 6.12 | 78.95 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |



Şekil 8. Kollektif aşama akım şeması

5.2.Selektif Aşama Deney Sonuçları

5.2.1.Kaba devre

| | | | |
|-------------------|-----------------|-------------|---------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 30 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 30 gr / ton | (60 sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW250 | 25 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 15 | |
| Flotasyon süresi | | 10 dk | |
| pH (Kireç) | | 11 | |

Tablo 7. Selektif aşama kaba devre flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|--------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 55.62 | 12.14 | 32.94 | 8.72 | 70.93 | 54.74 | 47.23 |
| Artık | 44.38 | 6.236 | 34.134 | 12.21 | 29.07 | 45.26 | 52.77 |
| Besleme | 100 | 9.52 | 33.47 | 10.27 | 100 | 100 | 100 |

5.2.2.Temizleme devresi

| | | | |
|-------------------|--------|---------------|---------|
| Köpürtücü miktarı | DOW250 | 12.5 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 10 | |
| Flotasyon süresi | | 2 dk | |
| pH (Kireç) | | 11 | |

Tablo 8. Selektif aşama temizleme devresi flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|--------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 22.91 | 24.44 | 31.58 | 3.97 | 46.13 | 21.97 | 10.43 |
| Artık | 77.09 | 8.484 | 33.344 | 10.13 | 53.87 | 78.03 | 89.57 |
| Besleme | 100 | 12.14 | 32.94 | 8.72 | 100 | 100 | 100 |

5.2.3 Süpürme 1 Devresi

| | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|----------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW250 | 12.5 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 16 | |
| Flotasyon süresi | | 5 dk | |
| pH (Kireç) | | 11 | |

Tablo 9. Selektif aşama süpürme 1 devresi flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|--------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 53.81 | 8.03 | 32.44 | 11.38 | 69.29 | 51.13 | 50.15 |
| Artık | 46.19 | 4.146 | 36.107 | 13.18 | 30.71 | 48.87 | 49.85 |
| Besleme | 100 | 6.236 | 34.134 | 12.21 | 100 | 100 | 100 |

5.2.4 Süpürme 2 Devresi

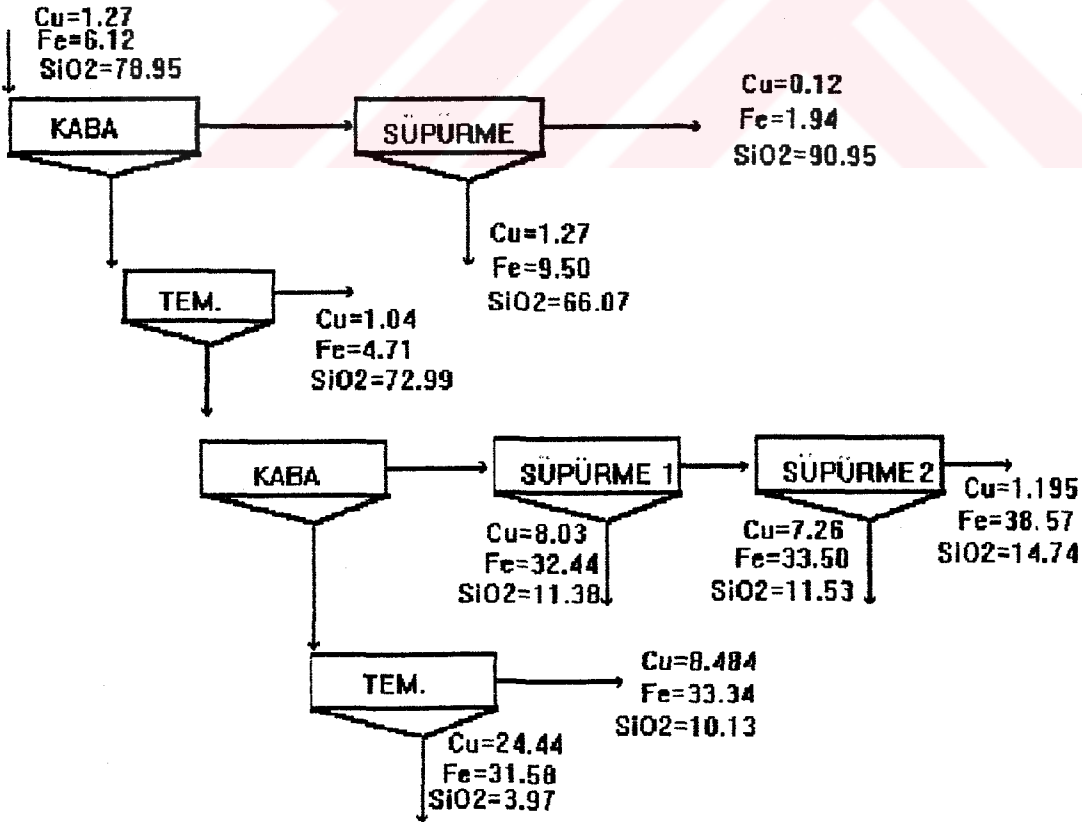
| | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|---------|
| Toplayıcı miktarı | Z ₆ | 10 gr / ton | (60 sn) |
| | Z ₁₁ | 10 gr / ton | (60sn) |
| Köpürtücü miktarı | DOW250 | 12.5 gr / ton | (60 sn) |
| Katı oranı | | % 15 | |
| Flotasyon süresi | | 5 dk | |
| pH (Kireç) | | 11 | |

Tablo 10. Selektif aşama süpürme 2 devresi flotasyon sonuçları

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|-----------|-------|---------|--------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Konsantre | 48.66 | 7.26 | 33.50 | 11.53 | 85.20 | 45.13 | 42.57 |
| Artık | 51.34 | 1.195 | 38.577 | 14.74 | 14.80 | 54.87 | 57.43 |
| Besleme | 100 | 4.146 | 36.107 | 13.18 | 100 | 100 | 100 |

Tablo 11. Toplam devre metalurjik denge çizelgesi

| Ürün | % Ağ | Tenör % | | | Verim % | | |
|------------|-------|---------|--------|------------------|---------|-------|------------------|
| | | Cu | Fe | SiO ₂ | Cu | Fe | SiO ₂ |
| Cu Kons | 1.324 | 24.44 | 31.58 | 3.97 | 25.46 | 6.83 | 0.07 |
| Pirit Kons | 1.10 | 1.195 | 38.577 | 14.74 | 1.05 | 6.94 | 0.21 |
| Tem. Ar 1 | 7.38 | 1.04 | 4.71 | 72.99 | 6.04 | 5.68 | 6.82 |
| Süp. Kon1 | 9.24 | 1.27 | 9.50 | 66.07 | 9.24 | 14.34 | 7.73 |
| Süp. Kon2 | 2.48 | 8.03 | 32.44 | 11.38 | 15.68 | 13.14 | 0.36 |
| Süp. Kon3 | 1.04 | 7.26 | 33.50 | 11.53 | 5.89 | 5.69 | 0.15 |
| Tem. Ar 2 | 4.452 | 8.484 | 33.34 | 10.13 | 29.74 | 24.25 | 0.57 |
| Artık | 72.99 | 0.12 | 1.94 | 90.95 | 6.90 | 23.13 | 84.09 |
| Besleme | 100 | 1.27 | 6.12 | 78.95 | 100 | 100 | 100 |



Şekil 9. Toplam devre akım şeması

6. LABORATUVAR SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

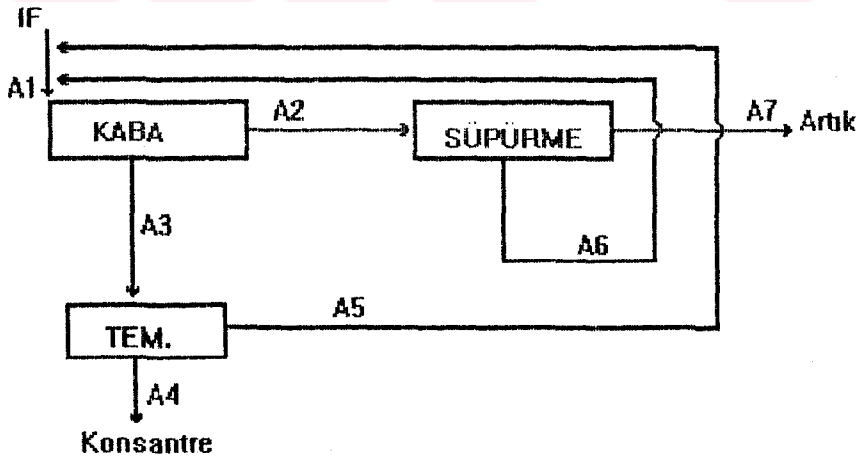
6.1. Laboratuvar Sonuçlarının İterasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi

6.1.1. Kollektif Aşama

Aşağıda verilen hesaplamalar iterasyon yöntemi için geliştirilen Flosim programı ile yapılmıştır.

Tablo 12. Kollektif aşama flotasyon deney verileri

| Ürünler | Kaba | | | Süpürme | | | Temizleme | | |
|------------------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|-----------|-------|-------|
| | % Ağ | Tenör | % Katı | % Ağ | Tenör | % Katı | % Ağ | Tenör | %Katı |
| Konsantre | 17.77 | 6.00 | 25.01 | 11.24 | 1.27 | 12.56 | 58.45 | 9.52 | 12.04 |
| Artık | 82.23 | 0.25 | 31.34 | 88.76 | 0.12 | 38.67 | 41.55 | 1.04 | 8.07 |
| Besleme | 100.00 | 1.27 | 30.00 | 100.00 | 0.25 | 31.34 | 100.00 | 6.00 | 25.01 |
| Flotasyon süresi | | 2 dk | | | 4 dk | | | 2 dk | |



Şekil 10. İterasyon Hesaplamaları için akış kollarını gösteren kollektif aşama kapalı devre akım şeması

Tablo 13. İterasyon yöntemi ile hesaplanan kolektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları

| Akış Kolu | AĞIRLIK | | Tenör % | Pulp katı Sıvı Oranı | Su Debisi m ³ / h | Pulp Debisi m ³ / h | Pulp Yoğ. gr / cm ³ |
|----------------|---------|--------|---------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | t / h | % | | | | | |
| A ₁ | 568.52 | 119.94 | 1.25 | 23.70 | 1830.32 | 2019.83 | 1.190 |
| A ₂ | 467.51 | 98.63 | 0.25 | 24.87 | 1412.37 | 1568.21 | 1.200 |
| A ₃ | 101.01 | 21.31 | 5.90 | 19.46 | 417.95 | 451.62 | 1.150 |
| A ₆ | 52.57 | 11.09 | 1.25 | 9.43 | 504.60 | 522.12 | 1.070 |
| A ₇ | 414.94 | 87.54 | 0.12 | 31.37 | 907.77 | 1046.08 | 1.260 |
| A ₄ | 59.06 | 12.46 | 9.36 | 22.95 | 198.23 | 217.92 | 1.180 |
| A ₅ | 41.99 | 8.86 | 1.02 | 16.04 | 219.72 | 233.72 | 1.120 |

Printer'dan alınan bilgisayar çıktısında tablo 13 'e ek olarak aşağıdaki bilgilerde bulunmaktadır.

| | |
|--|--------------------------|
| Kaba flotasyon için gerekli selüllerin hacmi | =192.52 m ³ |
| Süpürme 1 için gerekli selüllerin hacmi | = 164.422 m ³ |
| Temizleme 1 için gerekli selüllerin hacmi | = 73.33 m ³ |
| Kaba flotasyon süresi | = 5.719 dk |
| Temizleme 1 flotasyon süresi | = 9.742 dk |
| Süpürme 1 flotasyon süresi | = 6.291 dk |
| Toplam devre verimi | = % 91.831 |
| Toplam konsantre tenörü | = % 9.36 |
| Toplam konsantre miktarı | = % 12.46 |

6.1.2. Selektif Aşama

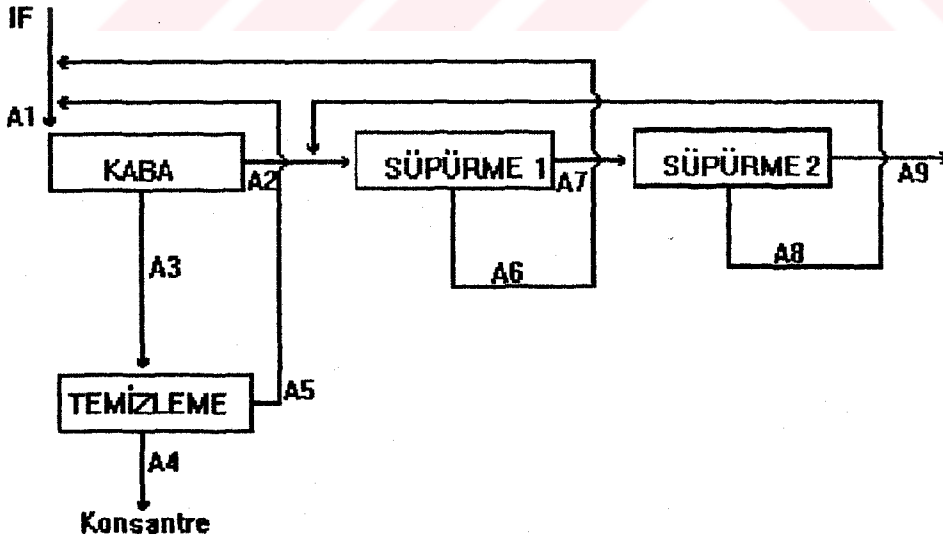
Selektif aşama kapalı devre flotasyon deney sonuçlarının hesaplanması için bilgisayara laboratuvar çalışmalarından elde edilen kesikli deney verileri girilmeden önce, devreye beslenecek katı miktarı ve pulp akış hızlarının hesaplanması içinde katı yoğunluğu girilmiştir. Devreye beslenecek katı miktarı, daha önce hesaplanan kolektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçlarından 59.06 t / h olarak bulunmuştur.

Tablo 14. Selektif aşama kaba ve temizleme devreleri deney verileri

| Ürünler | Kaba | | | Temizleme | | |
|------------------|--------|-------|-------|-----------|-------|--------|
| | % Ağ | % Cu | %Katı | % Ağ | % Cu | % Katı |
| Konsantre | 55.62 | 12.14 | 12.21 | 22.91 | 24.44 | 8.67 |
| Artık | 44.38 | 6.236 | 21.00 | 77.09 | 8.484 | 10.48 |
| Besleme | 100.00 | 9.52 | 15.00 | 100.00 | 12.14 | 12.21 |
| Flotasyon süresi | | 10 dk | | | 2 dk | |

Tablo 15. Selektif aşama süpürme 1 ve süpürme 2 devreleri deney verileri

| Ürünler | Süpürme 1 | | | Süpürme 2 | | |
|------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--------|
| | % Ağ | % Cu | %Katı | % Ağ | % Cu | % Katı |
| Konsantre | 53.81 | 8.03 | 15.58 | 48.66 | 7.26 | 14.30 |
| Artık | 46.19 | 4.146 | 19.02 | 51.34 | 1.195 | 15.70 |
| Besleme | 100.00 | 6.236 | 21.00 | 100.00 | 4.146 | 19.02 |
| Flotasyon süresi | | 5 dk | | | 5 dk | |



Şekil 11. İterasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren selektif aşama kapalı devre akım şeması

Tablo 16. İterasyon yöntemi ile hesaplanan selektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları

| Akış Kolu | AĞIRLIK | | Tenör % | Pulp katı Sıvı Oranı | Su Debisi m ³ / h | Pulp Debisi m ³ / h | Pulp Yoğ. gr / cm ³ |
|----------------|---------|--------|---------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | t / h | % | | | | | |
| A ₁ | 224.40 | 379.96 | 7.26 | 14.94 | 1277.77 | 1352.57 | 1.110 |
| A ₂ | 99.59 | 168.63 | 4.76 | 20.94 | 376.02 | 409.22 | 1.160 |
| A ₃ | 124.81 | 211.33 | 9.26 | 12.16 | 901.75 | 943.35 | 1.090 |
| A ₆ | 69.12 | 117.04 | 6.43 | 19.62 | 283.20 | 306.24 | 1.150 |
| A ₇ | 59.34 | 100.47 | 3.32 | 23.70 | 191.02 | 210.80 | 1.190 |
| A ₈ | 28.87 | 48.89 | 5.81 | 22.72 | 98.19 | 107.81 | 1.180 |
| A ₉ | 30.46 | 51.58 | 0.96 | 24.71 | 92.82 | 102.97 | 1.200 |
| A ₄ | 28.59 | 48.42 | 18.64 | 10.57 | 241.85 | 251.38 | 1.080 |
| A ₅ | 96.22 | 162.92 | 6.47 | 12.73 | 659.90 | 691.97 | 1.090 |

Kaba flotasyon için gerekli selüllerin hacmi = 445.18 m³

Süpürme 1 için gerekli selüllerin hacmi = 82.345 m³

Süpürme 2 için gerekli selüllerin hacmi = 52.945 m³

Temizleme 1 için gerekli selüllerin hacmi = 43.526 m³

Kaba flotasyon süresi = 19.748 dk

Süpürme 1 flotasyon süresi = 9.556 dk

Süpürme 2 flotasyon süresi = 15.071 dk

Temizleme 1 flotasyon süresi = 2.768 dk

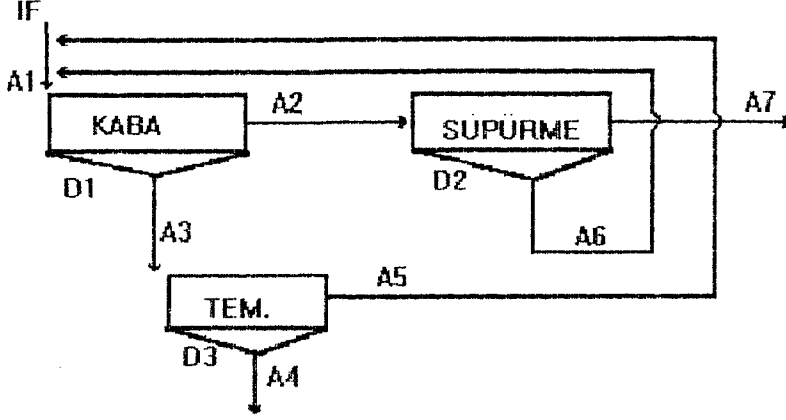
Toplam devre verimi = % 94.806

Toplam konsantre tenörü = % 18.64

Toplam konsantre miktarı = % 48.42

6.2. Laboratuvar Sonuçlarının Simulasyon Yöntemi İle Değerlendirilmesi

6.2.1. Kollektif Aşama



Şekil 12. Simulasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren kollektif aşama kapalı devre akım şeması

Başlangıçta:

$$IF = A_1$$

$$A_2 = A_1 D_1$$

$$A_3 = A_1 (1 - D_1)$$

$$A_4 = A_1 (1 - D_1) (1 - D_3)$$

$$A_5 = A_3 D_3 = A_1 D_3 (1 - D_1)$$

$$A_6 = A_2 (1 - D_2) = A_1 D_1 (1 - D_2)$$

$$A_7 = A_2 D_2 = A_1 D_1 D_2$$

Dengede:

$$A_1 = IF + A_5 + A_6$$

$$A_1 = IF + A_1 D_3 (1 - D_1) + A_1 D_1 (1 - D_2)$$

$$IF = A_1 [1 - D_3 (1 - D_1) - D_1 (1 - D_2)]$$

IF

$$A_1 = \frac{IF}{[1 - D_3 (1 - D_1) - D_1 (1 - D_2)]}$$

6.2.1.1 Kollektif Aşama Kütle Balansı

Kollektif aşama kütle balansı hesaplamalarında ilk besleme miktarını ifade eden IF değeri 474 ton / saat olarak alınmıştır. Kütle balansı dağılım katsayıları ise kaba devre

için $D_1 = 0.822$ süpürme devresi için $D_2 = 0.888$ ve temizleme devresi için $D_3 = 0.416$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan An değerleri aşağıda verilmektedir.

$$A_1 = 568.48 \text{ ton / saat} = \% 119.92$$

$$A_2 = 467.29 \text{ ton / saat} = \% 98.57$$

$$A_3 = 101.19 \text{ ton / saat} = \% 21.35$$

$$A_4 = 59.09 \text{ ton / saat} = \% 12.47$$

$$A_5 = 42.09 \text{ ton / saat} = \% 8.88$$

$$A_6 = 52.33 \text{ ton / saat} = \% 11.04$$

$$A_7 = 414.95 \text{ ton / saat} = \% 87.53$$

6.2.1.2 Kollektif Aşama Tenör Balansı

Kollektif aşama tenör balansı hesaplamalarında ilk besleme birimini ifade eden IF değeri 127 olarak alınmıştır. Tenör balansı dağılım katsayıları ise kaba devre için $D_1=0.1618$, süpürme devresi için $D_2 = 0.426$ ve temizleme devresi için ise $D_3 = 0.072$ olarak hesaplanmıştır.

$$A_1 = 149.94$$

$$A_4 = 116.63$$

$$A_7 = 10.33$$

$$A_2 = 24.26$$

$$A_5 = 9.05$$

$$A_3 = 125.68$$

$$A_6 = 13.93$$

Tenör balansı dağılım katsayılarına göre hesaplanan An akış kolu değerleri birim değerleridir. Her bir akış kolu için yukarıda hesaplanan birim değerlerinden yararlanarak $\%Ağ \times \text{Tenör} = \text{Birim eşitliğinden}$ hesaplanarak bulunan tenör değerleri aşağıda verilmiştir.

$$a_1 = 1.25$$

$$a_3 = 5.90$$

$$a_5 = 1.02$$

$$a_7 = 0.12$$

$$a_2 = 0.25$$

$$a_4 = 9.36$$

$$a_6 = 1.25$$

6.2.1.3 Kollektif Aşama Su Balansı

Kollektif aşama su balansı hesaplamalarında, ilk beslemenin su içeriğini ifade eden IF değeri 1106 ton / saat olarak belirlenmiştir. Su balansı dağılım katsayıları ise kaba devre için $D_1 = 0.772$, süpürme devresi için $D_2 = 0.642$ ve temizleme devresi için ise $D_3 = 0.526$ olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu değerlere bağlı olarak hesaplanan tüm akış kollarındaki su miktarları verilmiştir.

$$A_1 = 1830.82 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_2 = 1413.39 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_3 = 417.42 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_4 = 197.86 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_5 = 219.56 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_6 = 505.99 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_7 = 907.39 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

6.2.1.4. Simulasyon Yöntemi ile Hesaplanan Kollektif Aşama Kapalı Devre Flotasyon Sonuçları

Tablo 17. Simulasyon yöntemi ile hesaplanan kollektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları

| Akış Kolu | AĞIRLIK | | Tenör % | Pulp Katı Sıvı Oranı | Su Debisi m ³ / h | Pulp Debisi m ³ / h | Pulp yoğ gr / cm ³ |
|----------------|---------|--------|------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | Ton / h | % | | | | | |
| A ₁ | 568.48 | 119.92 | 1.25 | 23.70 | 1830.82 | 2020.31 | 1.19 |
| A ₂ | 467.29 | 98.57 | 0.25 | 24.85 | 1413.39 | 1569.15 | 1.20 |
| A ₃ | 101.19 | 21.35 | 5.90 | 19.51 | 417.42 | 451.15 | 1.15 |
| A ₆ | 52.33 | 11.04 | 1.25 | 9.37 | 505.99 | 523.43 | 1.07 |
| A ₇ | 414.95 | 87.53 | 0.12 | 31.37 | 907.39 | 1045.70 | 1.26 |
| A ₄ | 59.09 | 12.47 | 9.36 | 22.99 | 197.86 | 217.55 | 1.18 |
| A ₅ | 42.09 | 8.88 | 1.02 | 16.08 | 219.56 | 233.59 | 1.12 |

6.2.1.5. Kollektif Aşama Flotasyon Sürelerinin Hesaplanması

Kapalı devre flotasyon sürelerinin belirlenmesinde laboratuvarında gerçekleştirilen kesikli deneylerde kullanılan flotasyon sürelerinden ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen randıman değerlerinden yararlanılmaktadır. Laboratuvardaki flotasyon sürelerinden hareketle, sürekli sistem için gerekli olan flotasyon süreleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir (3).

$$R_L = 1 - e^{-ktl}$$

$$\Longrightarrow R_L = R_E$$

$$R_E = kt_E / (1 + kt_E)$$

Aşağıda laboratuvarında gerçekleştirilen flotasyon süreleri ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen flotasyon randımanları verilmektedir.

Kaba devre flotasyon süresi : 2 dk

Temizleme devresi flotasyon süresi : 2 dk

Süpürme devresi flotasyon süresi : 3 dk

Kaba devre randımanı : % 83.95

Temizleme devresi randımanı: % 92.74

Süpürme devresi randımanı : % 57.09

Yukarıdaki eşitliklerden sürekli sistem için gerekli flotasyon süreleri:

Kaba devre flotasyon süresi: 5.75 dk

Temizleme devresi flotasyon süresi: 9.74 dk

Süpürme devresi flotasyon süresi: 6.36 dk olarak bulunmaktadır.

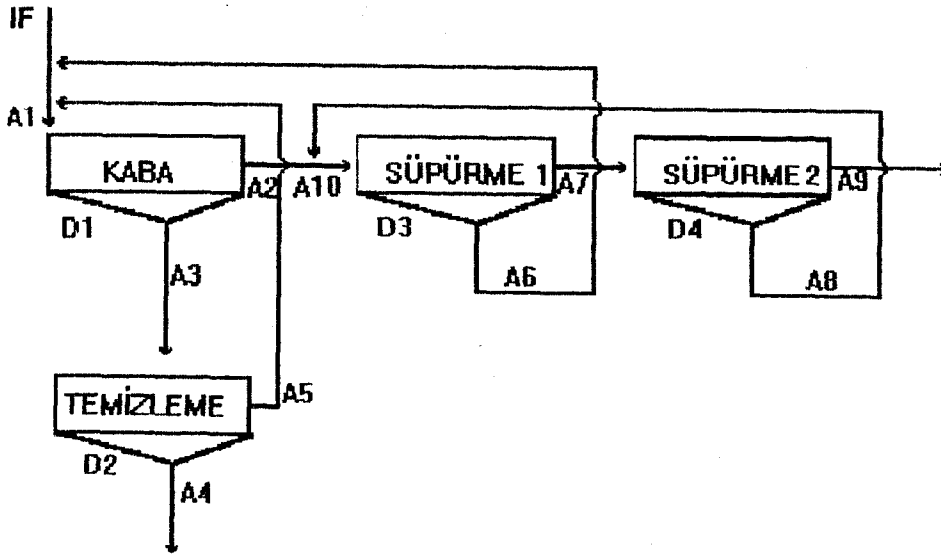
Flotasyon süreleri ve pulp akış hacimlerine bağlı olarak hesaplanan, her bir devre için gerekli olan toplam selül hacimleri:

Kaba flotasyon için gerekli selüllerin hacmi: 193.61 m³

Süpürme devresi için gerekli selüllerin hacmi: 166.32 m³

Temizleme devresi için gerekli selüllerin hacmi. 73.23 m³

6.2.2. Selektif Aşama



Şekil 13. Simulasyon hesaplamaları için akış kollarını gösteren selektif aşama kapalı devre akım şeması

Başlangıçta: $A_1 = IF$

$$A_2 = A_1 D_1$$

$$A_3 = A_1 (1 - D_1)$$

$$A_4 = A_3 (1 - D_2) = A_1 (1 - D_1) (1 - D_2)$$

$$A_5 = A_3 D_2 = A_1 D_2 (1 - D_1)$$

$$A_6 = A_2 (1 - D_3) = A_1 D_1 (1 - D_3)$$

$$A_7 = A_2 D_3 = A_1 D_1 D_3$$

$$A_8 = A_7 (1 - D_4) = A_1 D_1 D_3 (1 - D_4)$$

$$A_9 = A_7 D_4 = A_1 D_1 D_3 D_4$$

Dengede: $A_1 = IF + A_5 + A_6$

$$A_{10} = A_2 + A_8$$

$$A_8 = A_7 (1 - D_4)$$

$$A_7 = A_{10} D_3$$

$$A_8 = A_{10} D_3 (1 - D_4)$$

$$A_{10} = A_1 D_1 + A_{10} D_3 (1 - D_4)$$

$$A_{10} = \frac{A_1 D_1}{[1 - D_3 (1 - D_4)]}$$

$$A_6 = A_{10} (1 - D_3)$$

$$A_1 = \frac{A_1 D_1 (1 - D_3)}{1 - D_3 (1 - D_4)} + A_1 D_2 (1 - D_1) + IF$$

$$A_1 = \frac{IF}{1 - [D_1 (1 - D_3) / 1 - D_3 (1 - D_4)] - D_2 (1 - D_1)}$$

6.2.2.1 Selektif Aşama Kütle Balansı

Selektif aşama kütle balansı hesaplamalarında ilk besleme miktarını ifade eden IF değeri 59.09 ton / saat olarak alınmıştır. Bu değer simulasyon yöntemi ile hesaplanan

kollektif aşama kapalı devre flotasyon deney sonuçlarından elde edilen bulk konsantre miktarıdır. Kütle balansı dağılım katsayıları ise kaba devre için $D_1 = 0.4438$, temizleme devresi için $D_2=0.7709$, süpürme 1 devresi için $D_3 = 0.4619$ ve süpürme 2 devresi için $D_4 = 0.5134$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan An değerleri aşağıda verilmektedir.

$$A_1 = 224.42 \text{ ton / saat} = \% 379.79$$

$$A_2 = 99.60 \text{ ton / saat} = \% 168.55$$

$$A_3 = 124.82 \text{ ton / saat} = \% 211.24$$

$$A_4 = 28.60 \text{ ton / saat} = \% 48.40$$

$$A_5 = 96.22 \text{ ton / saat} = \% 162.84$$

$$A_6 = 69.15 \text{ ton / saat} = \% 117.03$$

$$A_7 = 59.36 \text{ ton / saat} = \% 100.45$$

$$A_8 = 28.87 \text{ ton / saat} = \% 48.88$$

$$A_9 = 30.47 \text{ ton / saat} = \% 51.57$$

$$A_{10} = 128.51 \text{ ton / saat} = \% 217.48$$

6.2.2.2 Selektif Aşama Tenör Balansı

Selektif aşama tenör balansı hesaplamalarında ilk besleme birimini ifade eden IF değeri 952 olarak alınmıştır. Tenör balansı dağılım katsayıları ise kaba devre için $D_1=0.2907$, temizleme 1 devresi için $D_2 = 0.5387$, Süpürme 1 devresi için $D_3 = 0.3071$ ve süpürme 2 devresi içinde $D_4 = 0.1480$ olarak hesaplanmıştır.

$$A_1 = 2758.54$$

$$A_6 = 752.54$$

$$A_2 = 801.91$$

$$A_7 = 333.53$$

$$A_3 = 1956.63$$

$$A_8 = 284.17$$

$$A_4 = 902.59$$

$$A_9 = 49.36$$

$$A_5 = 1054.04$$

$$A_{10} = 1086.08$$

Tenör balansı dağılım katsayılarına göre hesaplanan An akış kolu birim değerlerinden yararlanılarak, ($\% \text{ Ağ} \times \text{Tenör} = \text{Birim}$) eşitliğinden hesaplanan tenör değerleri aşağıda verilmektedir.

$$a_1 = 7.26$$

$$a_4 = 18.64$$

$$a_7 = 3.32$$

$$a_2 = 4.76$$

$$a_5 = 6.47$$

$$a_8 = 5.81$$

$$a_3 = 9.26$$

$$a_6 = 6.43$$

$$a_9 = 0.96$$

6.2.2.3 Selektif Aşama Su Balansı

Selektif aşama su balansı hesaplamalarında, ilk beslemenin su içeriğini ifade eden IF değeri 334.84 ton / saat olarak belirlenmiştir. Su balansı dağılım katsayıları ise kaba devre için $D_1 = 0.295$, temizleme 1 devresi için $D_2 = 0.731$, süpürme 1 devresi için $D_3 = 0.402$ ve süpürme 2 devresi içinde $D_4 = 0.486$ olarak hesaplanmıştır. Aşağıda bu değerlere bağlı olarak hesaplanan tüm akış kollarındaki su miktarları verilmektedir.

$$A_1 = 1274.61 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_2 = 376.01 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_3 = 898.60 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_4 = 241.72 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_5 = 656.88 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_6 = 290.12 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_7 = 195.03 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_8 = 100.25 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_9 = 94.78 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$A_{10} = 485.16 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

6.2.2.4 Simulasyon Yöntemi ile Hesaplanan Selektif Aşama Kapalı Devre Flotasyon Sonuçları

Tablo 18. Simulasyon yöntemi ile hesaplanan Selektif aşama kapalı devre flotasyon sonuçları

| Akış Kolu | AĞIRLIK | | Tenör % | Pulp Katı Sıvı Oranı | Su Debisi m^3 / h | Pulp Debisi m^3 / h | Pulp Yoğ gr / cm^3 |
|-----------|---------|--------|---------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | t / h | % | | | | | |
| A1 | 224.42 | 379.79 | 7.26 | 14.97 | 1274.61 | 1349.42 | 1.11 |
| A2 | 99.60 | 168.55 | 4.76 | 20.94 | 376.01 | 409.21 | 1.16 |
| A3 | 124.82 | 211.24 | 9.26 | 12.19 | 898.60 | 940.21 | 1.09 |
| A6 | 69.15 | 117.03 | 6.43 | 19.25 | 290.12 | 313.17 | 1.15 |
| A7 | 59.36 | 100.45 | 3.32 | 23.33 | 195.03 | 214.81 | 1.19 |
| A8 | 28.87 | 48.88 | 5.81 | 22.36 | 100.25 | 109.87 | 1.18 |
| A9 | 30.47 | 51.57 | 0.96 | 24.32 | 94.78 | 104.93 | 1.20 |
| A4 | 28.60 | 48.40 | 18.64 | 10.58 | 241.72 | 251.25 | 1.08 |
| A5 | 96.22 | 162.84 | 6.47 | 12.77 | 656.88 | 688.95 | 1.09 |

6.2.2.5 Selektif Aşama Flotasyon Sürelerinin Hesaplanması

Aşağıda laboratuvarda gerçekleştirilen flotasyon süreleri ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen flotasyon verimlilikleri verilmektedir.

Kaba devre flotasyon süresi: 10 dk

Temizleme devresi flotasyon süresi: 2 dk

Süpürme 1 devresi flotasyon süresi: 5 dk

Süpürme 2 devresi flotasyon süresi: 5 dk

Kaba devre verimliliği: % 70.93

Temizleme devresi verimliliği: % 46.12

Süpürme 1 devresi verimliliği: % 69.29

Süpürme 2 devresi verimliliği: % 85.20

$$R_L = 1 - e^{-ktl}$$

$$\implies R_L = R_E$$

$$R_E = kt_E / (1 + kt_E)$$

laboratuvar flotasyon süreleri ve yukarıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanan kapalı devre flotasyon süreleri aşağıda verilmektedir.

Kaba devre flotasyon süresi: 19.75 dk

Temizleme devresi flotasyon süresi: 2.761 dk

Süpürme 1 devresi flotasyon süresi: 9.54 dk

Süpürme 2 devresi flotasyon süresi: 14.94 dk

Hesaplanan pulp hacmi ve flotasyon sürelerine bağlı olarak kullanılması gereken toplam selül hacimleri aşağıda verilmiştir.

Kaba Flotasyon için gerekli selüllerin hacmi : 444.18 m³

Temizleme devresi için gerekli selüllerin hacmi: 43.27 m³

Süpürme 1 devresi için gerekli selüllerin hacmi: 80.14 m³

Süpürme 2 devresi için gerekli selüllerin hacmi: 53.49 m³

7. TESİSTE KULLANILACAK EKİPMANLARIN SEÇİMİ

7.1. Tesiste kullanılacak selüllerin seçimi

Simulasyon ve iterasyon yöntemleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda bütün flotasyon devreleri için gerekli olan toplam selül hacimleri belirlenmiştir. Selül seçiminde kullanılan ek 1'deki tabloda, pulp hacmi baz alındığından köpük yüksekliği için ayrıca hacim ilavesi yapılmamıştır.

7.1.1. Kollektif aşamada kullanılacak selüllerin seçimi

Yapılan hesaplamalar sonucunda kaba devre için kullanılması gereken selül hacmi 192.52 m³ olarak bulunmuştur. Flotasyon işlemi sırasında meydana gelebilecek aksaklıklar sonucunda işlemin sürekliliğini sağlamak amacıyla ve daha sonraki yıllarda kapasitenin düşebileceği gözönüne alınarak pulp akışı birden fazla koldan verilmelidir. Pulp akışının 2 ayrı koldan verildiği düşünülürse her bir kolda bulunan selüllerin toplam hacmi 96.26 m³'tür. Buna göre her bir kolda ek 1'den seçilen Sala marka 12 m³'lük 8 adet selül kullanılarak flotasyon işlemi gerçekleştirilebilir.

Kollektif aşama temizleme devresi için hesaplanan toplam selül hacmi 73.33 m³'tür. Temizleme devresi için ek 1'deki tablodan seçilen Sala marka 15 m³'lük 5 adet selül kullanılarak bulk konsantre üretilebilmektedir.

Kollektif aşama süpürme devresi için hesaplanan toplam selül hacmi 164.42 m³'tür. İki koldan oluşan kaba devrenin artıklarını flote eden süpürme devresinde yine iki koldan oluşmalıdır. Buna göre her bir kol için gerekli olan toplam selül hacmi 82.21 m³'tür. Süpürme devresi için ek 1'deki tablodan Sala marka 12 m³'lük 14 adet selül kullanılarak flotasyon işlemi gerçekleştirilebilir.

7.1.2. Selektif Aşamada Kullanılacak Selüllerin Seçimi

Yapılan hesaplamalar sonucunda selektif aşama kaba devresi için kullanılması gereken toplam selül hacmi 445.18 m³ olarak bulunmuştur. Ek 1'deki tablodan seçilen Sala marka 28 m³'lük 16 adet selül kullanılarak flotasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Temizleme devresi için kullanılması gereken toplam selül hacmi 43.526 m³'tür. Ek 1'deki tablodan seçilen Sala marka 9.1 m³'lük 5 adet selül kullanılarak bakır konsantresi üretilebilmektedir.

Selektif aşama süpürme 1 ve süpürme 2 devreleri için gerekli toplam selül hacmi 135.28 m³ olarak hesaplanmıştır. Buna göre ek 1'deki tablodan seçilen Sala marka 9.1 m³'lük 15 adet selül kullanılarak pirit konsantresi üretilebilmektedir.

7.2. Tesiste Kullanılacak Pompaların Seçimi

Kollektif kaba konsantreyi temizleme devresine besleyen pompa:

Kaba konsantre miktarı = 2424.24 ton / gün

Katı + su ağırlığı = 24242.4 ton / gün

Su miktarı = 21818 ton / gün

$V_1 = \text{Katı hacmi}$ $V_2 = \text{Su hacmi}$ $V_t = V_1 + V_2$

$V_t = 22626 \text{ m}^3 = 942.75 \text{ m}^3 / \text{saat}$

% 25 güç kaybı ile saatte 1178.43 m³ pulpı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Kollektif aşama süpürme konsantresi ve temizleme artığı kaba devreye

besleyecek pompa:

Temizleme artığı miktarı = 1007.76 ton / gün

Katı + su ağırlığı = 6326.17 ton / gün

Su miktarı = 5318.41 ton / gün

Süpürme konsantresi miktarı = 1261.68 ton / gün

Katı + su ağırlığı = 13684 ton / gün

Su miktarı = 12422.32 ton / gün

$V_t = 770.71 \text{ m}^3 / \text{saat}$

% 25 güç kaybı ile saatte 963.39 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Bulk konsantre tüknerinden çıkan malzemeyi değirmene besleyen pompa:

Malzeme miktarı = 5385.6 ton / gün

Katı + su miktarı = 9617.14 ton / gün

Su miktarı = 4231.54 ton / gün

$V_t = 251.11 \text{ m}^3 / \text{saat}$

% 25 güç kaybı ile saatte 313.89 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Değirmenden çıkan malzemeyi hidrosyklona ulaştırın pompa:

Değirmene beslenen katı miktarı = 16156.8 ton / gün

Katı + su ağırlığı = 26928 ton / gün

Su miktarı = 10771.2 ton / gün

$V_t = 785.4 \text{ m}^3 / \text{saat}$

% 25 güç kaybı ile saatte 981.75 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Kondisyonerlerden çıkan ürünlü bakır flotasyonuna ulaştırın pompa:

Malzeme miktarı = 5385.6 ton / gün

Katı + su miktarı = 36048 ton / gün

Su miktarı = 30662 ton / gün

Vt = 1352.38 m³ / saat

% 25 güç kaybı ile saatte 1690 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Selektif aşama kaba konsantresini temizleme flotasyonuna ulaştıran pompa:

Malzeme miktarı = 2995.44 ton / gün

Katı + su miktarı = 24633.5 ton / gün

Su miktarı = 21638.11 ton / gün

Vt = 943.19 m³ / saat

% 25 güç kaybı ile saatte 1178.99 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Bakır flotasyonu devresi için tiknerden gelen pulp'ı filtreye ulaştıran pompa:

Malzeme miktarı = 686.16 ton / gün

Katı + su miktarı = 1288.56 ton / gün

Su miktarı = 602.40 ton / gün

Vt = 34.63 m³ / saat

% 25 güç kaybı ile saatte 43.29 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

Pirit flotasyonu devresi için tiknerden gelen pulp'ı filtreye ulaştıran pompa:

Malzeme miktarı = 731.04 ton / gün

Katı + su miktarı = 1183.68 ton / gün

Su miktarı = 452.64 ton / gün

Vt = 29.01 m³ / saat

% 25 güç kaybı ile saatte 36.26 m³ pulp'ı pompalayabilecek güçte olmalıdır.

7.3. Tikner Tasarımı

Tikner tasarımı laboratuvarında gerçekleştirilen sedimentasyon testi sonuçlarına bağlı olarak yapılmıştır.

7.3.1. Bulk Konsantre Tikneri

Tablo 19. Bulk konsantre sedimentasyon testi sonuçları

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|
| t (sn) | 0 | 30 | 30 | 60 | 120 | 120 | 300 | 300 | 600 | 600 | 1200 | 1200 |
| H(cm) | 17 | 16.5 | 16.2 | 15.3 | 14.1 | 13.9 | 11.1 | 9.5 | 7.3 | 5.8 | 4.9 | 4.9 |

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Başlangıç katı oranı | : %22.81 |
| Cevher yoğunluğu | : 3 gr / cm ³ |
| Besleme miktarı | : 5385.6 ton / gün |
| Başlangıç yüksekliği (Ho) | : 0.17 m |
| Max. çökme zamanı (ts) | : 55 dk = 0.916 saat |
| Sonuç yüksekliği (Hs) | : 0.045 m |

$$\text{Başlangıç konsantrasyonu} = C_o = \frac{22.81}{(22.81 / 3) + (77.19 / 1)} = 0.26902$$

Knych teorisine göre; $C_s = (C_o H_o) / H_s$ olduğundan $C_s = 1.016 \text{ t / m}^3$ bulunur.

Çıkıştaki % katı konsantrasyonu;

$$C_s = \% \text{ katı} / [(\% \text{ katı} / 3) + (\% \text{ sıvı} / 1)] = \% \text{ katı} = 60.57$$

Bu verilere göre gerekli tikner kesit alanı:

$$A = \frac{Q \text{ ts}}{C_o H_o} = 4494.5 \text{ m}^2 / \text{saat} \quad A = \pi r^2 \quad r = 37.83 \text{ m}$$

Bu çaptaki bir tikner için gerekli tikner yüksekliği:

$$H = \frac{Q \text{ ts}}{A} \frac{1}{g} + \frac{x}{g_s}$$

Beslemedeki sıvı / katı oranı = 3038

Çıkıştaki sıvı / katı oranı = 0.78

$$X = (3.38 + 0.78) / 2 = 2.08$$

Yukarıdaki verilere bağlı olarak gerekli tikner yüksekliği $H = 0.1102 \text{ m}$ olarak bulunur. Bu yüksekliğe tikner tabanının eğimi, besleme derinliği ve kapasite fazlalığı için 1.5 m'lik bir ilave yapılarak tikner yüksekliği; $H = 1.6102 \text{ m}$ olarak bulunur (26).

7.3.2 Bakır Konsantresi Tikneri

Tablo 20. Bakır konsantresi sedimantasyon testi sonuçları

| | | | | | | | | | | |
|--------|----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| t (sn) | 0 | 20 | 30 | 45 | 30 | 60 | 120 | 300 | 600 | 600 |
| H(cm) | 19 | 15.4 | 9 | 5.2 | 4.6 | 3.8 | 3.2 | 2.7 | 2.4 | 2.4 |

| | |
|---------------------------|---------------|
| Cevher yoğunluğu | : 4.2 |
| Besleme miktarı | : 28.59 t / h |
| Başlangıç katı oranı | : % 10.57 |
| Başlangıç yüksekliği (Ho) | : 0.19 m |
| Max. çökme zamanı (ts) | : 0.12 h |
| Sonuç yüksekliği (Hs) | : 0.024 m |

Verilere göre başlangıç konsantrasyonu:
$$Co = \frac{10.57}{(10.57 / 4.2) + 89.43} = 0.1149$$

Knych teorisine göre: $Cs = 0.9096$

Yapılan hesaplamalar sonucunda çıkıştaki % katı konsantrasyonu % 53.73 bulunmuştur. Bu verilere göre gerekli tikner kesit alanı $A = 157.15 \text{ m}^2$ tikner yarıçapı ise $r = 7.07 \text{ m}$ 'dir. Bu çaptaki bir tikner için gerekli tikner yüksekliği:

Beslemedeki sıvı / katı oranı = 8.46

Çıkıştaki sıvı / katı oranı = 0.861

$X = (8.46 + 0.861) / 2 = 4.66$

$$H = \frac{Q \cdot ts}{A} + \frac{1}{g} + \frac{X}{gs} = 0.106 \text{ m}$$

Bu yüksekliğe tikner tabanının eğimi, besleme derinliği ve kapasite fazlalığı için 1.5 m'lik bir ilave yapılarak tikner yüksekliği $H = 1.60 \text{ m}$ olarak bulunur (26).

7.3.3. Pirit Konsantre Tikneri

Tablo 21. Pirit konsantresi sedimantasyon testi sonuçları

| | | | | | | | |
|--------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| t (sn) | 0 | 30 | 45 | 60 | 120 | 300 | 600 |
| H (cm) | 19 | 14.8 | 9.6 | 5.7 | 4.9 | 3.8 | 3.8 |

Besleme miktarı : 30.46 t / h

Başlangıç katı oranı : % 24.71

Başlangıç yüksekliği (Ho) : 0.19 m

Max. çökme zamanı (ts) : 0.11 h

Sonuç yüksekliği (Hs) : 0.047 m

Cevher yoğunluğu : 5.2 gr / cm

Verilere göre başlangıç konsantrasyonu $Co = 0.3087 \text{ t} / \text{m}^3$, Son konsantrasyon $Cs = 1.247 \text{ t} / \text{m}^3$, Çıkıştaki % katı konsantrasyonu ise % 61.76 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu değerlere göre gerekli tikner kesit alanı $A = 57.13 \text{ m}^2$, tikner yarıçapı $r = 4.27 \text{ m}$ 'dir. Bu çaptaki bir tikner için gerekli tikner yüksekliği $H = 0.12 \text{ m}$ dir. Tikner tabanının eğimi, besleme derinliği ve kapasite fazlalığı için 1.5 m 'lik ilave yapılarak tikner yüksekliği 1.62 m olarak bulunur (26).

7.4. Bilyalı Değirmen Tasarımı

Hidrosiklondan değirmene verilen yük miktarı % 200'dür.

$$Q = 673.2 \text{ ton / saat}$$

$$W_i = 14.44 \text{ t / h}$$

$$F_{80} = 43 \mu$$

$$P_{80} = 74 \mu$$

$$W = 10 W_i \left(\frac{1}{F_{80}} - \frac{1}{P_{80}} \right)$$

$$W = 5.1984 \text{ kwh / t}$$

$$W = E \prod_{i=1} E_{Fi}$$

E_{F1} (Kuru öğütme faktörü) : Yaş öğütme yapıldığı için uygulanmaz.

E_{F2} (Açık devre bilyalı öğütme faktörü) : kapalı devre öğütme yapıldığı için uygulanmaz.

E_{F3} (Çap etkinlik faktörü) : Güç hesabından sonra uygulanır. (Ek 3)

E_{F4} (Besleme boyut faktörü) : Bilyalı değirmenlerde 16 mm 'den daha iri malzemeler için geçerli olduğundan uygulanmaz.

E_{F5} (İnce öğütme faktörü) : Öğütülmüş malzemenin % 80'inin geçtiği ve 0.075 mm 'den küçük boyutun etkisidir.

$$E_{F5} = \frac{P + 10.3}{1.145 P} = 1.08$$

E_{F6} = Çubuklu öğütmede yüksek yada düşük ufalama oranı: Öğütme işlemi bilyalı değirmende gerçekleştirildiği için uygulanmaz.

E_{F7} = Bilyalı değirmende düşük ufalama oranı: Bilyalı değirmende ufalama oranı 6'dan küçük ise uygulanır.

$$R_r = 74 / 43 = 1.72 < 6 \text{ olduğu için uygulanır.}$$

$$E_{F7} = \frac{2 (Rr - 1.35) + 0.26}{2 (Rr - 1.35)} = 1.35$$

E_{F8} = Çubuklu öğütme faktörü: Bilyalı öğütme yapıldığı için uygulanmaz.

$$W = 5.1984 \times 1.08 \times 1.35 = 7.579 \text{ kwh / ton}$$

$$W = 1.341 \times 7.579 = 10.16 \text{ HP / ton}$$

$$W = 6839.712 \text{ HP}$$

$$W = 2279.904 \text{ HP}$$

E_{F3} = % 40 hacimsel yüklemeli bilyalı değirmenin ek 2 'den seçilen gücü 2264 HP olup, değirmen çapı 4.72 m'dir. 4.72 m çaplı bir değirmen seçildiğinde çap etkinlik faktörü Ek 3 'den 0.914 olarak kabul edilirse;

$$W = 0.914 \times 6839.712 = 6251.49 \text{ HP}$$

$$W = 2083.83 \text{ HP}$$

Ek 2'de verilen tablodan hareketle aşağıda verilen özellikte üç değirmen kullanılmalıdır (26):

Değirmen çapı : 4.57 m

Bilya boyutu : 64 mm

Pratik hız : 14.1 dev / dak

Astarlanmış değ. çapı: 4.39 m

Değirmen gücü : 2107 HP

Bilya şarj ağırlığı : 129 ton

Değirmen uzunluğu : 4.57 m

7.5 .Siklon Tasarımı

Hidrosiklon değirmenden gelen ürün içerisindeki tanelerden 43 µ tane boyutundan daha iri olanları değirmene verirken, 43 µ tane boyutundan daha ince olanları bakır flotasyonu devresine göndermektedir. Değirmenle kapalı devre halinde çalışan hidrosiklonda ayırma ortamı sudur. Değirmenden çıkan malzeme 673.2 t/h' dir. Hidrosiklon kapasitesi çapa göre belirlenmektedir (27).

Tesiste üç adet değirmen kullanıldığı ve her değirmene bağlı dört adet siklon bulunduğu düşünülürse:

$$Q = 1346.4 \text{ ton / gün}$$

$$D = 0.215 Q^{0.74}$$

$$D = 44.47 \text{ cm}$$

% 75 kapasite kaybıyla siklon çapı 55.59 cm olmalıdır. Her değirmen için 55.59 cm çaplı dört adet siklon fiilen çalışırken, dört adet siklonda çalışan siklonlarda meydana gelebilecek aksaklıklarda kullanılmak üzere yedekte bekletilmelidir.

7.6. Kondisyon Tanklarının Tasarımı

Kondisyon tanklarında boy ve çap eşit olarak alınabilmektedir. Tank malzemesinin seçiminde pulp ve reaktif özellikleri gözönünde bulundurulmalıdır. Eğer pulp asidik veya aşındırıcı malzemeler içeriyorsa kondisyon tankı bunlardan etkilenmeyecek malzemelerden yapılmalı veya kaplanmalıdır. Laboratuvarında saptanan kondisyon stresine göre büyük hacimli kondisyon tanklarının kullanılması gerekiyorsa büyük hacimli tek kondisyon tankı kullanmak yerine seri halde çalıştırılan küçük hacimli tanklarda kondisyonlama yapmak daha avantajlıdır(28).

p = Pulp yoğunluğu

d_p = Pulp özgül ağırlığı

$$d_p = \frac{d}{p + d(1 - p)} = 1.11 \text{ t / m}^3$$

$$W_p = \frac{Ft}{24 \times 60 \times p} = 324.13 \text{ ton}$$

W_p = t dakikada kalacak pulp ağırlığı

t = Kondisyonlama stresi (13 dk)

F = Günlük kapasite

Tank hacmi = $W_p / D_p = 108.04 \text{ m}^3$

Seri halde çalışan 54.02 m^3 hacimli iki adet kondisyon tankı kullanılmalıdır. Kondisyon tanklarının çapı $54.02 = \pi R^3 / 4$ eşitliğinden $R = 4.10 \text{ m}$ olarak hesaplanır. Kondisyon tankı yüksekliği $h = R = 4.10 \text{ m}$ 'dir.

8. TESİSİN YATIRIM MALİYETİNİN HESAPLANMASI

Yatırım maliyeti hesapları aşağıdaki yöntemlerden birisiyle yapılabilmektedir.

a- 0.6 kuralı

Bu metodun geçerli olması için tesis benzerliği esastır. Bölgesel farklılıklar ve ekonomik koşullar farklı değişimlere neden olur. Ayrıca, ekipman kapasiteleri içinde bu kural geçerli olur (26).

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

M_1, M_2 = Maliyetler

Q_1, Q_2 = Kapasiteler

Maliyet endeksleri, zamanı geçmiş fiyatlardan bugünkü fiyatları tahmin edebilmek için kullanılan oranlardır.

$$\text{Şimdiki Maliyet} = \text{Geçmişteki Maliyet} \frac{\text{Şimdiki maliyet endeksi}}{\text{Geçmişteki maliyet endeksi}}$$

Bu yöntemin kullanılması sözkonusu olduğunda zaman dilimi on yıldan az ise yapılan tahmin ± 10 hata ile doğrudur.

Şu andaki maliyet hesabı için kullanılan endeksler belirli kriterler gözönüne alınarak hazırlanmıştır ve bu yüzden farklı endeksler ortaya çıkmıştır. Bu endeksler içerisinde cevher hazırlama tesisleri için kullanılacak olan tek endeks M δ S (Marshall and Swift) endeksidir. Bu endekste 1926 yılı 100 olarak baz alınmıştır. Günümüzdeki maliyet endeksi (MδS) 1995 yılı için 950 'dir.

b - Ana ekipman maliyet yöntemi

$$\text{Maliyet} = a (X)^b$$

X, cihaza ilişkin parametreleri (t / h, ft, inch, HP, USG vb) a ve b, tesis tipini, yerleşim durumunu, ekonomik yapıyı coğrafik konumu, yerel üretime bağlı etkenleri gösteren katsayılardır. Eğer seçilen cihazla ilgili x değeri tabloda verilen x'in sınırları dışında ise o zaman cihaz maliyetini bulmak için 0.6 kuralı uygulanır (29).

8.1 Tesiste Kullanılan Selüllerin Maliyeti

Flotasyon selüllerinin maliyetinin hesaplanmasında x parametresi selül hacmini ifade etmektedir. Ek 4'deki tabloda flotasyon selülü için verilen x değerleri 100 - 300

arasında olup, birimi feet'tir. Tesiste 9.1 m³ 'lük 20 adet, 12 m³ 'lük 30 adet, 15 m³ 'lük 5 adet ve 28 m³ 'lük 16 adet selül kullanılmıştır.

9.1 m³ 'lük selüllerin maliyeti:

$$x = 327.026 \text{ ft}^3 \quad a = 71, \quad b = 0.74$$

9.1 m³ 'lük selül için x değeri tabloda bulunan değerler arasında olmadığı için 0.6 kuralı uygulanır. 150 ft³ 'lük örnek bir selül için maliyet:

$$\text{Maliyet} = a (X)^b = 2894.44 \text{ \$}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 4620.18 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 4620.18 \frac{950}{300} = 14630.57 \text{ \$}$$

12 m³ 'lük selüllerin maliyeti:

$$x = 431.16 \text{ ft}^3, \quad a = 71, \quad b = 0.74$$

x değeri tabloda verilen değerler arasında olmadığı için 0.6 kuralı uygulanır. 150 ft³ 'lük örnek bir selül maliyeti $M_1 = 2894.44 \text{ \$}$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 8319.6 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 8319.6 \frac{950}{300} = 26345.4 \text{ \$}$$

28 m³ 'lük selüllerin maliyeti:

$$x = 1006.236 \text{ ft}^3 \quad a = 71 \quad b = 0.74$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 9073.48 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 9073.48 \frac{950}{300} = 28732.6 \text{ \$}$$

15 m³ 'lük selüllerin maliyeti:

$$x = 538.95 \text{ ft}^3 \quad a = 71 \quad b = 0.74$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 10399.7 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 10399.7 \frac{950}{300} = 32932.38 \text{ \$}$$

$$\text{Tesiste kullanılan selüllerin toplam maliyeti} = 1707356 \text{ \$}$$

8.2. Tesiste Kullanılan Pompaların Maliyeti

Pompa maliyetlerinin hesaplanmasında x parametresi kapasiteyi ifade etmektedir. Temel ekipman maliyet verilerini veren tablodan pompa için x 'in 250 - 5000 değerleri arasında olduğu görülmektedir.

Kollektif kaba konsantreyi temizleme devresine besleyen pompanın maliyeti:

$$x = 19.64 \text{ m}^3 / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

$$\text{USG standartlarına göre } x = 19.64 \times 264.2 = 5188.8 \text{ USG} / \text{dk}$$

x 'değeri tabloda verilen değerler arasında olmadığı için maliyet hesabı 0.6 benzerlik kuralı yardımıyla yapılmalıdır. x = 251 USG / dk'lık örnek bir pompanın maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 1064.51 \text{ \$}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 22006 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 22006 \frac{950}{300} = 69685.6 \text{ \$}$$

Kollektif aşama süpürme konsantresi ve temizleme artığını kaba devreye besleyen pompanın maliyeti:

$$x = 16.05 \text{ m}^3 / \text{dk} = 4240.41 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

$$M_1 = a (x)^b = 6499.84 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 6499.84 \frac{950}{300} = 20580.16 \text{ \$}$$

Bulk konsantre tiknerinden çıkan malzemeyi değirmene besleyen pompanın maliyeti:

$$x = 5.23 \text{ m}^3 / \text{dk} = 1381.7 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

$$M_1 = a (x)^b = 3171.22 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 3171.22 \frac{950}{300} = 10042.1 \text{ \$}$$

Değirmenden çıkan malzemeyi hidrosiklona besleyen pompanın maliyeti:

$$x = 16.36 \text{ m}^3 / \text{dk} = 4322.3 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

$$M_1 = a (x)^b = 6579.89 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 6579.89 \frac{950}{300} = 20836.21 \text{ \$}$$

Kondisyonerlerden çıkan malzemeyi bakır flotasyonuna ulaştırın pompanın maliyeti:

$$x = 28.16 \text{ m}^3 / \text{dk} = 7439.87 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

Temel ekipman maliyet verilerini veren tabloda pompa için verilen x değeri aralığı 250 - 5000 dir. Maliyeti hesaplanacak pompanın x değeri bu aralıkta olmadığı için 0.6 benzerlik kuralı uygulanmalıdır.

x = 251 USG / dk'lık örnek bir pompanın maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 1064.51 \text{ \$}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 31533 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 31533 \frac{950}{300} = 99917.8 \text{ \$}$$

Selektif aşama kaba konsantresini temizleme flotasyonuna ulaştırın pompanın maliyeti:

$$x = 19.65 \text{ m}^3 / \text{dk} = 5191.53 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

Maliyeti hesaplanacak pompanın x değeri tabloda verilen değerler arasında olmadığı için 0.6 benzerlik kuralı uygulanır.

$x = 251$ USG / dk'lık örnek bir pompanın maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 1064.51 \$$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 6554.24 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 6554.24 \frac{950}{300} = 20755 \$$$

Bakır flotasyonu devresi için tiknerden gelen pulpu filtreye ulaştırın pompanın maliyeti:

$$x = 0.72 \text{ m}^3 / \text{dk} = 190.22 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

Maliyeti hesaplanacak pompanın x değeri tabloda verilen değerler arasında olmadığı için 0.6 benzerlik kuralı uygulanır.

$x = 251$ USG / dk'lık örnek bir pompanın maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 1064.51 \$$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 901.36 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 901.36 \frac{950}{300} = 2854.3 \$$$

Pirit flotasyonu devresi için tiknerden gelen pulpu filtreye ulaştırın pompanın maliyeti:

$$x = 0.60 \text{ m}^3 / \text{dk} = 158.52 \text{ USG} / \text{dk} \quad a = 31 \quad b = 0.64$$

Maliyeti hesaplanacak pompanın x değeri tabloda verilen değerler arasında olmadığı için 0.6 benzerlik kuralı uygulanır.

$x = 251$ USG / dk'lık örnek bir pompanın maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 1064.51 \$$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 807.97 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 807.97 \frac{950}{300} = 2558.57 \$$$

$$\text{Tesiste kullanılan pompaların toplam maliyeti} = 247229.84 \$$$

8.3. Tesiste Kullanılan Tiknerlerin Maliyeti

Tikner maliyet hesabında x parametresi tikner çapının feet cinsinden değerine eşit olup, ek 4 'deki temel ekipman maliyet verileri tablosunda tikner için x değeri aralığı 10 - 225 'dir.

Bulk konsantre tiknerinin maliyeti:

$$\text{Tikner çapı} = 37.83 \text{ m}$$

$$x = 124.839 \text{ ft} \quad a = 147 \quad b = 1.38$$

$$M_1 = a (x)^b = 114.889 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 114.889 \frac{950}{300} = 363.815 \$$$

Pirit konsantre tiknerinin maliyeti:

$$\text{Tikner çapı} = 4.27 \text{ m}$$

$$x = 13.77 \text{ ft} \quad a = 147 \quad b = 1.38$$

$$M_1 = a (x)^b = 5483.3 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 5483.3 \frac{950}{300} = 17363.7 \$$$

Bakır konsantre tiknerinin maliyeti:

$$\text{Tikner çapı} = 7.07 \text{ m}$$

$$x = 22.80 \text{ ft} \quad a = 147 \quad b = 1.38$$

$$M_1 = a (x)^b = 10996.8 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 10996.8 \frac{950}{300} = 34823.2 \$$$

$$\text{Toplam tikner maliyeti} = 52550.7 \$$$

8.4. Bilyalı Değirmen Maliyeti

Bilyalı değirmen maliyetinin hesaplanmasında x parametresi motor gücü ile ifade edilmektedir. Tesiste 2107 HP gücünde üç adet değirmen kullanılmıştır. Ek 'daki temel ekipman maliyet verileri tablosunda bilyalı değirmen için x aralığı 40 - 1750 'dir. Kullanılan değirmenlerin motor gücü bu aralıkta olmadığı için 0.6 benzerlik kuralı uygulanmalıdır. $x = 2107$ $a = 3410$ $b = 0.54$

1600 HP gücünde örnek bir değirmenin maliyeti:

$$M_1 = a (x)^b = 183222.65 \$$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.6}$$

$$M_2 = 216319.54 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 216319.54 \frac{950}{300} = 685011.87 \$$$

$$\text{Tesisteki değirmenlerin toplam maliyeti} = 2055035.6 \$$$

8.5. Hidrosiklon Maliyeti

Değirmenle kapalı devre çalışan hidrosiklonun x parametresi çapa göre belirlenmektedir. x'in birimi inch'dir ve x değeri aralığı 6 - 30 'dur. Tesiste 55.59 cm çaplı 12 adet hidrosiklon kullanılmıştır.

$$x = 21.89 \text{ inch} \quad a = 132 \quad b = 0.91$$

$$M_1 = a (x)^b = 2188.76 \$$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 2188.76 \frac{950}{300} = 6931.07 \$$$

$$\text{Tesiste kullanılan siklonların toplam maliyeti} = 83172.84 \$$$

8.6. Kondisyon Tankı Maliyeti

Kondisyon tankı maliyetinin hesaplanmasında kullanılan x parametresi hacmi ifade etmektedir ve birimi $(m^3 / sn) / (6.3 \cdot 10^{-5})$ 'tir. Ek 'daki temel ekipman maliyet verilerini veren tabloda kondisyon tankı için x aralığı 100 - 250000'dir. Tesiste $54.02 m^3$ hacimli iki adet kondisyon tankı kullanılmıştır.

$$V = 54.02 m^3 (t = 13 \text{ dk})$$

$$V = 0.069256 \text{ m}^3 / \text{sn}$$

$$x = 1099.30 \quad a = 44 \quad b = 0.53$$

$$M_1 = a(x)^b = 1799.88 \text{ \$}$$

$$\text{Şimdiki maliyet} = 1799.88 \frac{950}{300} = 5699.62 \text{ \$}$$

$$\text{Tesiste kullanılan kondisyon tanklarının toplam maliyeti} = 11399.24 \text{ \$}$$

8.7. Tesisin Toplam Yatırım Maliyetinin Hesaplanması

Tesis ekipmanlarının boyutlandırılması ve fiyatlandırılması önceki bölümlerde yapılmıştır. Bu ekipmanların toplam maliyeti 4 156 744,2 '\$' dir. Tesisin toplam yatırım sermayesini bulmak için katsayı yöntemi kullanılmıştır (26).

Tablo 22. Tesis bileşenleri maliyetlerinin katsayı yöntemi ile hesaplanması

| GİDERLER | FAKTÖR | TUTARI |
|---|-----------------------------|---------------|
| 1. Satın alınmış cihazların maliyeti | | 4 156 744.2 |
| 2. Cihazların montaj maliyeti | 1 x 0.21 | 8 729 16.28 |
| 3. Borulama - malzeme ve işçilik | 1 x 0.16 | 6 650 79.07 |
| 4. Elk. malz. işçilik. bina aydınlatma | 1 x 0.19 | 7 897 81.40 |
| 5. Cihazların maliyeti | 1 x 0.075 | 3 117 55.81 |
| 6. Proses inş. mak. ser. aydınlatma | 1 x 0.415 | 1 725 048.8 |
| 7. Yardımcı inş. mak. ser. aydınlatma | 1 x 0.11 | 4 572 41.86 |
| 8. Tesis servisleri | 1 x 0.11 | 4 572 41.86 |
| 9. Yerleşim olanakları | 1 x 0.105 | 4 364 58.14 |
| 10. İnş. alanı düzenleme ve konstrüksiyon | 1 x 0.11 | 4 572 41.86 |
| 11. Müh. ve konstrüksiyon proje | 1 x 0.315 | 13 093 74.42 |
| 12. Toplam sabit yatırım maliyeti | 1+2+3+4+5+6+ 7+8+9+10+11 | 11 638 883.74 |
| 13. İşletme sermayesi | 12 x 0.1 | 1 163 888.374 |
| 14. Toplam kapital yatırım | 12 + 13 | 12 802 772.11 |

Yukarıdaki yöntemle yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen toplam yatırım değeri \pm % 20 hata sınırları dahilinde hesaplanmıştır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Murgul - Çakınakkaya bakır cevherinin flotasyonu sonucunda elde edilen kesikli laboratuvar deney verileri kullanılarak, simulasyon ve iterasyon yöntemleri ile kapalı devre flotasyon deney sonuçları belirlenmiştir. Böylece yürütülmesi çok güç, zaman alıcı hatta bazı durumlarda imkansız olabilen kapalı devre flotasyon deneyleri yapılmaksızın, kapalı devre flotasyon deney sonuçları, flotasyon süreleri ve gerekli toplam selül hacimleri belirlenerek, bir bakır flotasyon tesisi dizayn edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen verilere dayanılarak tasarımı yapılan tesisin genel akım şeması ek 6'da verilmektedir.

Laboratuvarda gerçekleştirilen kesikli flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen ürünlerin tenörleri ile simulasyon ve iterasyon yöntemleriyle hesaplanan kapalı devre flotasyon deney sonuçlarına göre elde edilecek ürünlerin tenör değerleri aşağıda verilmektedir.

| Ürün | Kesikli Flot. Deneyleri Tenör Değerleri (% Cu) | Kapalı Dev. Flot. Deneyleri Tenör Değerleri (% Cu) |
|-------------------|---|---|
| Kaba Artık | 0.12 | 0.12 |
| Bulk Konsantre | 9.52 | 9.36 |
| Bakır Konsantresi | 24.44 | 18.64 |
| Pirit Konsantresi | 1.195 | 0.96 |

Kapalı devre flotasyon deneyleri sonucunda elde edilecek ürünlerin tenörleri ile kesikli flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen ürünlerin tenörleri kıyaslandığında, kapalı devre flotasyon deneyleri sonucunda elde edilecek tüm konsantre tenörlerinde bir miktar düşüş olduğu gözlenmektedir.

Simulasyon ve iterasyon yöntemleriyle hesaplanan ağırlık değerlerinde aşağıdaki verilerden de görülebileceği gibi bir miktar fark bulunmaktadır.

| Ürün | Simulasyon Ağ. Değ. t / h | İterasyon Ağ. Değ. t / h | Fark t / h |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|
| Kaba Artık | 414.95 | 414.94 | 0.01 |
| Bulk Konsantre | 59.09 | 59.06 | 0.03 |
| Bakır Konsantresi | 28.60 | 28.59 | 0.01 |
| Pirit Konsantresi | 30.47 | 30.46 | 0.01 |

Bakır flotasyonu tesis tasarımının yapılabilmesi için su, tenör ve kütle balansının kurulmasını takiben, flotasyon süreleri ve her bir devre için gerekli toplam selül hacimleri hesaplanmıştır. Aşağıda, simulasyon ve iterasyon yöntemleriyle hesaplanan flotasyon süreleri ve gerekli toplam selül hacimleri verilmektedir.

Kollektif aşama için:

| Devre | Simulasyon | | İterasyon | | Fark | |
|-----------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|
| | Flot. Süresi dk | Selül Hacmi m ³ | Flot. Süresi dk | Selül Hacmi m ³ | Süre dk | Hacim m ³ |
| Kaba | 5.75 | 193.61 | 5.72 | 192.52 | 0.03 | 1.09 |
| Süpürme | 6.36 | 166.32 | 6.29 | 164.42 | 0.07 | 1.9 |
| Temizleme | 9.74 | 73.23 | 9.74 | 73.33 | 0 | 0.1 |

Selektif aşama için:

| Devre | Simulasyon | | İterasyon | | Fark | |
|-----------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|
| | Flot. Süresi dk | Selül Hacmi m ³ | Flot. Süresi dk | Selül Hacmi m ³ | Süre dk | Hacim m ³ |
| Kaba | 19.75 | 444.18 | 19.75 | 445.18 | 0 | 1 |
| Süpürme 1 | 9.54 | 80.14 | 9.55 | 82.34 | 0.01 | 2.2 |
| Süpürme 2 | 14.94 | 53.49 | 15.07 | 52.94 | 0.13 | 0.5 |
| Temizleme | 2.76 | 43.27 | 2.76 | 43.52 | 0 | 0.25 |

Ağırlık değerleri ile toplam selül hacimleri arasındaki fark, su ve kütle balanslarının kurulması sırasında, iterasyon hesaplamaları için kullanılan bilgisayar programında, virgülden sonraki üçüncü rakamın tam sayıya tamamlanmasından kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki verilerden de görülebileceği gibi simulasyon ve iterasyon yöntemleri ile hesaplanan değerler arasında çok az farklılıklar görülmekle birlikte, değerler genelde birbirini tutmaktadır. Bu yöntemlerden elde edilen verilerin ışığında dizayn edilen tesis ile Murgul - Çakmakaya bakır zenginleştirme tesisi arasında bir kıyaslama yapılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi mümkündür.

İlgili yöntemlerle yapılan hesaplamalar sonucunda, artıktaki bakır kaçağı % 0.12 Cu ve artık miktarı 414.9 t / h olarak bulunmuştur. Tesiste kullanılan ortalama cevher tenörü

% 1 Cu, artıktaki bakır kaçağı % 0.1 Cu ve artık miktarı 429 t / h 'dir. Bu verilere bağlı olarak, tesis değerleri ile hesaplanan değerler arasında artıktaki metal kaybı açısından, %1'lik bir fark olduğu gözlenmektedir.

Kollektif aşama da, tasarımı yapılan tesis için kaba devre flotasyon süresi 5.7 dk, süpürme devresi flotasyon süresi 6.3 dk olarak hesaplanmıştır. Murgul - Çakmakkaya bakır zenginleştirme tesisinde ise, kaba devre flotasyon süresi 6.2 dk, süpürme devresi flotasyon süresi 6.72 dk'dır. Flotasyon sürelerinin yaklaşık olarak birbirini tutmasına rağmen, gerekli selül hacmi açısından bir kıyaslama yapıldığında hesaplanan selül hacmi değerlerinin tesise nazaran fazla olduğu görülmektedir. Tesiste kullanılan toplam selül hacimleri süpürme ve kaba devrelerin her biri için 153 m³ 'tür. Buna karşılık yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılması gereken toplam selül hacmi, kaba devre için 192.52 m³, süpürme devresi için ise 164.42 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu durum devreden ürün miktarının tesise nazaran fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim, ilk besleme miktarı, her iki tesis için de 474 t / h olmasına rağmen, sistemin kapalı devre haline gelmesiyle oluşan yeni besleme miktarı, tesiste 525 t / h, tasarımı yapılan tesis de ise 568 t / h 'dir.

Kollektif aşama sonucunda elde edilen bulk konsantrenin tenörü % 9.36 Cu, miktarı ise 59 t/h 'dir. Bu verilere göre kollektif aşama randımanı % 91.83 olarak hesaplanmıştır. Tesiste ise bulk konsantre miktarı 45 t/h, tenörü % 9.5 Cu ve kollektif aşama randımanı % 90.19'dur.

Laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerde kollektif aşamada yalnızca tek temizleme devresi kullanılarak % 9.36 Cu içeren bulk konsantre üretilmiştir. Buna karşılık tesiste yaklaşık % 9.5 Cu içerecek şekilde üretilen bulk konsantre iki adet temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Laboratuvarda tek temizleme ile elde edilen bulk konsantre tenörünün tesiste iki temizleme devresi sonucunda elde edilen bulk konsantre tenörüne yakın olduğu gözlenmektedir. Bu durumun laboratuvarda daha düşük katı oranıyla çalışılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim, laboratuvarda temizleme devresinde % 10 katı oranıyla çalışılırken tesiste birinci temizleme devresinde % 16, ikinci temizleme devresinde ise % 18 katı oranıyla çalışılmıştır. Bu durum ilk bakışta bir avantaj olarak görülebilir. Ancak, gerekli selül hacmi açısından bir kıyaslama yapıldığında, tesiste her iki temizleme devresi için toplam 51 m³'lük selül kullanıldığı buna karşılık % 10 katı oranıyla çalışılması halinde gerekli olan selül hacminin 73.3 m³ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan temizleme devresi flotasyon süresi 9.74 dk, tesiste her iki temizleme devresi için gerçekleştirilen toplam flotasyon süresi ise 9.23 dk 'dır. Sonuç olarak, tesisteki gibi yüksek katı oranıyla çalışılarak iki aşama temizleme yapılmasının daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Murgul - Çakmakkaya bakır zenginleştirme tesisinde, selektif aşama kaba devre flotasyon süresi 19.6 dk, süpürme devresi flotasyon süresi ise 24.8 dk'dır. Yapılan

hesaplamalar sonucunda kaba devre flotasyon süresi 19.7 dk, süpürme devreleri toplam flotasyon süresi (Süpürme 1, Süpürme 2) 24.5 dk olarak belirlenmiştir. Hesaplanan flotasyon sürelerinin tesis ile yaklaşık uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir. Ancak, buna rağmen gerekli selül hacmi açısından bir kıyaslama yapıldığında, arada büyük fark olduğu görülmektedir. Bu durum tesise nazaran devreden yük miktarının fazla olmasının yanı sıra daha düşük katı oranlarıyla çalışılmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan hesaplamalarla, temizleme devresi sonunda elde edilecek bakır konsantrisinin tenörü % 18.64 Cu, miktarı ise 28.6 t / h olarak belirlenmiştir. Buna karşılık tesiste üretilen bakır konsantrisinin miktarı 20.6 t / h, tenörü % 20 Cu 'dur. Bu sonuçlara bağlı olarak tesiste bakır kazanma verimi % 87 iken, tasarımı yapılan tesis için bakır kazanma verimi % 90 olarak bulunmuştur. Tesiste % 20 Cu içerecek şekilde üretilen bakır konsantrisi üç aşamalı temizleme işlemine tabi tutulmaktadır. Laboratuvarda yapılan deneylerde ise tek aşama temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizleme sayısını artırarak konsantrite tenörünü yükseltmek mümkündür.

Sonuç olarak ifade edilebilirki; kapalı devre flotasyon deneyleri yapılmadan önce, uygulaması daha basit olan kesikli flotasyon deneylerinden elde edilen verileri kullanarak, simulasyon ve iterasyon yöntemleri ile kapalı devre flotasyon deney sonuçlarının belirlenmesi, kapalı devre flotasyon deneyleri sırasında ortaya çıkabilecek problemlerin tesbit edilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca bu yöntemler kullanılarak alternatif akım şemalarının karşılaştırılması ve çalışan bir tesisin düzenini bozmaksızın proses analizi yapılabilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Agar, G.E., Crawley, R.S., and Bruce, T.J., 1980. "Optimizing the design of Flotation Circuits ", CIM Bulletin, December, p. 173.
2. Nishimura, S., Hirose, H., Shobu, K. and Jimnaı , K., 1989. " Analytical Evaluation of Locked Cycle Flotation Tests ", İnt. Journal of Min. Proc. 27, p. 39 - 50 Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam.
3. Çilek, E. C., Yamık, A., 1995 " Flotasyonda Kapalı Devre Oluşturma ve Ölçek Büyütme" Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu. Syf 227-273 D.E.Ü Müh. Fak. Mad. Müh. Bölümü Bornova İZMİR.
4. Lynch, A. J., 1981. " Mineral and Coal Flotation Circuits - Their Simulation and Control " Elsevier, NewYork.
5. Önal, G., Ateşok, G., 1994. " Cevher Hazırlama El Kitabı " Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı. 511s. İstanbul.
6. Reuter, M. A., Deventer, J. S. J., 1992. " The Simulation and İdentification of Flotation Processes by Use of a Knowledge Based Model ", İnt. Journal of Min. Proc. 35, p 13-45,Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam.
7. Çilingir, Y., 1990. " Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri " Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
8. Glembotskii, V. A., 1972. " Flotation " Primary Sources Newyork.
9. Gaudin, A. M., 1957. "Flotation " Mc Graw Hill Book Co., Newyork.
10. Atak, S., 1974. " Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması " İ.T.Ü. Yayınları 101, İstanbul
11. Karahan, S., " Bakır Hidrometalurjisi ve Flotasyonu " T.M.M.O.B Maden Müh. Odası, Şafak Matbaası, Ankara.
12. Ayışkan, Ö., 1974. " Sülfürlü Bakır Cevherleri ve Cevher Zenginleştirme Yöntünden Problemleri " Madencilik Dergisi Bakır Özel Sayısı.
13. Kılavuz, O., 1987. " Bakır Raporu " D.P.T. Ankara
14. Demiröz, A. H., 1987. " Murgul Çakmakkaya Flotasyon Tesisinde Bakır Konsantre Tenörünün Artırılmasının Araştırılması " D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Mad. Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir.
15. Yayın Kurulu, 1974. " Karadeniz Bakır Projesi Tanıtımı " Maden Mühendisleri Odası, Bakır Özel Sayısı, Ankara
16. Uslu, M., 1993. " K.B.İ. Murgul - Çakmakkaya Bakır Zenginleştirme Tesisi " Staj Defteri.
17. Mordoğan, H., 1985. " Karadeniz Bölgesi Kompleks Bakırlı Cevherlerden Bazı Metallerin Kazanılmasında Optimal Koşulların Saptanması " E. Ü. Fen Fakültesi, Doktora Tezi, İzmir.

18. Wills, B. A., 1985. " Mineral Processing Technology " Pergamon Press İngiltere
19. King, R. P., 1976. " The Use of Simulation in the desing and modification of Flotation Plants"Flotation, A.M. Gaudin Memorial Volume, AIME, Newyork Vol 2, pp 937-962
20. Lynch, A. J., Lees, M. J., 1985. " Simulation and Modeling " SME Mineral Processing Handbook, AIME, Newyork, pp. 3A - 28 -3A-55.
21. Agar, G. E., 1982. "Bench - Scale Simulation of Flotation Plant Performance " CIM Bulletin, December, p. 93.
22. Agar, G. E., 1985. " The Optimization of Flotation Circuit Design From Laboratory Rate Data " XV Int. Miner Process Congr., Cannes.
23. Yalçın, M.,1992."Kapalı Devre Flotasyon Deney Sonuçlarının Önceden Tahmininde Kullanılan Eşitliklerin Analitik Çözümleri " Madencilik dergisi, Sayı 3, Sayfa 27 - 32
24. Macdonald, R. D., Hellyer, W. C. and Harper, R.W., 1985. " Process Development testing" (Weiss, N. L., - ed) p. 116 SME Mineral Processing Handbook. American Institue of Mining, Metalurgical and Petroleum Engineers, Inc., Newyork.
25. Herbst, J. A., Mular, A. l., 1980. " Modeling and Simulation of Mineral Processing Unit Operations", p. 823 - 836 Computer Methods for the 80's in the Mineral Industry, SME / AIME, Newyork.
26. Yamık, A., 1992. " Cevher Hazırlama Tesis Dizaynı ", SDÜ Müh. Fak. Isparta.
27. Akar, A., 1985. " Cevher Hazırlama Tesis ve Dizaynı ", DEÜ Müh. Fak. Yayını MM /MAD 85 EY 01, İzmir.
28. Mular, L. A., " Mineral Processing Plant Desing " SME 1908 p 3 - 200, Newyork.
29. Akar, A., Kemal, M., Malayoğlu, U., Seyrankaya, A., 1994. " Gördes - Köprübaşı Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesinin Araştırılması",Sy 459-471 Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. 15. Yıl Sempozyumu. Adana

| Trade Name | Model No | Tank internal dimensions | | | | | | | impeller power | |
|------------|-----------|--------------------------|--------------|-------------|------------------|--------------|---------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| | | Length L (m) | Width W (m3) | Depth D (m) | Pulp Volume (m3) | Surface area | Specific area | Specific length | Motor kW | Specific Consumpt kW/ m3 |
| Aker | FM12 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 1.00 | 1.33 | 1.33 | | 1.7-2.0 |
| | FM13 | 1.45 | 1.45 | 1.00 | 2.10 | 2.10 | 1.00 | 0.69 | | 1.5 |
| | FM15 | 1.90 | 1.90 | 1.40 | 5.10 | 3.61 | 0.71 | 0.37 | | |
| | FM150 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 10.4 | 5.76 | 0.55 | 0.23 | | 1.4 |
| | FM120 | 3.00 | 3.00 | 2.25 | 20.3 | 9.00 | 0.44 | 0.15 | | |
| | FM140 | 3.75 | 3.75 | 2.85 | 40.0 | 14.1 | 0.35 | 0.094 | | 1.1 |
| Booth | 48 | 1.22 | 1.22 | 0.61 | 1.1 | 1.49 | 1.35 | 1.11 | 5.5 | 4.4 |
| | 66 | 1.68 | 1.68 | 0.84 | 1.8 | 2.82 | 1.57 | 0.93 | 11 | 4.9 |
| | 96 | 2.44 | 2.44 | 1.22 | 6.4 | 5.95 | 0.93 | 0.38 | 30 | 3.8 |
| | 120 | 3.05 | 3.05 | 1.52 | 14.2 | 9.30 | 0.65 | 0.21 | 45 | 2.5 |
| Denver | 100 | 1.53 | 1.57 | 1.21 | 2.8 | 2.46 | 0.88 | 0.56 | 11 | 3.1 |
| D - R | 180 | 1.82 | 1.82 | 1.62 | 5.1 | 3.31 | 0.65 | 0.36 | 15 | 2.4 |
| Mineral | 300 | 2.23 | 2.23 | 1.82 | 8.5 | 4.97 | 0.58 | 0.26 | 22 | 2.1 |
| | 500 | 2.69 | 2.69 | 2.01 | 14.2 | 7.24 | 0.51 | 0.19 | 30 | 1.7 |
| | 1275 | 4.26 | 3.45 | 2.59 | 36.1 | 14.7 | 0.41 | 0.12 | 55 | 1.2 |
| Denver | 100 | 1.57 | 1.57 | 1.21 | 2.8 | 2.46 | 0.88 | 0.56 | 7.5 | 2.1 |
| D -R | 180 | 1.82 | 1.82 | 1.62 | 5.1 | 3.31 | 0.65 | 0.36 | 11 | 1.7 |
| Coal | 300 | 2.23 | 2.23 | 1.82 | 8.5 | 4.79 | 0.58 | 0.26 | 18.5 | 1.5 |
| | 500 | 2.69 | 2.69 | 2.01 | 14.2 | 7.24 | 0.51 | 0.19 | 22 | 1.2 |
| Agitatair | 78Ax200 | 1.98 | 1.98 | 1.45 | 5.7 | 3.92 | 0.69 | 0.35 | 11 | 1.5 |
| Mineral | 90Ax300 | 2.29 | 2.29 | 1.73 | 8.5 | 5.24 | 0.62 | 0.27 | 18.5 | 1.7 |
| | 102Ax500 | 2.74 | 2.74 | 2.01 | 14.2 | 7.51 | 0.53 | 0.19 | 30 | 1.7 |
| | 144Ax1000 | 3.58 | 3.30 | 2.24 | 28.3 | 11.8 | 0.42 | 0.13 | 45 | 1.3 |
| | 165Ax1500 | 4.21 | 3.66 | 2.98 | 42.5 | 15.4 | 0.36 | 0.099 | 55 | 1.1 |
| Agitatair | 90Cx300 | 2.29 | 2.29 | 1.73 | 8.5 | 5.24 | 0.62 | 0.27 | 15 | 1.4 |
| Coal | 102Cx500 | 2.74 | 2.74 | 2.01 | 14.2 | 7.51 | 0.53 | 0.19 | 18 | 1.0 |
| | 144Cx1000 | 3.58 | 3.30 | 2.13 | 28.3 | 11.8 | 0.42 | 0.13 | 30 | 0.8 |
| Sala | AS3-1 | 1.76 | 0.88 | 0.77 | 1.2 | 1.55 | 1.29 | 1.47 | 4 | 2.3 |
| | AS2-1 | 2.47 | 1.24 | 0.87 | 2.7 | 3.06 | 1.13 | 0.91 | 11 | 2.9 |
| | AS2-4 | 2.47 | 1.24 | 1.32 | 4.0 | 3.06 | 0.77 | 0.62 | 11 | 1.9 |
| | AS2-6 | 3.48 | 1.74 | 1.06 | 6.6 | 6.06 | 0.92 | 0.53 | 22 | 2.3 |
| | AS2-9 | 3.48 | 1.74 | 1.51 | 9.1 | 6.06 | 0.67 | 0.38 | 22 | 1.7 |
| | AS2-12 | 4.26 | 2.13 | 1.28 | 12 | 9.07 | 0.76 | 0.36 | 37 | 2.2 |
| | AS2-15 | 4.26 | 2.13 | 1.63 | 15 | 9.07 | 0.60 | 0.28 | --- | --- |
| | AS2-18 | 4.92 | 2.46 | 1.44 | 18 | 12.1 | 0.67 | 0.27 | 44/60 | 1.7/2.3 |
| | AS2-22 | 4.92 | 2.46 | 1.79 | 22 | 12.1 | 0.55 | 0.22 | 44/60 | 1.4/1.9 |
| | AS2-28 | 5.62 | 2.46 | 1.79 | 28 | 13.8 | 0.49 | 0.20 | 44/60 | 1.1/1.5 |
| AS4-36 | 4.92 | 4.92 | 1.44 | 36 | 24.2 | 0.67 | 0.14 | 88/120 | 1.7/2.3 | |
| | AS4-44 | 4.92 | 4.92 | 1.79 | 44 | 24.2 | 0.55 | 0.11 | 88/120 | 1.4/1.9 |
| Wemco | 44 | 1.12 | 1.12 | 0.51 | 0.57 | 1.25 | 2.19 | 1.96 | 3.75 | 3.9 |
| | 56 | 1.42 | 1.42 | 0.61 | 1.1 | 2.02 | 1.84 | 1.29 | 5.5 | 3.8 |
| | 66 | 1.52 | 1.68 | 0.69 | 1.7 | 2.55 | 1.50 | 0.89 | 7.5 | 3.5 |
| | 66D | 1.52 | 1.68 | 1.19 | 2.8 | 2.55 | 0.91 | 0.54 | 7.5 | 2.1 |
| | 84 | 1.60 | 2.13 | 1.35 | 4.2 | 3.41 | 0.81 | 0.38 | 11 | 2.1 |
| | T20 | 2.29 | 3.05 | 1.35 | 8.5 | 6.98 | 0.82 | 0.27 | 22 | 2.1 |
| | T44 | 2.74 | 3.66 | 1.60 | 14.2 | 10.0 | 0.70 | 0.19 | 30 | 1.7 |
| | T64 | 3.02 | 4.17 | 2.36 | 28.3 | 12.6 | 0.45 | 0.11 | 45/55 | 1.3/1.6 |
| Hurnbeldt | 3 | -- | -- | 1.20 | 3 | 3.53 | 1.18 | -- | 45 | 4.0 |
| Wedag | 5 | -- | -- | 1.50 | 5 | 5.51 | 1.10 | -- | 18 | 3.0 |
| | 8 | 2.20 | 3.80 | 1.20 | 8 | 8.36 | 1.05 | 0.28 | 30 | 3.0 |
| | 10 | 2.37 | 4.10 | 1.30 | 10 | 9.72 | 0.97 | 0.24 | 36 | 2.4 |
| Krupp | TR5000 | 1.82 | 2.77 | 1.60 | 5 | 5.04 | 1.00 | 0.32 | 15 | 2.4 |

Ek 1. Mekanik Flotasyon Makinalarının karakteristikleri

| Değirmen çapı | | | | Değirmen uzunluğu | | Bilya boyutu | | Değirmen hızı | | Bilya yük ağırlığı | | | | DEĞİRMEN | | | GÜCÜ | | | Astarlı değirmen çapı | | | |
|---------------|------|------|------|-------------------|-----|--------------|------|---------------|------|--------------------|--------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|-----------------------|------|------|------|
| m | ft | m | ft | m | ft | ton | | RPM. | % C | ••FFN | s. ton | | | % hacimsel yük | | | % hacimsel yük | | | m | ft | | |
| | | | | | | 35 | 40 | | | | 45 | 35 | 40 | 45 | 35 | 40 | 45 | 35 | 40 | | | 45 | |
| 0.91 | 3.0 | 0.91 | 3.0 | 50 | 2.0 | 38. | 9.9 | 394 | 0.68 | 0.77 | 0.87 | 0.75 | 0.85 | 0.96 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 0.76 | 2.5 | |
| 1.22 | 4.0 | 1.22 | 4.0 | 50 | 2.0 | 32.4 | 79.1 | 356 | 1.77 | 2.02 | 2.28 | 1.95 | 2.23 | 2.51 | 19 | 20 | 21 | 22 | 24 | 25 | 1.07 | 3.5 | |
| 1.52 | 5.0 | 1.52 | 5.0 | 50 | 2.0 | 28.2 | 78.1 | 393 | 3.66 | 4.13 | 4.71 | 4.03 | 4.61 | 5.19 | 42 | 45 | 47 | 49 | 52 | 54 | 1.37 | 4.5 | |
| 1.83 | 6.0 | 1.83 | 6.0 | 50 | 2.0 | 25.5 | 78.0 | 411 | 6.56 | 7.50 | 8.44 | 7.23 | 8.27 | 9.30 | 80 | 85 | 89 | 93 | 99 | 103 | 1.68 | 5.5 | |
| 2.13 | 7.0 | 2.13 | 7.0 | 50 | 2.0 | 23.2 | 77.2 | 474 | 10.7 | 12.3 | 13.8 | 11.6 | 13.5 | 15.2 | 137 | 145 | 151 | 158 | 168 | 175 | 1.98 | 6.5 | |
| 2.44 | 8.0 | 2.44 | 8.0 | 50 | 2.0 | 21.3 | 76.1 | 592 | 16.2 | 18.6 | 21.0 | 17.9 | 20.5 | 23.1 | 215 | 228 | 237 | 249 | 265 | 275 | 2.29 | 7.5 | |
| 2.74 | 9.0 | 2.74 | 9.0 | 50 | 2.0 | 20.4 | 75.3 | 513 | 18.5 | 21.1 | 23.8 | 20.4 | 23.3 | 26.2 | 250 | 266 | 277 | 290 | 303 | 321 | 2.44 | 8.0 | |
| 2.89 | 9.5 | 2.71 | 9.0 | 50 | 2.0 | 19.7 | 75.0 | 526 | 23.5 | 26.9 | 30.2 | 25.9 | 28.5 | 33.3 | 222 | 242 | 256 | 273 | 297 | 313 | 2.55 | 8.5 | |
| 3.05 | 10.0 | 3.05 | 10.0 | 50 | 2.0 | 18.65 | 75.0 | 541 | 26.4 | 30.1 | 33.9 | 29.1 | 33.2 | 37.4 | 367 | 390 | 406 | 425 | 453 | 471 | 2.71 | 9.0 | |
| 3.20 | 10.5 | 3.05 | 10.0 | 50 | 2.0 | 18.15 | 75.0 | 570 | 32.7 | 37.3 | 42.0 | 36.0 | 41.1 | 46.3 | 462 | 491 | 512 | 535 | 570 | 593 | 2.83 | 9.5 | |
| 3.35 | 11.0 | 3.35 | 11.0 | 50 | 2.0 | 17.3 | 72.8 | 565 | 33.0 | 40.2 | 45.4 | 39.9 | 45.6 | 51.2 | 519 | 552 | 575 | 602 | 640 | 667 | 3.05 | 10.0 | |
| 3.51 | 11.5 | 3.35 | 11.0 | 50 | 2.0 | 16.75 | 72.2 | 571 | 43.1 | 54.0 | 60.8 | 54.1 | 59.5 | 67.0 | 674 | 719 | 747 | 782 | 832 | 867 | 3.17 | 10.1 | |
| 3.66 | 12.0 | 3.66 | 12.0 | 50 | 2.0 | 16.3 | 71.8 | 581 | 56.4 | 64.4 | 72.5 | 62.2 | 71.0 | 79.9 | 812 | 864 | 909 | 942 | 1003 | 1041 | 3.32 | 10.9 | |
| 3.81 | 12.5 | 3.66 | 12.0 | 50 | 2.0 | 15.95 | 71.8 | 596 | 61.4 | 70.2 | 79.0 | 67.7 | 77.4 | 87.1 | 896 | 954 | 993 | 1040 | 1106 | 1152 | 3.47 | 11.4 | |
| 3.96 | 13.0 | 3.96 | 13.0 | 50 | 2.0 | 15.60 | 71.7 | 607 | 72.3 | 82.7 | 92.6 | 79.7 | 91.1 | 102 | 1063 | 1130 | 1177 | 1233 | 1311 | 1365 | 3.63 | 11.9 | |
| 4.12 | 13.5 | 3.96 | 13.0 | 64 | 2.5 | 15.30 | 71.7 | 620 | 78.2 | 89.4 | 99.3 | 86.2 | 98.5 | 111 | 1183 | 1266 | 1321 | 1379 | 1469 | 1532 | 3.78 | 12.4 | |
| 4.27 | 14.0 | 4.27 | 14.0 | 64 | 2.5 | 14.8 | 70.7 | 623 | 90.7 | 104 | 117 | 100 | 115 | 129 | 1375 | 1461 | 1527 | 1595 | 1693 | 1771 | 3.93 | 12.9 | |
| 4.42 | 14.5 | 4.27 | 14.0 | 64 | 2.5 | 14.55 | 70.8 | 635 | 98.0 | 112 | 126 | 108 | 123 | 139 | 1492 | 1598 | 1656 | 1730 | 1842 | 1921 | 4.08 | 12.9 | |
| 4.57 | 15.0 | 4.57 | 15.0 | 64 | 2.5 | 14.1 | 69.8 | 638 | 113 | 129 | 144 | 124 | 142 | 159 | 1707 | 1817 | 1893 | 1980 | 2107 | 2195 | 4.24 | 13.9 | |
| 4.72 | 15.5 | 4.57 | 15.0 | 64 | 2.5 | 13.85 | 69.8 | 648 | 121 | 138 | 155 | 133 | 152 | 171 | 1838 | 1956 | 2037 | 2132 | 2264 | 2363 | 4.39 | 14.4 | |
| 4.83 | 16.0 | 4.83 | 16.0 | 64 | 2.5 | 13.45 | 68.9 | 651 | 137 | 157 | 179 | 151 | 173 | 194 | 2084 | 2217 | 2303 | 2417 | 2571 | 2678 | 4.54 | 14.9 | |
| 5.03 | 16.5 | 4.83 | 16.0 | 64 | 2.5 | 13.2 | 68.7 | 653 | 146 | 167 | 188 | 161 | 181 | 207 | 2229 | 2370 | 2468 | 2595 | 2750 | 2863 | 4.69 | 15.4 | |
| 5.18 | 17.0 | 5.18 | 17.0 | 75 | 3.0 | 13.0 | 68.7 | 670 | 165 | 189 | 212 | 182 | 208 | 234 | 2535 | 2764 | 2883 | 3010 | 3296 | 3344 | 4.85 | 15.9 | |
| 5.33 | 17.5 | 5.18 | 17.0 | 75 | 3.0 | 12.7 | 68.1 | 671 | 176 | 201 | 226 | 194 | 221 | 249 | 2750 | 2929 | 3053 | 3190 | 3397 | 3542 | 5.00 | 16.4 | |
| 5.49 | 18.0 | 5.49 | 18.0 | 75 | 3.0 | 12.4 | 67.5 | 678 | 197 | 225 | 253 | 217 | 248 | 279 | 3077 | 3276 | 3414 | 3563 | 3809 | 3961 | 5.15 | 16.9 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.30 | 17.4 |

*: RPM = D/dk , ft : FFN = feet/dk

Ek 2. Bilyalı değirmen hızı, gücü ve kritik hız değerleri (26).

| DEGIRMEN ÇAPI | | ASTARLI DEGIRMEN ÇAPI | | ÇAP ETKİNLİK FK. |
|---------------|-------|-----------------------|------|------------------|
| Ft | m | Ft | m | |
| 3.0 | 0.914 | 2.6 | 0.79 | 1.25 |
| 3.281 | 1.0 | 2.88 | 0.88 | 1.23 |
| 4.0 | 1.22 | 3.6 | 1.10 | 1.17 |
| 5.0 | 1.52 | 4.6 | 1.4 | 1.12 |
| 6.0 | 1.83 | 5.6 | 1.71 | 1.075 |
| 6.562 | 2.0 | 5.96 | 1.82 | 1.06 |
| 7.0 | 2.13 | 6.5 | 1.98 | 1.042 |
| 8.0 | 2.44 | 7.5 | 2.29 | 1.014 |
| 8.5 | 2.59 | 8.0 | 2.44 | 1.00 (Baz) |
| 9.0 | 2.74 | 8.5 | 2.59 | 0.992 |
| 9.5 | 2.90 | 9.0 | 2.74 | 0.972 |
| 9.843 | 3.0 | 9.34 | 2.85 | 0.970 |
| 10.0 | 3.05 | 9.5 | 2.90 | 0.966 |
| 10.5 | 3.20 | 10.0 | 3.05 | 0.956 |
| 11.0 | 3.35 | 10.5 | 3.20 | 0.948 |
| 11.5 | 3.51 | 11.0 | 3.35 | 0.939 |
| 12.0 | 3.66 | 11.5 | 3.51 | 0.931 |
| 12.5 | 3.81 | 12.0 | 3.66 | 0.923 |
| 13.0 | 3.96 | 12.5 | 3.81 | 0.914 |
| 13.124 | 4.0 | 12.62 | 3.85 | 0.914 |

Ek 3. Çap Etkinlik Faktörleri (26).

| Ekipman | X | X'in Birimi | X'in Aralığı | a | b |
|-------------------|-----------------------|--|------------------|------|------|
| Kon. Kırıcı | Çıkış halka çapı | ft | 2 - 7 | 4154 | 1.80 |
| Gyratory Kırıcı | Giriş açıklığı | inch ² | 30 x 55-60 x 109 | 3.58 | 1.41 |
| Çeneli Kırıcı | Giriş açıklığı | inch ² | 15 x 24- 60 x 48 | 6.0 | 1.28 |
| Çekiçli Kırıcı | Giriş açıklığı | inch ² | 6 x 4 - 46 x 60 | 217 | 0.67 |
| Bilyalı Değ. | Motor gücü | HP | 40 - 1750 | 3410 | 0.54 |
| Çubuklu Değ. | Motor gücü | HP | 50 - 1500 | 2955 | 0.57 |
| Siklonlar | Çap | inch | 6 - 30 | 132 | 0.91 |
| Pompa | Kapasite | | 250 - 5000 | 31 | 0.64 |
| Toz Tutucu | Kapasite | ft ³ / dk | 1000 - 2000 | 10.6 | 0.72 |
| Tit. Elek | Elek alanı | ft ² | 6 x 16 - 8 x 20 | 376 | 0.76 |
| Spiral Klasifi. | Spiral Çapı | inch | 24 - 78 | 30 | 1.53 |
| Sallantılı Masa | Yüzey alanı | ft ² | 24 - 90 | 618 | 0.35 |
| Flotasyon Selülu | Hacim | ft ³ | 100 - 300 | 71 | 0.74 |
| jig | Kapasite | ton / gün | 45 - 400 | 1120 | 0.17 |
| Karıştırma Tankı | Hacim | (m ³ / sn) / (6.3x 10 ⁻⁵) | 100 - 250 000 | 44 | 0.53 |
| Disk Filtre | Filtre alanı | ft ² | 22 - 1800 | 1194 | 0.44 |
| Tambur Filtre | Filtre alanı | ft ² | 12 - 720 | 4331 | 0.33 |
| Tikner | Çap | ft | 10 - 225 | 147 | 1.38 |
| Tit. Besleyici | Besleyici alanı | inch ² | 28880 - 18824 | 1.28 | 0.99 |
| 36" Band Kon. | Merkezler ar. uzaklık | ft | 200 - 1000 | 34 | 1.13 |
| Motor (1800 d/dk) | HP | HP | 250 - 600 | 15.3 | 1.11 |

Ek 4. Temel Ekipman Maliyet Verileri (26)

ÖZGEÇMİŐ

Maden Mühendisi Vildan ÇAKIN

31 Mart 1972 tarihinde Isparta da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Isparta da tamamladı. 1988 yılında girdiği üniversite sınavında Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. Aynı okuldan 4. 11. 1992 tarihinde mezun oldu. Halen Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans yapmaktadır.

