

**BAKIR CÜRUFU FLOTASYONUNDA İKİ FARKLI TOPLAYICI
KULLANIMININ UÇ TANE BOYLARI VERİMLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TWO DIFFERENT
COLLECTOR USAGE ON RECOVERIES OF THE EXTREME
PARTICLE SIZES IN COPPER SLAG FLOTATION**

KEMAL CAN YILMAZ

**DOÇ. DR. İLKAY BENGÜ ÇELİK
TEZ DANIŞMANI**

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

2018

Kemal Can Yılmaz'ın hazırladığı “**Bakır Cürufu Flotasyonunda İki Farklı Toplayıcı Kullanımının Uç Tane Boyları Verimlerine Etkisinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. N. Emre ALTUN
Başkan



Doç. Dr. İlkay B. CAN
Danışman



Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Özlem BIÇAK
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Okay ALTUN
Üyesi



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ **Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren Ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

03 /10 /2018



Kemal Can Yılmaz

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. Şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü ve fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7. 2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

01.10.2018

KEMAL CAN YILMAZ



ÖZET

BAKIR CÜRUF FLOTASYONUNDA İKİ FARKLI TOPLAYICI KULLANIMININ UÇ TANE BOYLARI VERİMLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kemal Can Yılmaz

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İlkay B. ÇELİK

Eylül 2018

Bu tezde Eti Bakır İzabesi cürufları flotasyonunda, karışım toplayıcı kullanımının iri ve ince tane boylarındaki verime etkisi incelenmiştir. Tesis şartlarına benzetmek amacıyla iri boy +150 µm, ince boy -45 µm olarak tanımlanmıştır. Testlerde Samsun Eti Bakır Cüruf Flotasyon Tesisi beslemesi olan %80 flash fırın %20 konvertör cürufu karışımı kullanılmıştır. İlk aşamada öğütme testleri ile tanımlanan boylar için öğütme süreleri belirlenmiştir. Belirtilen tane boylarında ksantatlardan KAX ve SIPX ile kinetik testler yapılmış; ikili toplayıcı testlerinde kullanılmak üzere ana toplayıcı olarak SIPX seçilerek flotasyon süresi belirlenmiştir. İkinci aşamada iri ve ince boylarda seçilen Ksantat ile Merkaptobenzotiyozol (Cytec AP407), R-İzobütil Ditiyofosfat (Cytec 3477), Modifiyeli Tiyonokarbamat (Cytec XD5002) ve ikinci Ksantat (KEX) toplayıcılarıyla kinetik ve flotasyon testleri yapılmış, sonuçlar verim, tenör ve konsantre tane boyları açısından kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; SIPX (100 g/t) ve Ditiyofosfat (30 g/t) karışımının aşırı tenör kaybı yaşamadan verim artışı sağlamasından (R: %92,87; %Cu 11,46) dolayı bu yapıdaki cüruf için en uygun seçim olacağı görülmüştür. İnce boylarda da en yüksek verim SIPX ve Ditiyofosfat toplayıcı karışımında (R: %97,30, %Cu 8,19) alınmıştır. Ancak fark, ince test beslemelerinde iri boyların olmayışından ve Ditiyofosfatın verime pozitif etkisinin bu

boyları toplamasiyla sağlamasından dolayı iri boy test sonuçları kadar keskin değildir.

Anahtar Kelimeler: Toplayıcı Karışımı, Bakır Cürufu, Flotasyon, İzabe



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TWO DIFFERENT COLLECTOR USAGE ON THE RECOVERIES OF THE EXTREME PARTICLE SIZES IN COPPER SLAG FLOTATION

Kemal Can Yılmaz

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. İlkey B. ÇELİK

September 2018

In this thesis, the effect of mixed collector usage on the recovery of coarse and fine particle sizes on the slags of Samsun Eti Bakır Smelter was studied. In order to simulate the plant conditions, the coarse size was defined as +150 μm and the fine size as -45 μm . A slag sample which is composed of 80% flash furnace and 20% converter was used throughout the study. In first phase, grinding tests for defined sizes were conducted for the following flotation tests. Flotation kinetics tests conducted with KAX and SIPX to determine the main collector for specified particle sizes; the flotation time was determined by selecting SIPX as the main collector. In the second phase, the flotation tests were completed for both coarse and fine sizes with chosen Xanthate (SIPX) and Mercaptobenzothioazole (Cytec AP407), R-Isobutyl Dithiophosphate (Cytec 3477), Modified Thionocarbamate (Cytec XD5002) and a second xanthate being supplementary (KEX). Results were discussed in terms of recovery, grade and concentrate particle sizes. According to obtained results, SIPX (100 g/t) and Dithiophosphate (30 g/t) mixture was shown to be the best option for this type of slag as it effectively recovers coarse (R: %92,87; %Cu 11,46) and fine (R: %97,30, %Cu 8,19) at the highest recovery and grade. However the recovery difference in fine size is not as pronounced as the difference in the

coarse size between DTP and other secondary collectors. This is due to lack of coarse size in the fine test feed which the DTP is excel to recover and gain an edge in total recovery.

Key words: Collector mixture, Copper slag, Flotation, Smelter



İçindekiler

1. Giriş.....	1
2. Bakır Tarihi ve Kullanımı	2
2.1. Bakıra Dair Bilgiler	2
3. Bakır Üretim Yöntemleri	4
3.1. Pirometalürjik Yöntem	5
3.1.1. Sülfürlü Bakır Cevherlerinden Konsantre Üretimi.....	7
3.1.2. Ergitme ile Mat Üretimi.....	13
3.1.2.1. Kavurma.....	13
3.1.2.2. Ergitme.....	13
3.1.2.2.1. Flash Fırınlr	14
3.1.3. Konvertör ile Blister Üretimi.....	16
3.1.4. Pirometalürjik Yöntemde Kayıplar ve Geri Kazanım Yöntemleri	18
3.1.4.1. Toz Kayıpları ve Geri Kazanımları	18
3.1.4.2. Cüruf Kayıpları ve Geri Kazanımları.....	18
3.1.4.3. Cüruf Geri Kazanım Yöntemleri	20
3.1.5. Ateşle Arıtma ve Elektroliz ile Saflaştırma.....	22
3.1.5.1. Ateşle Arıtma.....	22
3.1.5.2. Elektroliz.....	22
3.2. Hidrometalürjik Yöntem	23
3.3. Diğer Bakır Üretim Yöntemleri.....	23
4. Sülfürlü Cevherlerin Flotasyonunda Toplayıcılar ve Karışımları	24
4.1. Sülfürlü Cevherlerde Kullanılan Toplayıcılar	25
4.2. Toplayıcı Karışımlarının Endüstride Kullanımları	26
5. Eti Bakır Samsun Bakır İzabe ve Elektroliz Tesisi	28
5.1. Samsun Cüruf Flotasyon Tesisi	28
6. Sonuç Tespiti.....	30

7. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	31
7.1. Malzeme ve Yöntem	31
7.2. Cüruf Karakterizasyonu.....	34
7.2.1 Kimyasal Özellikler.....	34
7.2.2 Mineralojik Özellikler	34
7.2.3 Cüruf Yoğunluğu	38
7.3. Öğütme Testleri.....	38
7.4. Kinetik Testler	39
7.5. Flotasyon Testleri.....	46
7.6. Bulgular ve Tartışma	48
7.6.1. Tek Toplayıcı Kinetik Testler	48
7.6.2 Çift Toplayıcı Kinetik Testler.....	48
7.6.3. Çift Toplayıcı Flotasyon Testleri	48
8. Sonuçlar	50
9. Öneriler.....	51
KAYNAKLAR.....	52
EKLER	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

İçindekiler	v
Çizelge 2.1. Bakırın kullanım tarihçesi	2
Çizelge 2.2 Bakır mineral türleri	3
Çizelge 3.1 İki flash fırın türünün karşılaştırılması	15
Çizelge 3.2 Flash fırın cürufu element içerikleri.....	18
Çizelge 3.3 Bazı cüruf flotasyon tesisi örnekleri	21
Çizelge 3.4 Örnek cüruf flotasyon tesisleri detayları.....	21
Çizelge 5.1 Tipik cüruf kimyasal içeriği.....	28
Çizelge 7.1 Cürufun kimyasal bileşimi.....	34
Çizelge 7.2. Bakır mineralleri bağıllık ilişkileri.....	37
Çizelge 7.3 Öğütme testleri tane boyu dağılımları	38
Çizelge 7.4 Tek toplayıcı testleri sonuçları	39
Çizelge 7.5 +150 mikron ikili toplayıcı kinetik testleri sonuçları	41
Çizelge 7.6 -45 mikron ikili toplayıcı kinetik testleri sonuçları	42
Çizelge 7.7 +150 mikron flotasyon testleri konsantre bilgileri	47
Çizelge 7.8 -45 mikron flotasyon testleri konsantre bilgileri.....	47
Çizelge 7.9 +150 mikron testlerin fraksiyonel verimleri.....	47
Çizelge 7.10 İnce boy testlerin fraksiyonel verimleri.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Bakır saflaştırma metotları	4
Şekil 3.2. Pirometalürjik bakır üretimi ve yaklaşık atık miktarları	6
Şekil 3.3 Hücre hacimlerinin yıllara göre artışı	9
Şekil 3.4 Flotasyon tankı	9
Şekil 3.5 Genel bakır flotasyon akım şemaları	10
Şekil 3.6 Örnek toplu flotasyon (Cu – Pb – Zn) akım şeması.....	10
Şekil 3.7 Örnek seçimli sülfür-sülfür flotasyon akım şeması.....	11
Şekil 3.8 Siirt Madenköy bakır zenginleştirme devresi akım şeması	12
Şekil 3.9 Flash fırın	17
Şekil 3.10 Pierce-Smith mat konvertörü	17
Şekil 3.11. Anot dökümü ve Elektroliz	22
Şekil 4.1 Genel toplayıcı sınıfları	24
Şekil 4.2 Sülfühidril toplayıcılar.....	26
Şekil 5.1 Eti Bakır Samsun cüruf flotasyon tesisi akım şeması	29
Şekil 7.1 Kinetik ve flotasyon test yöntemleri.....	33
Şekil 7.2 Bornit serbestleşme grafiği	35
Şekil 7.3 Kalkopirit serbestleşme grafiği.....	35
Şekil 7.4 Nabit Bakır serbestleşme grafiği.....	36
Şekil 7.5 Dijenit serbestleşme grafiği.....	36
Şekil 7.6 Öğütme testleri tane boyu-zaman grafiği.....	38
Şekil 7.7 100 g/t KAX ve SIPX iri ve ince kinetik test verim grafiği	39
Şekil 7.8 KAX ve SIPX +150 mikron kinetik test grafiği	40
Şekil 7.9 KAX ve SIPX -45 mikron kinetik test grafiği	40
Şekil 7.10 +150 mikron ikili toplayıcı kinetik test verim grafiği	41
Şekil 7.11. -45 mikron ikili toplayıcı kinetik test verim grafiği	41

Şekil 7.12. +150 mikron kinetik testleri su verimleri.....	42
Şekil 7.13 +150 mikron kinetik testleri katı verimleri.....	43
Şekil 7.14 -45 mikron kinetik testleri su verimleri.....	43
Şekil 7.15 -45 mikron kinetik testleri katı verimleri.....	44
Şekil 7.16 +150 mikron kinetik testleri su ve katı verimleri	44
Şekil 7.17 +45 mikron kinetik testleri su ve katı verimleri	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

pm	pikometre
μm	mikrometre
mm	milimetre
ppm	milyonda bir içerik (parts per million)
σ	standart sapma
Cu	Bakır
Zn	inko
Fe	Demir

Kısaltmalar

DTP	Ditiyofosfat
THC	Tiyonokarbamat
MCP	Merkaptobenzotiyooazol
MIBC	Metil izobütil Karbinol
KAX	Potasyum Amil Ksantat
SIPX	Sodyum Izopropil Ksantat
VMS	Volkanik Masif Sülfid

1. Giriş

Bakır insanlık tarihinde kullanılan ilk metallere dendir. Dövülebilir ve şekil verilebilir olmasının yanı sıra aşınmaya dayanıklı oluşu, ısı ve elektriği en iyi ileten ikinci metal olması, kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Bakır metali üretimi yapılırken izabe fırınlarında yaygın olarak flash fırın yöntemi kullanılır. Cürufun içerisindeki minerallerin büyük kısmını demir silikatlar ve demir oksitler oluştururken, geriye kalan kısmında bakır sülfür mineralleri bulunur. Bakır sülfürlerin miktarı fırındaki mat ve blisterin üretim saflığına bağlıdır. Cüruf içerisinde kalan toplam bakır miktarı, geri kazanımı çoğu zaman ekonomik kılmaktadır. Bu geri kazanım, sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde de yaygın olarak kullanılan flotasyon yöntemi ile yapılmaktadır.

Cürufun karakteristiği; öncelikle soğuma hızı [1] ve izabedeki işletme koşullarına göre değişmektedir. Bu durumdan dolayı, cüruf yapısında farklı serbestleşme boylarında, bakırın farklı mineralleri oluşmaktadır.

MTA tarafından, MLA ile yapılan kapsamlı mineralojik karakterizasyon çalışmalarında, ana gang mineralleri, demirce zengin cüruflarda görülen iskorit ($Fe^{2+}5Fe^{3+}2SiO_{10}$) ve manyetit (Fe_3O_4); bakır mineralleri ise kalkopirit ($CuFeS_2$), bornit (Cu_5FeS_4), nabit bakır (Cu) ve dijenit (Cu_9S_5) olarak belirlenmiştir [2]. Cüruf içerisindeki bakır yüksek verimde kazanmak için, iri ve ince boylardaki serbest olan farklı bakır minerallerini flotasyon ile konsantre etmek gerekmektedir.

Bu gereksinime cevap verecek koşulları sağlamak için tek toplayıcı yerine, literatürde farklı cevherlerde çalışması yapılmış ve katkıları; flotasyon kinetiğini arttırmak [3],[4], iri tanelerin kazanımını arttırmak [5], ve gerekli dozaj miktarını azaltmak [3],[6] olarak belirlenen karışım toplayıcıların kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmada; bakır cürufunun iri ve ince boy bakır minerallerinin, farklı gruptaki toplayıcı karışımları ile flotasyon davranımları araştırılmıştır. Bu kapsamda denenen Ksantat-Ksantat, Ksantat-Tiyonokarbamat, Ksantat-Ditiyofosfat ve Ksantat-Merkaptan toplayıcı karışımlarının ince (-20 μm) ve iri (+150 μm) tane boylarında tenör ve verim üzerinde yaptığı etkiler incelenmiştir.

2. Bakır Tarihi ve Kullanımı

2.1. Bakıra Dair Bilgiler

Bakır metali, dünya üzerinde en yaygın ve en eski (~M.Ö. 8000'den beri) kullanıma sahip olan metallere dendir. Bunun sebeplerinden bazıları: doğada nabit hâlde bulunabilmesi, dövülebilirliği, alaşım yapabilme yetkinliği ve iletkenliği ile ilk çağlardan beri ilgi çekmesidir.

Bakırın üretimi ve kullanımı, özellikle sanayi devriminden sonra elektrik endüstrisinin gelişmeye başlaması ile beraber hızla artmıştır. Bakırın özellikleri, bu metalin modern çağda da tercih edilir kalmasına yardımcı olmuştur. Çizelge 2.1'de tarih boyunca bakırın kullanıldığı başlıca olaylar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bakırın kullanım tarihçesi

Tarih	Bakırın Kullanımı
M.Ö. 9000	Keşif, madeni para ve takı yapımı (Çayönü Diyarbakır)
M.Ö. 3600	Bronz yapımı
M.Ö. 2500	Giza Piramidi İnşaatı [7]
M.Ö. 2000	Bakır kap ve kovaların kullanımı
M.Ö. 480	Salamis Deniz Muharebesi'nde Bronz Şahmerdan Kullanımı
1000	1000 yıl çalışacak olan İsveç Falu Bakır Madeni'nin Açılması
1492	Bakır levhalı 3 gemi ile Kristof Kolomb'un keşfe çıkması
1821	Faraday, elektrikli motorların temeli kabul edilecek, mıknatıs ve hareketli telden sürekli dönme hareketi elde edebileceğini gösterdi [8] [9]
1837	Amerikalı Thomas Davenport ilk elektrik motoru patentini aldı [8] [9]
1886	31 ton bakır kaplamasıyla Özgürlük Anıtı'nın kurulumu
2005	NASA'nın Tempel 1 asteroidini 349 kg bakır mermi ile vurması [10], [11]

Günümüzde, dünyadaki bakır cevher rezervinin 2,1 milyar ton metal olduğu ve bunun 1,8 milyar tonunun porfiri tip yatak olduğu belirtilmektedir [12]. Bazı önemli bakır yatakları; Kuzey ve Güney Amerika batı dağlık bölgesi (Amerikan Kordilerası), Güney Afrika bakır kuşağı ve Kazakistan-Özbekistan bölgesi olarak sıralanabilir.

Dünyanın $2,77 \times 10^{19}$ ton ağırlığındaki kabuk tabakasında 60 ppm [12] bakır bulunduğu belirtilmektedir. Diğer metal cevherlerinde de olduğu gibi, bakırın oluşturduğu mineraller dünya üzerinde dağınık olarak bulunur. Bir madenin ekonomikliği; yatağın toplam miktarı, bakır içeriği, işletme giderleri ve metal fiyatlarına bağlıdır. Günün teknolojisi ve ekonomik faktörler, madeni kârlı kılacak sınır tenör değerini belirler. Yüksek ve orta tenörlü maden yatakları tüketildikçe daha düşük tenörlü ki çoğunlukla porfiri tip olan madenler işletilmeye başlanacaktır. Günümüzde flotasyon tesisinin besleme tenörü, rezervi çok büyük, örneğin, 100 milyon tonun üzerinde olan porfiri cevherlerde %0,5 düzeyindedir [13].

Bakır mineralleri, zenginleştirme metoduna göre üç gruba ayrılabilir. Detaylar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

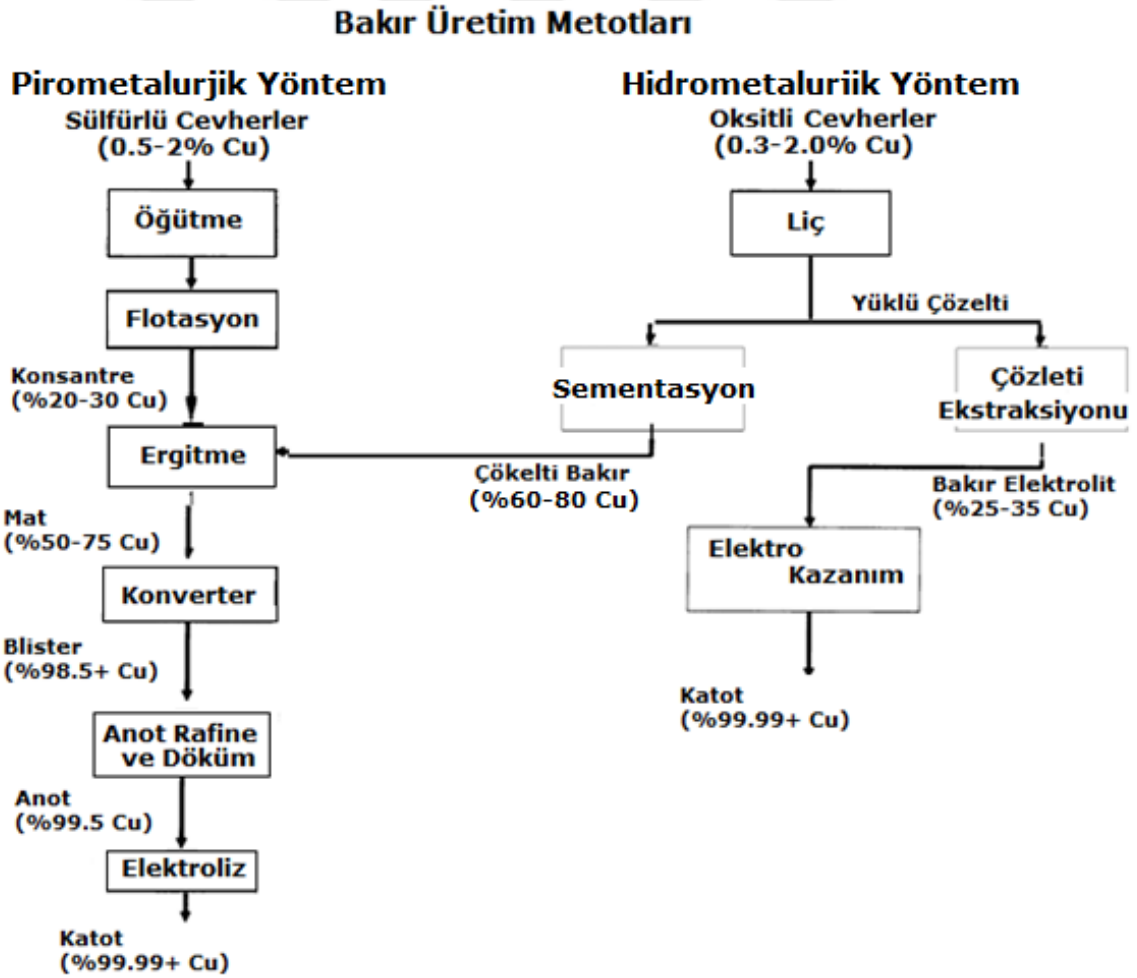
Çizelge 2.2 Bakır mineral türleri

Tip	Mineral	Formül	%Bakır İçeriği
Doğal Bakır	Bakır	Cu	100,0
Sülfürlüler	Kalkopirit	CuFeS ₂	34,50
	Kalkozin	Cu ₂ S	79,80
	Kovelin	CuS	66,50
	Bornit	2Cu ₂ S·CuS·FeS	63,30
	Enarjit	Cu ₃ AsS ₄	48,40
	Tennantit	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	51,60
Oksitliler	Malahit	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57,30
	Azurit	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	55,10
	Küprit	Cu ₂ O	88,80
	Krizokol	CuO·SiO ₂ ·2H ₂ O	37,90
	Tenörit	CuO	79,75
	Antlerit	Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄	53,70

3. Bakır Üretim Yöntemleri

Bakır, yeryüzünde temel olarak sülfürlü mineraller olarak bulunur [14]. Bu minerallerin başlıcaları kalkopirit (CuFeS_2), bornit (Cu_5FeS_4) ve kalkozindir (Cu_2S). Bu mineraller cevher yataklarında genelde %2'den daha düşük bakır içerirler. Bu yüzden saf bakır üretmek için cevherler bir dizi işlemde geçirilir. Bakır, oksitli mineraller (karbonatlar, oksitler, silikatlar, sülfatlar) hâlinde de bulunabilir. Bu mineraller çoğunlukla hidrometalürjik yöntemlerle (yığın liçi) değerlendirilir.

Dünyadaki birincil bakır üretiminin %80'i sülfürlü cevherlerden yapılmaktadır [15]. Sülfürlü mineraller hidrometalürji yöntemleri ile şimdilik ekonomik olarak işlenememektedir. Bu yüzden metalik bakır kazanımlarının büyük bölümü, sülfürlü konsantrelerin pirometalürjik yöntemlerle işlenmesi ile elde edilir. Yöntem süreçleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Bakır saflaştırma metotları [16]

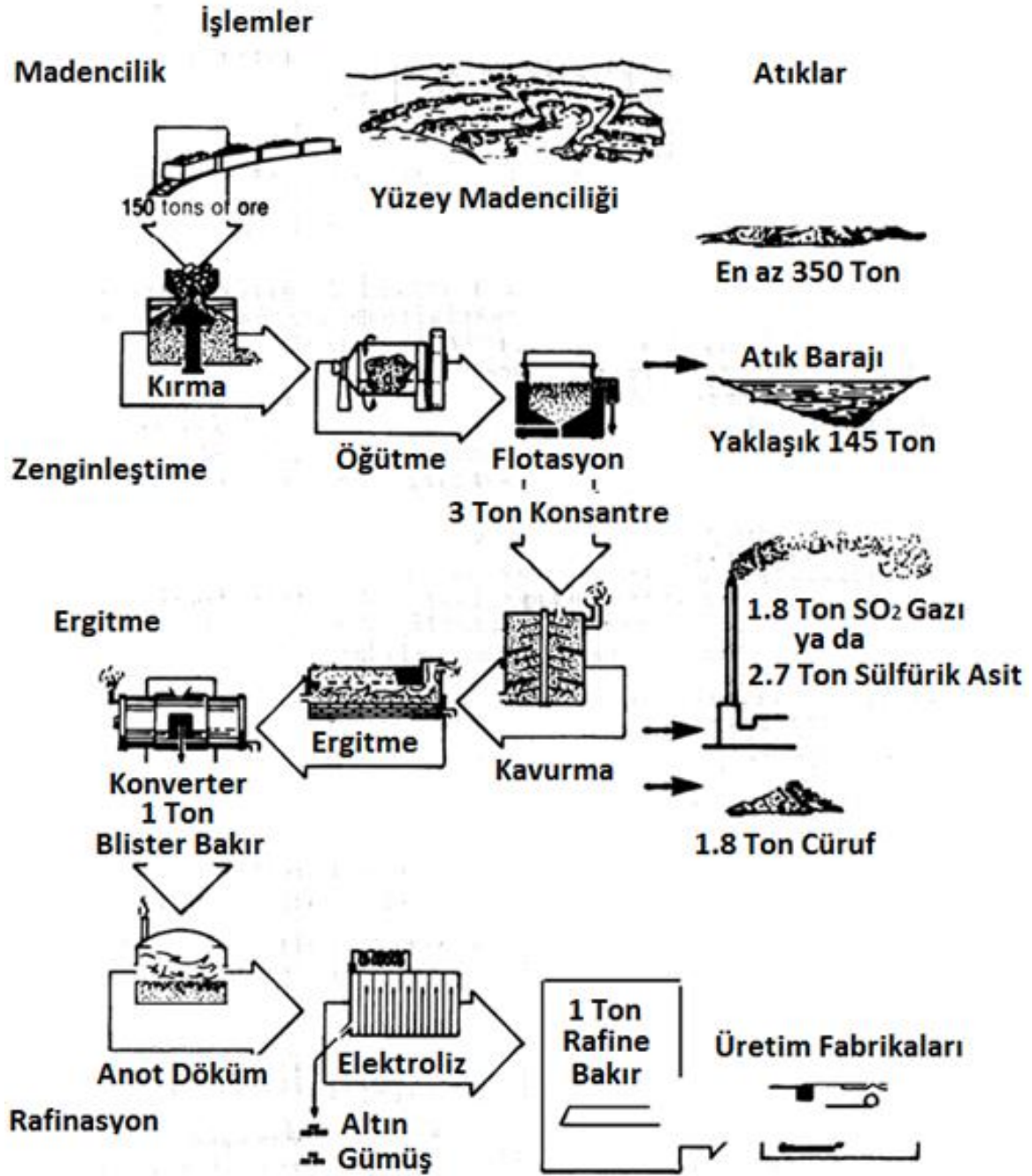
3.1. Pirometalürjik Yöntem

Pirometalürjik yöntemde bakır, yüksek sıcaklıktaki kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla konsantrelerinin ergitilmesiyle kazanılır. Bu yöntem genellikle bakır sülfürler için kullanılmakla beraber, bazı durumlarda yüksek tenörlü oksitler için de kullanılabilir. Cevherler önce flotasyon ile %15-30 bakır içeren konsantreler hâline getirilir, sonrasındaki işlemler ise kavurma, eritme ve konvertör olmak üzere en çok üç aşamadan oluşur. Kavurma; konsantreyi kurutup ısıtır ve içerisindeki sülfürün bir kısmını atarak, eritmeye ön hazırlık yapar. İkinci aşamada konsantre eritilir ve sıvı hâldeki bakır matı (%30-75 bakır), fırın çürufu ve SO₂ gazı oluşur. Üçüncü aşamada ise sıvı mat; konvertörde blister bakıra (%98,5-99,5 bakır), konvertör çürufuna ve SO₂ gazına dönüşür. Eriyik blister, rafine edilerek içerisindeki kükürt ve oksijen miktarı daha da azaltılır ve kalıplara dökülerek anot bakır oluşturulur.

Eritme ve konvertör aşamalarında oluşan çürufklar nispeten yüksek bakır içeriklerinden, genelde yeniden kazanım yöntemi olan flotasyon tesisine gönderilir.

Son ürün olan katot bakırın içeriği %99,99'dur. Katotlar daha sonra işlenerek kablo, makine parçası veya külçe yapılarak satılır veya kullanılır [17]. Şekil 3.2'de Güneybatı ABD'de besleme tenörü %0,6 olan bir madenin pirometalürjik bakır üretim aşamaları ve bu aşamaların yaklaşık atık miktarları verilmiştir [18].

Bakır Üretiminin Ana Safhaları



Şekil 3.2. Pirometalürjik bakır üretimi ve yaklaşık atık miktarları [18]

3.1.1. Sülfürlü Bakır Cevherlerinden Konsantre Üretimi

Cevherlerde, bakır mineralleri ile beraber, silikatlar, demir sülfürler (FeS_2 , FeS) diğer baz metal mineralleri (Zn, Pb, Ni) ve soy metaller (Au, Ag, Pt) bulunabilir. Bakır kazanırken, diğer minerallerden değersizleri olabildiğince atmak, kurşun ve çinko gibi değerlileri mümkünse ayrı konsantre olarak; altın, gümüş ve platin gibi değerli metalleri de yapı-doku özelliklerine bağlı olarak kazanmak amaçlanır.

Günümüzde bakır cevheri tenörleri, direkt ergitme için çok düşüktür. Çok miktarda değersiz mineralin ergitilmesi büyük bir enerji sarfiyatı anlamına geleceğinden, pirometalürjik işlem görecektür olan tüm cevherler, ergitmeden önce zenginleştirme aşamasından geçerler. Bu işlemler iki aşamadan oluşur. İlki mineral serbestleşmesini sağlamak amacı ile yapılan boyut küçültme, ikincisi ise flotasyon ile bakır minerallerinin zenginleştirilmesidir. Bu aşamalar her zenginleştirme tesisinde mevcuttur.

Boyut Küçültme işlemi, mineral serbestleşmesini artırıp flotasyon işleminin verimliliğini ve üretilecek konsantrenin tenörünü arttırmak için yapılır. Hedef boyutlar serbestleşme tane boyuna bağlıdır.

Zenginleştirme aşamasında bakır minerallerini diğer minerallerden olabildiğince ayırarak, taşıma, depolama ve ergitme aşamalarındaki harcamaların azaltılması amaçlanır. Flotasyon, sülfürlü bakır konsantresi üretimi için kullanılan tek yöntemdir. Cevher ($>0,5\% Cu$), konsantre ($>15\% Cu$) ve atık ($0,05-0,1\% Cu$) olarak ayrılır.

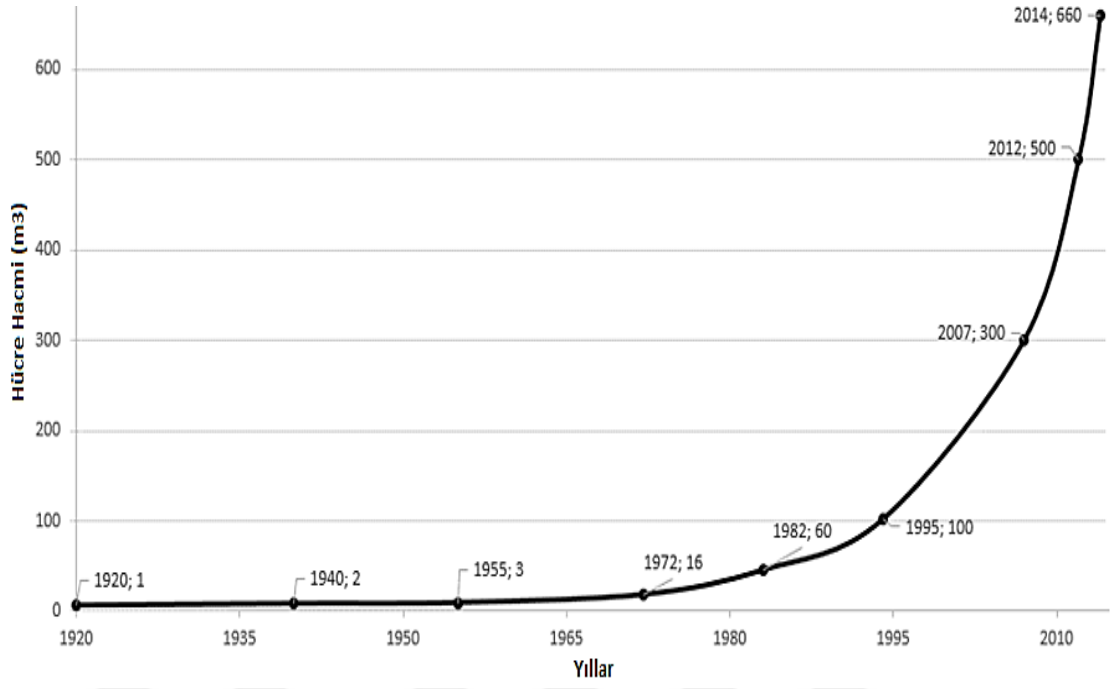
Flotasyon için cevher önce kimyasallar ile koşullandırılır. Diğer mineraller etkilenmeden, bakır sülfür mineralleri hidrofobik hâle getirilir. Daha sonra bir tank içinde hava kabarcıkları ile buluşturulur. Hidrofobik tanelere temas eden hava kabarcıkları tankın yüzeyinde köpük oluşturur ve tankların dışına taşmaya başlar. İstenmeyen mineraller tank içerisinden akışına devam ederken, değerli mineraller konsantre edilmiş olur.

Her cevherin kendine özgü mineralojisi, serbestleşme boyu ve yapı doku özellikleri olduğu için konsantre üretiminin standart bir yöntemi yoktur. Cevherin mineralojisi ile ilgili detaylı bilgi, yüksek verim ve tenörlü konsantre ve tesis tasarımı için çok büyük öneme sahiptir. Tesisler çalışmaya başladıktan sonra bile mineralojik çalışmalar, tesis veriminin sürekliliği için yapılacak ince ayarların vazgeçilmezidir.

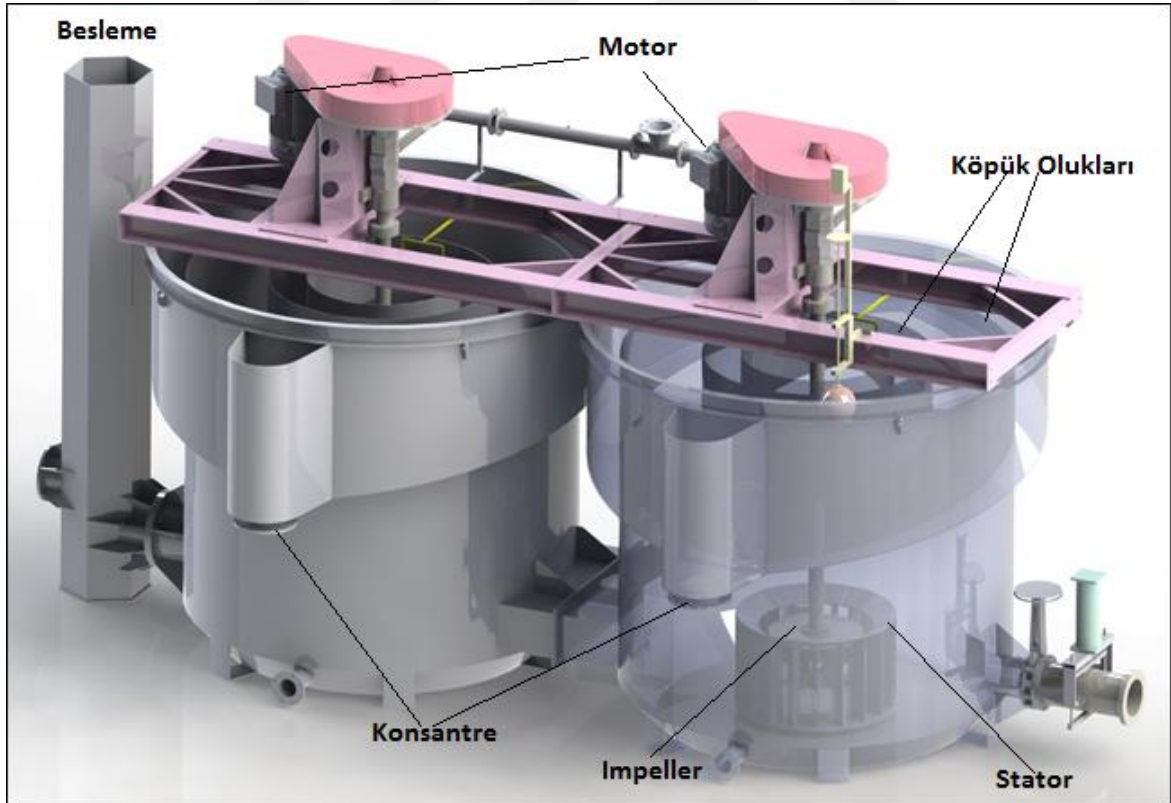
Bu durum cevher yataklarının heterojen oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bazı durumlarda tesis devrelerinde büyük çapta değişiklikler bile gerekebilmektedir. Konvansiyonel flotasyon devreleri belirli aşamalardan oluşur ve cevherin türüne göre bu aşamaların görevi değişebilir. Örneğin; kalkopirit-pirit ayırımı için yapılan seçimli flotasyonda üç grup flotasyon hücresi görülür. Kaba devre, cevheri kuvvetli yüzdürme ile yüksek verimde $\geq\%5$ bakır içerikli konsantre üretmek için kullanılırken, temizleme hücreleri daha düşük yüzdürme kuvveti ile kaba devreden gelen atık minerallerini ayırarak daha yüksek tenörlü ($\%20-30$ Cu) nihai konsantre üretir. Süpürme devresiyse kaba devre atıklarını nihai atığa gitmeden önce daha yüksek kuvvetle yüzdürerek atıkta bakırın kalmamasını amaçlar. Temizleme hücreleri atıkları (orta/ara ürünler) ve süpürme hücreleri konsantresi, minerallerin serbestleşmesine bağlı olarak devrenin başına, birincil ya da tekrar öğütme devresine gönderilebilir. Bazı cevherlerde, mineral birlikteliklerine göre toplu sülfür flotasyonu da yapılabilmektedir.

Flotasyon nihai konsantresi $\%60-80$ arasında su içerebilir, bu su konsantre nakliyesinden önce atılmalıdır. Susuzlandırma, tikiner adı verilen çöktürme tanklarında başlar. Tikinerlerin dibinden sıyrılan katı daha sonra filtrelere beslenerek yaklaşık $\%8-9$ su içeriği ile depolanabilir ve taşınabilir hâle getirilir.

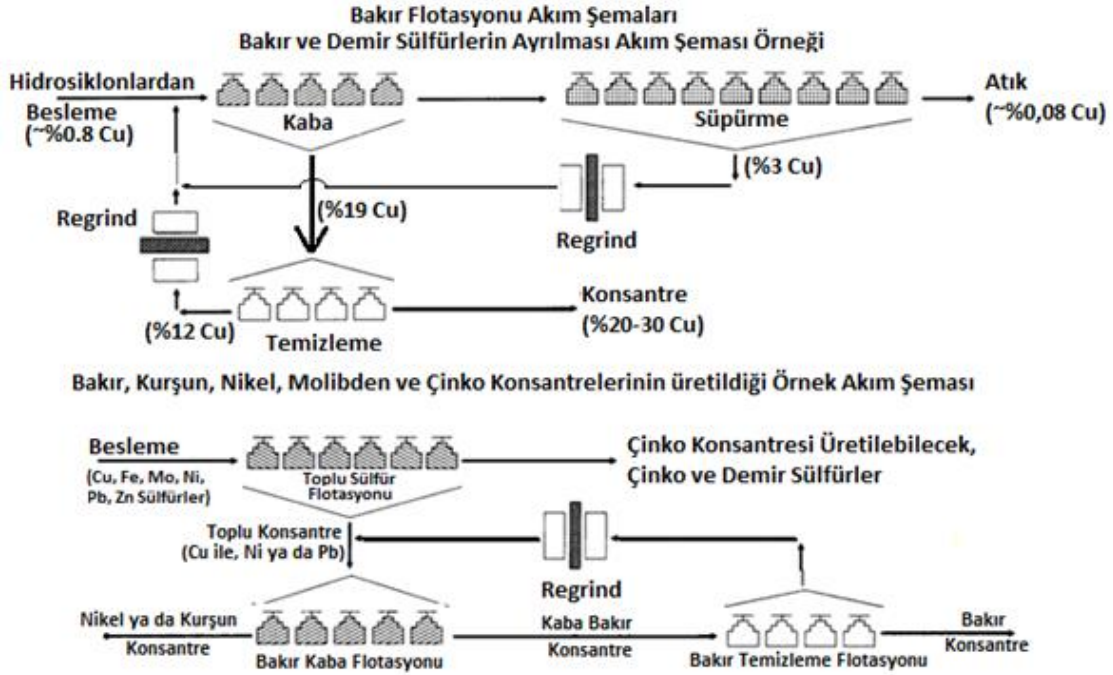
Flotasyonda önemli bir eğilim, tank tasarımlarının büyük hacimlere yönelmesidir. 1960'lı yıllarda tek hücre hacmi $3-4$ m³ iken, bugünlerde 600 m³'e kadar çıkabilmektedir [19]. Şekil 3.3 bu eğilimi göstermektedir. Ülkemizde üretilen flotasyon tankına bir örnek Şekil 3.4'te verilmiştir. Bakır zenginleştirme yöntemlerine ise farklı kaynaklardaki proje raporlarından alınan ve Şekil 3.5 ile 3.8 arasında verilen akım şemaları örnek gösterilebilir .



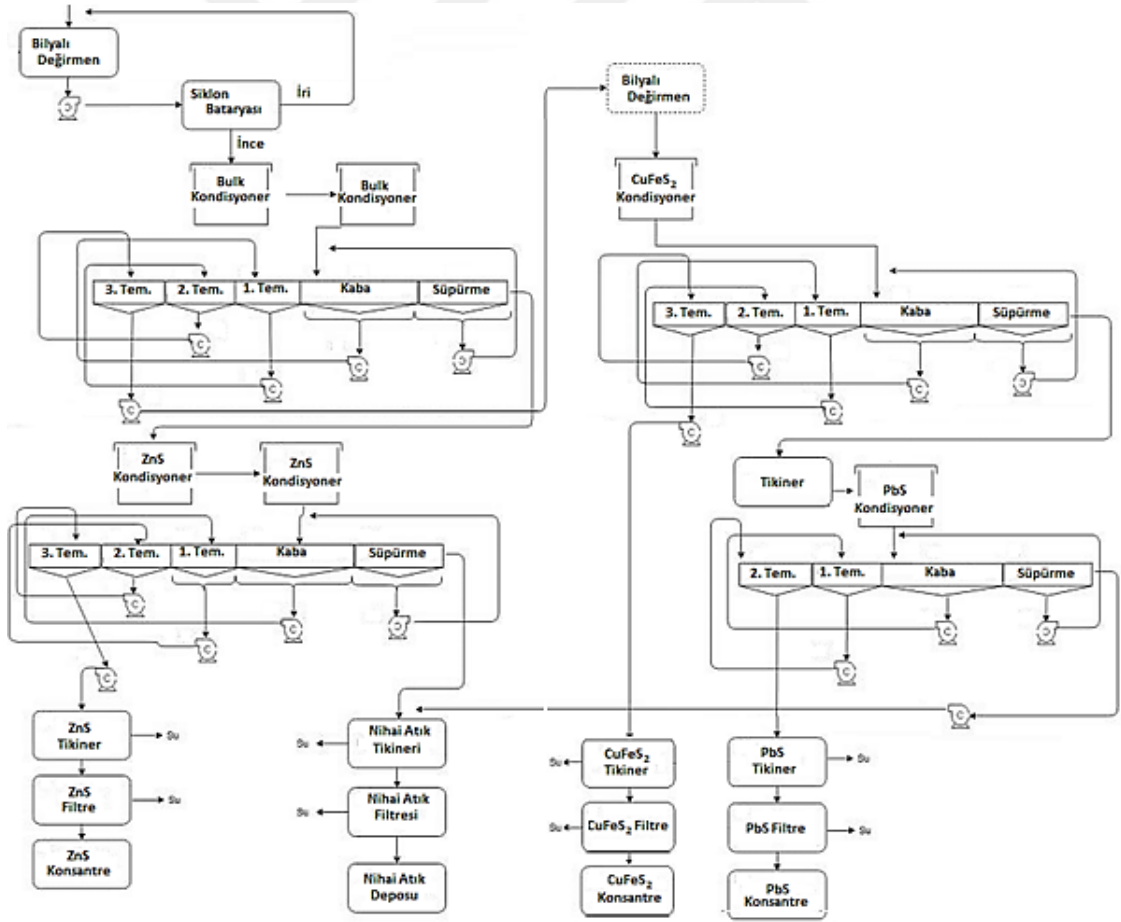
Şekil 3.3 Hücre hacimlerinin yıllara göre artışı [20].



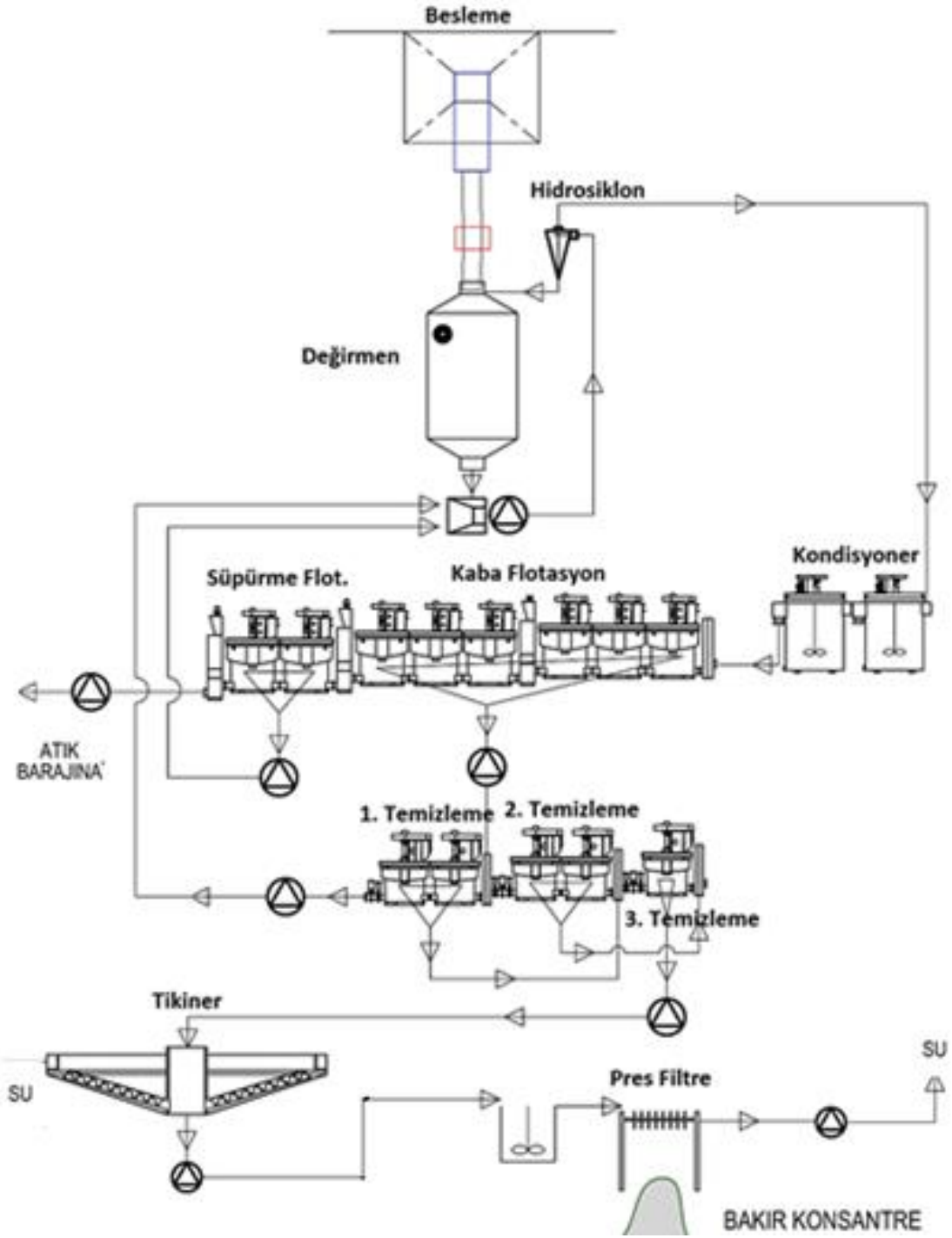
Şekil 3.4 Flotasyon tankı [21]



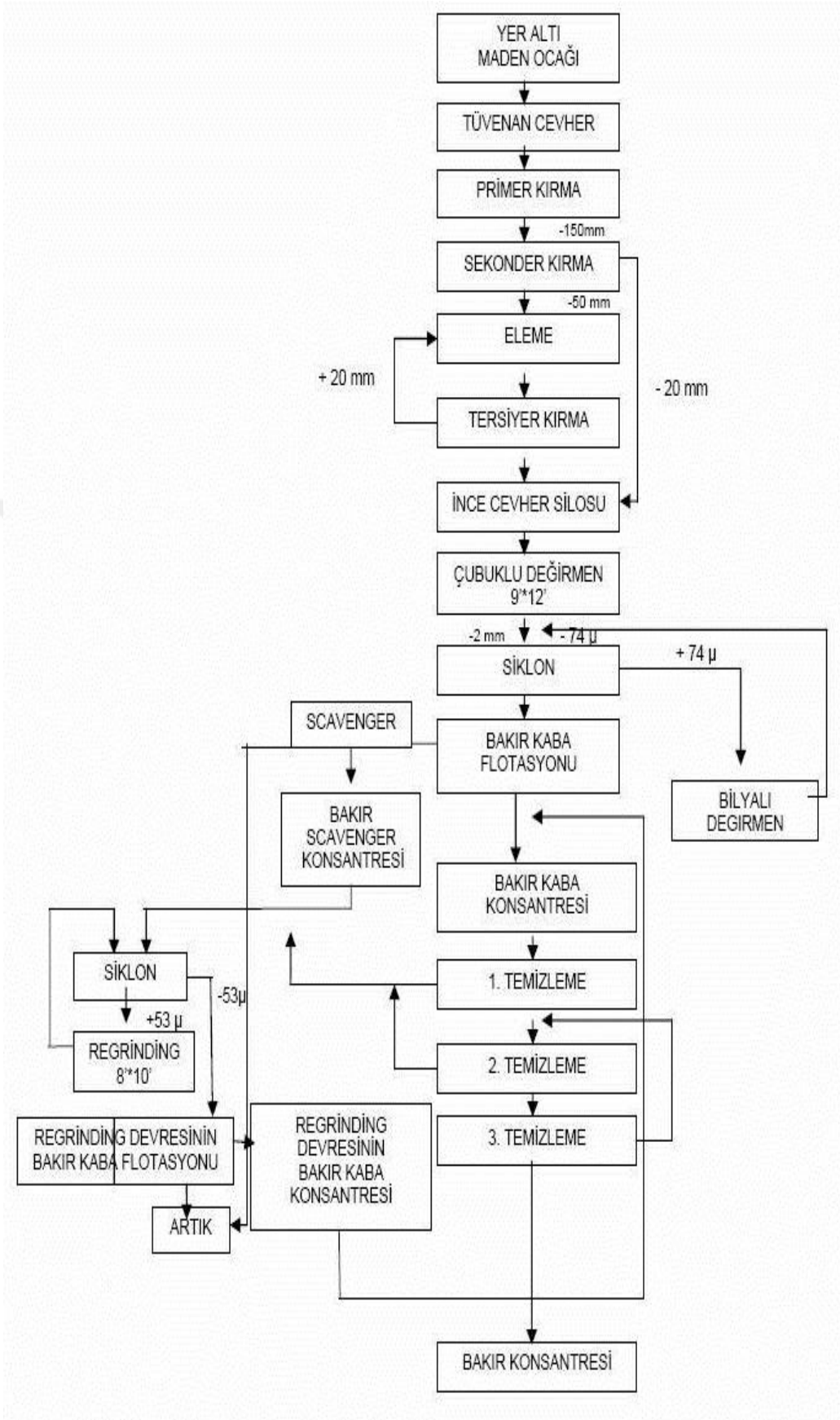
Şekil 3.5 Genel bakır flotasyon akım şemaları



Şekil 3.6 Örnek toplu flotasyon (Cu – Pb – Zn) akım şeması



Şekil 3.7 Örnek seçimli sülfür-sülfür flotasyon akım şeması



Şekil 3.8 Siirt Madenköy bakır zenginleştirme devresi akım şeması

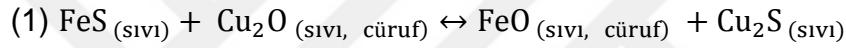
3.1.2. Ergitme ile Mat Üretimi

3.1.2.1. Kavurma

Kavurma flotasyon konsantresinin kükürdünü kısmen oksitlemek ve SO₂ olarak uzaklaştırmak için uygulanır. Konsantre ve hava 500-700°C'de reaksiyona sokulur ve kalsine edilir. Kalsineler oksit, sülfat ve kükürt içerir. Ayrıca %5-15 arası SO₂ içeren sülfürik asit üretilecek atık gaz ortaya çıkar. Kavurma çoğunlukla akışkan yatakta, konsantreyi kurutma ve ısıtma amacı ile kullanılır.

3.1.2.2. Ergitme

Ergitme aşamasının amacı sistemdeki bütün bakırın mat fazına geçmesini sağlamaktır. Bu durum reaksiyon (1)'deki gibi demir sülfürün, mat içerisindeki kükürtlü olmayan bakırın neredeyse tamamını sülfürlemesine dayanır. Ortaya mat ve cüruf fazları çıkar. Cüruf direkt olarak veya bakır kazanımından sonra atılır.



Ergitme, silis katkısı ile ~1200°C'de yapılır. Silis, alümina, demir, oksitler, kireç ve diğer oksitler cürufu oluştururken; bakır, kükürt, oksitlenmiş demir ve diğer değerli metaller matı oluştururlar. Cüruf, mattan hafif olduğundan kolaylıkla ayrılır. Mat oluşumunda diğer önemli hedef ise cürufta olabildiğince az bakır bırakmaktır. Bu durum mat ile cürufun karışmasını engelleyen silis miktarını doygun seviyede tutarak ve fırının yüksek sıcaklığını koruyarak, eriyik fazların korunması ve aşırı oksitlenmenin engellenmesi ile sağlanır. Aşırı oksitlenme ortamı viskoz hâle getirir ve ayrımı engelleyen katı manyetit oluşumuna (Fe₃O₄, erime nok. 1597°C) yol açar.

Ergitme işlemleri iri parçaların beslenebildiği yüksek fırınlarda (blast furnace), ya da yansımali, elektrikli veya günümüzde daha yaygın olan flash fırınlarda yapılabilir.

Yüksek Fırın

Yüksek tenörlü konsantre üretimleri, bu tip fırınların kullanımını azaltsa da, Japonya ve Afrika'da hâlâ kullanılmaktadır. Besleme aşağı doğru dökülürken, yukarı doğru çıkan sıcak hava sayesinde verimli kurutma, ısıtma ve ergitme sağlanır. Ergitme ısı, gerekli geçirgenliği sağlaması için büyük parçalı kok kömürler ile (beslemenin %5-10'u) sağlanır. Besleme de bu yüzden sıcak gazların geçmesine izin verecek kadar büyük parçalı olmalıdır. Dolayısı ile bakır içeren cevherler, direk maden çıkışı veya sinterlenmiş/peletlenmiş büyük parçalar olmalıdır.

Yansımali Fırın

Yansımali fırınlar konsantre, silis ve kalsine malzemelerinin beslenip, 1200-1250°C'de ergitildiği fırınlardır. Bu tip fırınların, diğer tip fırınlara kıyasla daha fazla yakıt tüketmeleri ve yanmadan sonra ürettiği çok miktarda gazın SO₂ bakımından seyreltik olması (hacimce ~%1) gibi iki ana dezavantajı vardır. Bu yüzden verimli gaz kazanımı sağlanamaz ve çevre sorunlarına sebep olurlar.

Elektrikli Fırın

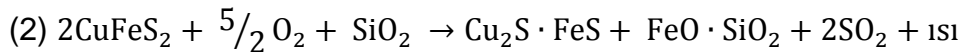
Yansımali fırına benzer prensipte çalışan elektrikli fırınlarda ek yakıt kullanılmaz. Ergitme için gerekli ısı, yüksek amperli akımın cüruf içerisinde geçirilerek oluşturulan direnç ile sağlanır. Bu fırın elektrik enerjisini verimli kullanır, çünkü gaz hâline geçen SO₂ gazı ile çok az ısı dışarı taşınır. Ancak, elektrik enerjisi pahalı olduğu için, sadece elektriğin bol ve ucuz olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

Elektrikli fırınlarında, ısı kontrolü ve SO₂ gaz çıkışı olmadığı için oksidasyon koşulları kontrolü kolaylığı vardır. Bu iki faktör çok iyi kontrol ile cüruf içerisinde bakırın en düşük seviyede tutulabilmesini sağlar. Eğer istenirse fırına hava beslenerek, gazın SO₂ içeriği %5'e kadar çıkarılıp, sülfürik asit üretilebilir.

3.1.2.2.1. Flash Fırınlar

Diğer fırın türleri, sülfürlü beslemenin oksitlenmesinden çıkan enerji miktarının ihmâl edilemeyecek kadar büyük olmasına rağmen, çokça hidrokarbon yakıtı kullanırlar. Ancak flash fırın, sülfürlerin yanmasından çıkan bu enerjinin büyük bir kısmını, sülfürlü beslemenin bir kısmını yakmada ve buradan da çıkan enerjiyi mat ve cüruf eritmede kullanır. Bu durum flash fırınların diğer fırınlara karşı en büyük avantajı olan, düşük enerji gerekliliğinin kaynağıdır.

İki tip flash fırın bulunmaktadır, ısıtılmış (oksijen ile zenginleştirilmiş) hava kullanan Outotec Flash Fırın (OK) ve oksijen kullanan ve otojen olan INCO Flash Fırın. İki tip fırında da kurutulmuş konsantre, fırın içine oksijen veya hava ile birlikte beslenir ve fırında aşağıda verilen reaksiyon (2) meydana gelir.



Çok miktarda açığa çıkan gazlar INCO fırınlarında %80 SO₂, OK'da ise havadan gelen azotla seyreltiği için %10 SO₂ içerir. INCO'da sıvı SO₂, OK'da ise sülfürik asit olarak kazanılır. Bu tip fırınların başlıca avantajları;

- a) Oksitlenmeden çıkan ısıyı kullandığından, ek yakıt gereksiniminin az olması,
- b) Atık gazları yüksek miktarda SO₂ içerdiğinden, verimli şekilde sıvı SO₂ veya H₂SO₄ kazanılabilmesi,
- c) Mineraller ısıtılırken oksitlendiğinden üretim hızlarının yüksek olmasıdır.

Bu fırınların dezavantajı ise cürufatta kalan bakır miktarının nispeten yüksek olmasıdır (INCO %0,7 Cu, OK >%1,0 Cu). Bu yüzden, konvertör cürufatlarının bu fırınlara tekrar beslenmesi ciddi bakır kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca, OK fırın cürufatlarının ayrı bir yöntem ile yeniden kazanılarak, kayıplarının kabul edilebilir seviyeye indirilmesi gerekir. Flash fırın şeması örneği Şekil 3.9'da, INCO ve OK fırınlarının karşılaştırılması ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. [16]

Çizelge 3.1 İki flash fırın türünün karşılaştırılması

İşletme Bilgisi	INCO	Outotec
Verimlilik (ton gün/m ²)	11.6	8.7
Bacadan toz bakır kaybı (%besleme)	2	5-10
Gazdaki SO ₂ içeriği (%hacim)	80	10-15
Gaz Hacmi (m ³ /ton besleme)	175	1100
Yardımcı işletmeler	Oksijen Tesisi	Hava Isıtıcı Cüruf geri kazanım Tesisi
Her ton besleme için gerekli yakıt (kg)	8 Kons. Kurutucu	55
Her ton besleme için gerekli oksijen (kg)	200 (%95 O ₂)	-

Bu iki fırın arasındaki ana fark INCO fırınının otojen çalışabilmesinin tamamen oksijene bağlı oluşu ve OK fırınının ısı açığını kapatmak için yakıt kullanmasıdır.

INCO sistemi OK'ya karşılaştırıldığında;

- 1) Çok daha az enerji ihtiyacı vardır,
- 2) Besleme ile azot ve hidrokarbonlar oksitlenir ve yan ürün oluşmaz. Bu sebeple gaz çıkışı hacmi, ton başına beslemede düşük olur ve dolayısı ile gaz tutucuları küçük olur,
- 3) Gaz çıkışındaki SO₂ yoğunluğunu yüksektir (%80), bu sebeple gaz, sülfürik

asit, elementel kükürt veya sıvı SO₂ olarak kolay kazanılabilir,

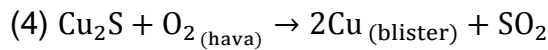
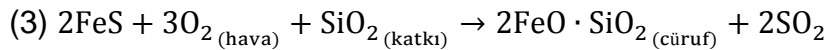
4) Gaz çıkış miktarının az olması sebebi ile toz kayıpları azdır,

5) Verimliliği (ton besleme/m² fırın alanı), OK'dan yaklaşık %30 daha yüksektir.

Ek olarak INCO fırınının cürufları bakır içeriği <%0,7 olduğundan, ek işleme tabii tutulmadan atılabilmektedir.

3.1.3. Konvertör ile Blister Üretimi

Bakır konvertör işlemi, ergitmeden gelen bakır, demir, kükürt ve yaklaşık %30 oksijen ile az miktarda diğer metalleri (As, B, Ni, Pb, Sb, Zn ve değerli metaller) içeren sıvı matın 1100°C'de beslenerek hava ile oksitlenmesidir. Bu işlemde, mattan demir ve kükürt uzaklaştırarak blister (%99 Cu) bakır üretilir. Bu işlem neredeyse tamamen Şekil 3.10'da gösterilen Pierce-Smith konvertörü ile yapılır. Sıvı mat, konvertöre geniş bir ağızdan dökülür ve oksitleyici hava tüyer adı verilen ince borulardan konvertör boyunca beslenir. Beslenen hava ile oksitlenen kükürt ve demirin ortaya çıkardığı ısı bu işlemi otojen olarak devam ettirmeye yeterlidir. Konvertör işlemi ardışık iki aşamadan oluşur. İki aşamada da eriyik hâldeki sülfürlü bakıra hava üflenir. Bu aşamalar reaksiyon (3)'teki demir uzaklaştırma aşaması ve reaksiyon (4)'teki Blister Bakır oluşturma aşamasıdır.



Blister oluşturma aşamasında, matta demirin %1'den az olması gerekmektedir. Bu yüzden konvertördeki demirin neredeyse tamamı cüruf olarak uzaklaştırılır. Blister bakır %0,02 – 0,1 kükürt içerir. Mattaki nikel ve diğer metaller Au, Ag, Pt grubu da dahil blisterin içerisinde kalır. Demir ve çinko neredeyse tamamen oksitlenerek cürufa geçerler. Antimuan, arsenik, bizmut, kadmiyum ve kurşun buharlaşmaya yatkındır. Konvertör cürufu kaçınılmaz şekilde %2-10 arası bakır içerir ve bu cüruftaki bakır geri kazanılır. SO₂ gazı bu işlemin yan ürünüdür. Çıkan gazlar >%5 SO₂ içerdiğinden verimli bir şekilde kazanılabilirler.

3.1.4. Pirometalürjik Yöntemde Kayıplar ve Geri Kazanım Yöntemleri

Bakır kaybı, cüruflardan ve ergitme gazları ile taşınan tozlardan olmaktadır. Çizelge 3.2'de flash fırın besleme madde denklığı verilmiştir [16].

Çizelge 3.2 Flash fırın cürufu element içerikleri

Element	Mata Giden %	Cürufa Giden%	Gaz Çıkışından Giden %
Bakır	97	2	1
Gümüş	90-95	2-5	3-8
Altın	95	2	3
Arsenik	15-40	5-25	35-80
Bizmut	30-75	5-30	15-65
Kadmiyum	20-40	5-35	25-60
Kobalt	45-55	45-55	0-5
Nikel	70-80	20-25	0-5
Kurşun	45-80	15-20	5-40
Antimon	60-70	5-35	5-25
Selenyum	85	5-15	0-5
Tellür	60-80	10-30	0-10
Çinko	30-50	50-60	5-15

3.1.4.1. Toz Kayıpları ve Geri Kazanımları

Toz bakır kaybı, ergitmede ince ve katı tanelerin, konvertörde ise ince mat damlalarının gazlar tarafından taşınmasından kaynaklanır. Bu tozlar elektrostatik toplayıcılar ile %98-99 oranında geri kazanılsa da, toplam nihai bakır kaybının %0,5'i tozlardan olmaktadır.

3.1.4.2. Cüruf Kayıpları ve Geri Kazanımları

Cürufta gerçekleşen bakır kaybı yaklaşık %1-2 arasındadır, bu oran düşük gibi gözükse de, kaybın bakır metali olduğu düşünülüğünde değeri anlaşılmaktadır.

Yüksek, yansmalı ve elektrik fırın cürufları direkt atılabilmektedir. Fırınların cüruf içerisindeki bakır kaybı, mat tenörüne ve ton başına oluşan cüruf miktarına bağlıdır. Mat tenörünün artması ile cüruftaki bakır miktarının artmasının sebebi, yüksek tenörlü matın geçirgenliğinin artması ile cürufa taşınmasından dolayıdır.

Mat tenörü sabit tutulduğu zaman toplam bakır kaybı, atılan cüruf miktarıyla doğru orantılı olacaktır. Ton başına çıkan cüruf miktarını etkileyen ana faktör ise ergitmeye

beslenen konsantre tenörüdür (düşük tenör-fazla cüruf). Bu sebeple çok düşük tenörlü konsantreleri eritmekten kaçınılmaktadır. Genel anlamda besleme konsantresinin tenörünün artması, mat tenörünün ve cüruftaki bakır oranının artması anlamına gelirken, cüruf ağırlığı ve ton başına bakır kaçağını azaltacaktır.

Cürufa bakır kaçırmamak için; nispeten düşük mat tenörü ile çalışmanın yanı sıra, cüruf viskozitesini düşük tutarak manyetit ve kromit oluşumu engellenebilir. Kuvars içeriği %35'in üzerinde tutularak mat-cüruf ayrımı keskinleştirilebilir. İşletme parametreleri dengeli tutulabilir ve nispeten yüksek işletme sıcaklığı ile cüruf akışkanlığı sağlanıp beslemenin de tamamının eritilebilmesi sağlanabilir.

Bakır kaybının ana noktası olan cüruflar şu işlemlere tabi tutulur;

- 1) Ergitme fırınları (konvertör cürufu bakırlarının kazanımı için) [24],
- 2) Elektrikli fırınlar (ergitme ve/veya konvertör cüruflarının kazanımı için),
- 3) Cürufun soğutulup katılaştırılarak tekrar kazanıldığı cüruf flotasyon tesisleri

Çoğu işletmede bu işlemler uygulanırken, bazı durumlarda fırın cürufları direkt atılabilir. Flotasyon yöntemi ile tarih öncesinden kalma cüruflar da kazanılabilmektedir [25]. Toplam cüruf miktarı her üretilen katot ton bakır için iki-üç ton arası olmaktadır.

Fırın Cürufu

Ergitme fırınlarının cürufları, beslemedeki oksitli minerallerden ve eritme sırasında oluşan demir oksitlerden oluşur. Bu cüruf %30-40 demir (FeO ve Fe_3O_4), %35-40 SiO_2 (katkılar ve varsa konvertör cürufu), %10'a kadar Al_2O_3 ve %10'a kadar CaO içerir. Cüruf, mat ile karışmamalı, düşük çözünürlükte olmalı, mat ve konsantrelerin geçişine izin verecek kadar da akışkan olmalıdır. Fırın cüruflarının içerdiği bakır miktarının çoğu, çökememiş mat damlaları hâlinde olmaktadır.

Konvertör Cürufu

Konvertör cürufları %2-15 arası bakır içerebilir; bu yüzden bakır kazanımları şarttır. Bu içerik; cürufun yapısı, üfleme hızı ve cüruf alınırken ki konvertör durumuna bağlıdır. Konvertör cürufunda bakırın yüksek tenörlü olması; mat ve cürufun şiddetli karıştırılması (özellikle katı manyetit bulunduğu viskozitenin artması) yoluyla matın cüruf fazında kalması ve konvertör oksijen içeriği yükseldiğinde oluşan bakır oksitlerin cürufta kalmasından kaynaklanır.

3.1.4.3. Cüruf Geri Kazanım Yöntemleri

Flash Fırın Cüruflarının Geri Kazanılması

INCO oksijenli flash fırınlarının cürufları yaklaşık %0,6-0,7 bakır içerdiğinden direkt atılabilmektedir. Outotec flash fırınları ise %1 ve üzeri bakır içerebilmektedir. Bu cüruflardan bakır kazanımı, küçük boyutlu elektrik fırınlarında veya flotasyon tesislerinde yapılmaktadır.

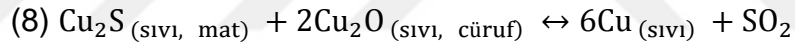
Konvertör Cüruflarının Geri Kazanılması

Konvertör cüruflardan bakır şu yöntemlerle kazanılabilir;

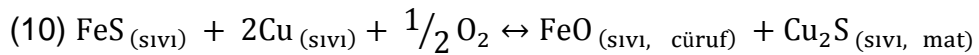
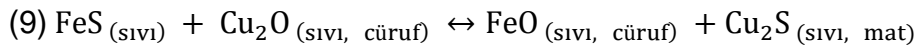
- 1) Ergitme fırınlarına geri beslenerek,
- 2) Ergitme fırını cürufları ile birlikte küçük bir elektrik fırınına beslenerek,
- 3) Soğutulup, öğütülerek tek başına veya Flash cürufu ile karıştırılarak flotasyon tesislerine beslenerek.

Fırınlarda Kazanım

Konvertör cürufları; bakır oksitler, taşınmış mat olarak bakır sülfür ve reaksiyon (8)'de verilen şekilde oluşan metalik bakır şekillerinde olabilir.



Tüm bu bakırların geri kazanımı için şartlar üç duruma da uygun olmalıdır. Ergitme ve elektrik fırınlarında işlem benzerdir. Cüruf ve konsantredeki FeS, bakırı reaksiyon (9) ve (10)'daki gibi sülfürler ve oluşan bakır sülfür mat tabakasına çöker.



Flotasyon ile Kazanım

Cürufu soğutup katılaştırmak, sonra öğütüp flotasyon tesislerinde işlemek, özellikle Outotec flash fırınlarında giderek tercih edilen bir yöntemdir. Bu durumun ana sebeplerinden birincisi, flotasyon sonrası nihai atıkta kalan bakır miktarının (~%0,35 Cu), elektrik fırını nihai atığında kalan bakır miktarından (~%0,5 Cu) daha az olmasıdır. İkincisi ise, öğütme ve flotasyon için gerekli enerjinin (20-50 kWh/ton cüruf), elektrik fırınları için gereken enerjiden (75-100 kWh/ton cüruf) daha az olmasıdır [26]. Bu iki durum, fırın cüruflarının işlenmesinde ekonomik seçeneğin flotasyon olduğunu göstermektedir.

Flotasyon Detayları

Cüruf flotasyonunda kritik noktalardan birisi, özellikle katılaşmadan hemen sonraki aşamada cürufun yavaş soğumasıdır. Yavaş soğuma, çözülmüş bakırın çökmesine izin vererek tanelerin birleşmesini ve kristallerin büyümesini sağlar [16]. İri kristaller öğütlemeyle serbestleştirilebilir. Ani soğumada ise kristaller ince boylarda kalır ve ince öğütlemeyle bile serbestleşme sağlanamayabilir [27]. Çizelge 3.3 ve 3.4'te bazı cüruf flotasyon tesisleri ile ilgili bilgiler verilmiştir [1], [16].

Çizelge 3.3 Bazı cüruf flotasyon tesisi örnekleri

Tesis	Hitachi Konvertörü	Naoshima Konvertörü	Harjavalta		Noranda Pilot
			Fırın	Konvertör	
Cüruf İçeriği					
%Cu	4,0	3,0	1-1,5	4,0	11,7
%SiO ₂	20,0	19,1	29,0	23,0	22,0
%Fe	46,0	49,4	44,0	38,5	50,0
%Fe ₃ O ₄	20,0	25,0	13,0	~20,0	20-30
Soğutma Yöntemi	Külçelere Döküm	Külçelere Döküm	Çukurlarda Yavaş Soğutma		Külçelere Döküm
Öğütme Öğ. Boyu	Bilyalı %90-44 µm	Bilyalı %85-44 µm	Otojen %90-53 µm		Otojen %90-44 µm
Kons. %Cu	24,0	21,3	18,2		52,1
Atık %Cu	0,40	0,32	0,32		0,53
Kons. Ağ.					
Cüruf Ağ.	0,18	0,13	0,15		0,21
%Cu Verimi	94,3	92,3	90,1		96,3

Çizelge 3.4 Örnek cüruf flotasyon tesisleri detayları

İzabe	Saganoseki Japonya	Toyo Japonya	PASAR Filipinler
Cüruf ton/gün %Cu	Konvertör 450 – 8,33	Konvertör 450 – 6,5	Konvertör 370 – 12,5
Cüruf Kons. %Cu	21,8	28,0	29-33
Cüruf Atık. %Cu	0,65	0,40	0,5 - 0,6
Cüruf. %Verim	95	95	97 - 98
Kırma Öğütme	Çeneli, Konik ×2 Bilyalı ×2	Döner, Konik ×2 Bilyalı	Çeneli, Konik Bilyalı ×2
Flotasyon Tane Boyu	%50 – 44 µm	%90 – 44 µm	%75 – 45 µm
Flotasyon Süresi	30 dk.	30 dk.	30 dk.
Promoter	-	-	NH ₄ , Na dibütil Ditiyofosfat
Toplayıcı	SIPX, THC	KAX, THC	Ditiyofosfat, KAX
pH	Çam Yağı MF560	Çam Yağı	Çam Yağı, NF183
Enerji kWh/ton	58,4	64	40

THC = Tiyonokarbamat

3.1.5. Ateşle Arıtma ve Elektroliz ile Saflaştırma

3.1.5.1. Ateşle Arıtma

Elektroliz için dayanıklı, düz ve ince anotlar gerekir. Bu anotlar blisterden, katılma sırasında oksijen ve kükürt kalıntılarının SO₂ gazı hâlinde yüzeyde pürüzler oluşturarak atmosfere çıkmasından dolayı direkt olarak üretilemez. Pürüzler anotların dayanımını düşürür, eş olmayan yüzey ve kalınlıklara sebep olur. Bu yüzden anot dökümünden önce ateşle arıtma (fire refining) ile kükürt ve oksijen uzaklaştırılır. Eriyik blistere hava vererek kükürt %0.001-0.003, doğalgaz veya LNG vererek de oksijen %0.05-0,2 değerlerine düşürülene kadar işlem devam eder.

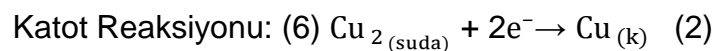
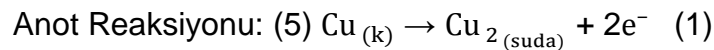
3.1.5.2. Elektroliz

Elektroliz, bakırın anotlardan çözülerek safsızlıklardan kurtulup katotlara kaplanmasıdır. Elektrolit, sülfürik asit (200 kg/m³), CuSO₄ (50 kg/m³) ve eser miktarda klor içerir. Anot safsızlıklarının çoğu (Ag, Au, Bi, Pb, Pt ve Sn) çözünmediklerinden elektrolizi etkilemez. Ancak, arsenik, demir ve nikel kısmen veya tamamen çözündüklerinden, elektrolitte düşük oranlarda tutulmalıdır. Aksi takdirde katotlara kaplanarak bakır kalitesini düşürürler. Konsantrasyon düşüklüğü, elektrolitin sürekli dışarı akıtılıp, arıtılmasıyla sağlanır.

Tipik anottan katota voltaj 0,2-0,25 volt ve akım 200 A/m² katot değerlerindedir. Elektrolizde akımın yönü aralıklar ile değiştirilerek polarizasyon engellenir. Elektroliz ile %99.99+ saflıkta levhalar oluşturulur. Şekil 3.11'de anot döküm ve elektrolizden görüntüler verilmiştir. Anot ve katot reaksiyonları, reaksiyon (5) ve (6) da verilmiştir.



Şekil 3.11. Anot dökümü ve Elektroliz



3.2. Hidrometalürjik Yöntem

Sülfürlü olmayan cevherler (karbonatlar, oksitler, silikatlar ve sülfatlar) eğer yeterli tenöre sahipse, pirometalürjik olarak saflaştırılabilirler. Ancak günümüzde bu işlem için gerekli tenörde yataklar bulunmamaktadır. Ayrıca bu mineraller, flotasyon ile yüksek tenörlü konsantreler hâline de getirilememektedir. Bu sebeplerden dolayı bu tür mineraller, hidrometalürjik yöntemler ile kazanılırlar, bu yöntemler sırası ile sülfürik asit ile liç, çöktürme veya çözeltiden elektro kazanımdır.

Cevher liç işlemine, temas yüzeyini artırmak için kırılarak ve gerekirse öğütülerek hazırlanır. Daha sonra cevher yığınlar hâlinde ya da karıştırıcılı tanklarda asitler ile (çoğunlukla sülfürik asit) yıkanır. Ortaya çıkan yüklü çözelti, hurda demir ile çöktürülür (sementasyon) ya da konsantre çözeltilerde ($40 \text{ kg/m}^3 \text{ Cu}^{2+}$) elektro kazanıma gönderilir. Sementasyondan elde edilen bakır, demir de içerdiği için pirometalürjik fırın veya konvertörde tekrar işlenir. Elektro-kazanım ürünü ise eritilip, kalıplara dökülür ve elektrik dışı kullanım için satılır. Elektro-kazanımın, elektrolizden farkı anotların inaktif, genelde antimuanlı kurşun olmasıdır. Reaksiyon (7)'de bu işlem gösterilmektedir.



Bakır katottan alınır, oksijen anoda doğru geçer ve sülfürik asit liçte tekrar kullanılmak üzere depolanır. Elektro-kazanımda, elektrolizden on kat daha fazla voltaj kullanılır (0,2 volt yerine 2 volt), üretilen bakır ise anottaki antimuanlı kurşun tamamen inaktif olamaması sebebi ile elektrolize göre daha düşük saflıktadır. Ancak hassas elektrik kullanımlar hariç, her yerde kullanılabilir.

3.3. Diğer Bakır Üretim Yöntemleri

Bakır üretimindeki iki ana yöntem sülfürlü cevherler için pirometalürji ve oksitli cevherler için hidrometalürji olmasına rağmen, bazı önemli istisnai durumlar vardır. Düşük tenörlü maden atıkları, bakteri destekli sülfürik asitli liç tabii tutulabilirler. Afrika'da bazı tesisler kükürtlü konsantreleri kavurarak suda çözünebilen sülfatlara dönüştürür ve doğal oluşan oksitlerin yanında liç gönderir.

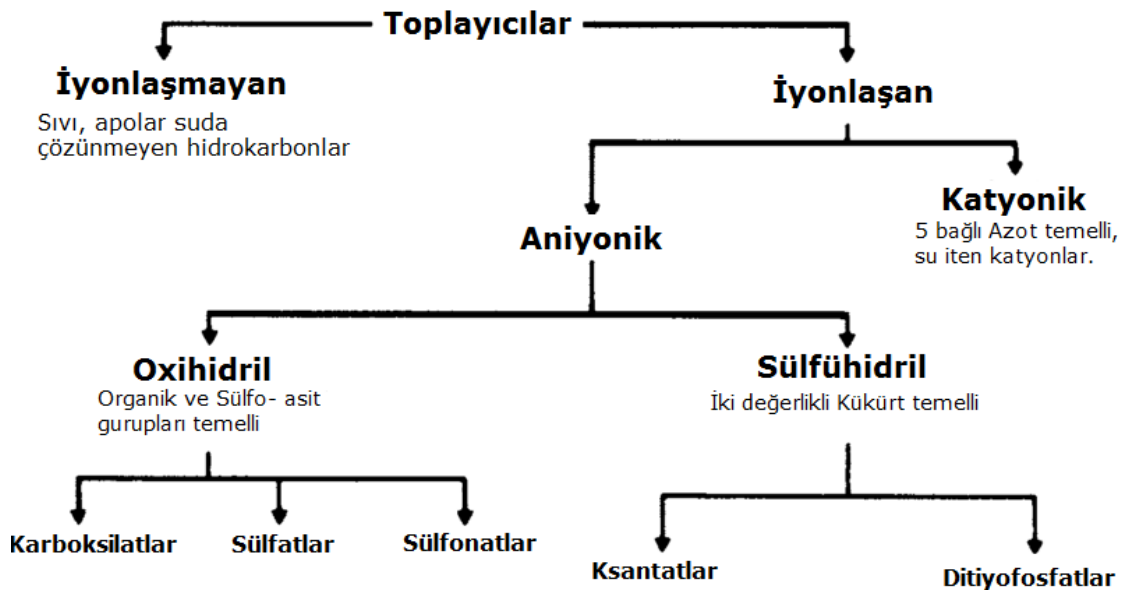
4. Sülfürlü Cevherlerin Flotasyonunda Toplayıcılar ve Karışımları

Minerallerin doğal karakteristikleri, flotasyon ile zenginleştirme için nadiren uygun olmaktadır. Tanelerin hidrofobikliklerini ve köpük dayanımını sağlamak ve korumak için bir takım kimyasallar gerekmektedir. Toplayıcılar, köpürtücüler ve düzenleyiciler bu kimyasalların ana gruplarıdır [28].

Toplayıcılar, mineral yüzeyine soğurularak taneleri seçimli şekilde hidrofobik hâle getirir. Doğru toplayıcı seçimi flotasyon için kritik öneme sahiptir. Toplayıcı seçimini etkileyen ana faktörler, mineral özelliği (sülfürlü, oksitli ve/veya metal içekleri) ve minerallerin birbiri ve gang mineraller ile olan ilişkileridir [29].

Toplayıcılar genellikle iyonik yüklerine göre; iyonlaşmayan, anyonik ve katyonik olarak sınıflandırılır. Sınıflandırma Şekil 4.1'de verilmiştir [30]. İyonlaşmayan toplayıcılar apolar olup genelde hidrokarbon yağlardır. Mineral yüzeylerini ince bir film ile kaplayarak hidrofobik hâle getirirler. İyonik toplayıcılar ise suda çözünerek iyonlaşan toplayıcılardır ve anyonik ve katyonik olarak alt gruplara ayrılırlar [31], [30].

Toplayıcılar mineral yüzeylerine kimyasal veya fiziksel olarak soğurulabilir. Kimyasal soğurumda, mineral ve toplayıcı arasındaki bağ geri dönülmez şekilde oluşur. Her moleküle özel bağ oluştuğu için kimyasal bağlar yüksek derecede seçimlidir. Fiziksel soğurumda ise elektrostatik veya van der Waals bağları oluşur, pH değiştiğinde bağlar kopabilir. Fiziksel soğurum, doğru elektrik yükü veya doğal hidrofobik olan her yüzeyde etkili olacağından çok daha az seçimlidir [28], [30].



Şekil 4.1 Genel toplayıcı sınıfları

4.1. Sülfürlü Cevherlerde Kullanılan Toplayıcılar

Flotasyon yönteminin, Avustralya'da Broken Hill madeninde sfaleritte keşfedilmesi milyonlarca ton mineralize zonların cevher olarak değerlendirilebilmesini sağlamıştır. Bu keşfin daha da yaygınlaşmasını sağlayan gelişme ise ksantatların keşfi olmuş, böylece flotasyon ile konsantresi üretilen en geniş mineral grubu sülfürlü mineraller olmuştur [32]. Bu minerallerin konsantreleri üretilirken iletkenlikleri, çözeltide potansiyel oluşturmaları, yüzeylerinin çözünmüş oksijen ile hâlihazırda yükseltgenmiş olması ve metal içeriklerinin kısa zincirli toplayıcılar ile çözünmez bağ oluşturmaları gibi özelliklerinden faydalanılmaktadır [32].

Flotasyonda kullanılan en yaygın toplayıcı sınıfı anyonik toplayıcılardır. Bu grup, temeli organik ve sülfö-asit iyonları olan oksihidril ve temeli iki değerli kükürt olan sülfidril alt gruplarına ayrılır.

Oksihidril toplayıcı grubu, anyonik toplayıcıların en geniş grubudur. Ancak endüstriyel kullanımı sülfürlü olmayan cevherlerde görülmektedir. Sülfidril toplayıcılar ile kıyaslandıklarında daha az seçimli olarak görülürler ve verimlilikleri, palp hazırlama yöntemi, düzenleyici kullanımı ve pH değeri ile alakalıdır. Sülfühidril toplayıcı alt grupları Şekil 4.2'de verilmiştir [30].

Sülfidril grubu toplayıcılara tiyol adı verilir. Yapılarına göre; merkaptan, tiyokarbonik asit, tiyokarbamik asit, tiyoüre, tiyofosforik asit ya da organik sülfid isimlerini alabilirler. En yaygın kullanıma sahip olan alt grupları ksantatlar ve ditiyofosfatlardır. Ditiyofosfinatlar, merkaptanlar ve tiyonokarbamatlar da ana veya yardımcı toplayıcı olarak tercih edilmektedir. Ksantatlar, sülfürlü cevher flotasyonunda en önemli toplayıcılardandır. Alkil ve aril ditiyofosforik asitler ve alkali tuzları, sülfürlü minerallerin flotasyonunda ksantatlarla beraber veya tek olarak kullanılmaktadır.

Toplayıcı Adı	Genel Formül	Toplayıcı Adı	Genel Formül
Ksantatlar	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{ROC} - \text{SNa} \end{array}$	Tiyonokarbimididler	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{H}_5\text{C}_6 - \text{HN} - \text{C} - \text{NHC}_6\text{H}_5 \end{array}$
Tiyonokarbamatlar	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{RHN} - \text{C} - \text{OR}^1 \end{array}$	Ksantojen Format	$\begin{array}{c} \text{S} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{ROC} - \text{S} - \text{COR} \end{array}$
Ditiyofosfatlar	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{RO} \quad \text{P} - \text{SNa} \\ \text{RO} \end{array}$		

Şekil 4.2 Sülfühidril toplayıcılar

4.2. Toplayıcı Karışımlarının Endüstride Kullanımları

Flotasyon işletmelerinin birçoğundaki yeni eğilim iki ya da daha fazla farklı toplayıcı kullanmaktır. İki ya da daha fazla toplayıcı kullanımının, tek toplayıcı kullanımından daha iyi verim verdiği görülmüştür [29], [30]. En basit bakır cevherlerinde bile farklı birçok bakır mineralinin (kalkopirit, kovelin, bornit, nabit bakır, oksitlenmiş veya kirlenmiş bakır mineralleri) bulunduğu göz önüne alınırsa, bu iyileşmenin, birden fazla toplayıcının daha geniş mineral aralığına etki etmesinden ileri geldiği anlaşılmaktadır. Tek bir mineral dahi olsa örneğin kalkopirit, yüzey heterojenliğinden dolayı, farklı toplayıcılar aynı yüzeyin farklı bölgelerine soğurularak hidrofobikliği artırabilmektedir [3]. Uzun yıllar boyunca Ksantat-Ditiyofosfat ve Ksantat-Dialkiltiyonokarbamat karışımları yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak son 10-15 yılda yeni karışımlar denenip kullanılmaktadır [29].

Karışım toplayıcılar ile ilgili bazı örnek çalışmalar şöyle sıralanabilir;

- Hacettepe Üniversitesi'nde, Kastamonu, Küre sülfürlü bakır cevheri üzerinde karışım toplayıcılar ile yapılan bir yüksek lisans tezinde, Cytec Aero238 ve Cytec 3477 karışımının hem verim hem de tenörü artırdığı belirtilmiştir [33].
- Güney Afrika Okiep cevheri üzerinde yapılan çalışmalarda, ksantat, ditiyofosfat ve tiyonokarbamatlar ve karışımları denenmiş, %90 KEX ve %10

di-etil ditiyofosfat karışımı ve %90 KEX ve %10 di-etil ditiyokarbamat karışımları ile etil ksantat ile yapılan testlerden daha iyi verimler edildiği belirtilmiştir [34].

- Kuzeydoğu İran, Berdesken izabesinde bakır cürufuna KAX, SIPX, Etil/Bütil ditiyofosfat ve izobütil DTP karışımı testleri yapılmış ve karışımları en iyi hâle getirerek tenörü %0,5 azaltıp verimi %20 arttırdıkları belirtilmiştir [35].
- Güney Afrika'da nikel (pentlandit) cevheri üzerine KAX, İzopropiletil Tiyonokarbamat, SIBX ve karışımları ile testler yapılmış, sonuçlarda Tiyonokarbamatın verim üzerine, ksantat karışımlarının ise tenör üzerine olumlu etkisi olduğu görülmüştür [36].
- Hindistan Gujarat'ta bir bakır izabesinden alınan bakır cürufu üzerinde SIPX, Sodyum dietilditiyofosfat ve alkil hidroksamat ile yapılan testler sonucunda, tek toplayıcı yerine Ksantat-Ditiyofosfat karışımı kullanımı, verimi %7 iyileştirmiş ve karışım toplayıcıların iri boyda verimi arttırdığı belirtilmiştir [37].
- Rochester New York'ta galen örneklerine, Ksantat, Ditiyofosfat ve Ditiyokarbamat ile yapılan çalışmalarda, Ksantatın önce eklendiği durumlardaki KEX ve Ditiyokarbamat karışımlarının, sadece KEX kullanımına kıyasla %30 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir [38].
- Hacettepe Üniversitesi'nde kalkopirit üzerinde, SIPX ve di-izobütil ditiyofosfinat ile yapılan bir çalışmada, tek toplayıcı kullanımına göre fosfinat önce beslendiğinde %70 SIPX ve %30 fosfinat oranında, toplayıcılar beraber beslendiğinde ise %50:%50 oranında daha yüksek soğurum elde edildiği belirtilmiştir [39].

5. Eti Bakır Samsun Bakır İzabe ve Elektroliz Tesisi

Eti Bakır bir yılda, Murgul tesisinde 3,5 milyon ton cevher ve 130.000 ton %22-23 bakır içerikli konsantre [40], [41], Küre tesisinde ise 1,15 milyon ton cevher, 170.000 ton %17-18 bakır içerikli konsantre ve 400.000 ton pirit konsantresi üretmektedir [41], [42]. Eti Bakır Samsun İzabe tesislerinde yılda, 42.000 ton katot bakır ve 200.000 ton sülfürik asit üretilmektedir [43].

Bu üretimler için tesis içerisinde, satın alınan konsantreler ve cüruf flotasyon tesisi konsantresi için stok binası, ergitme safhası için flash fırın ve konvertör, üretimde açığa çıkan SO₂ gazı kazanımı için asit tesisi ve bakır saflaştırmak için Anot döküm ve elektroliz tesisleri bulunmaktadır.

5.1. Samsun Cüruf Flotasyon Tesisi

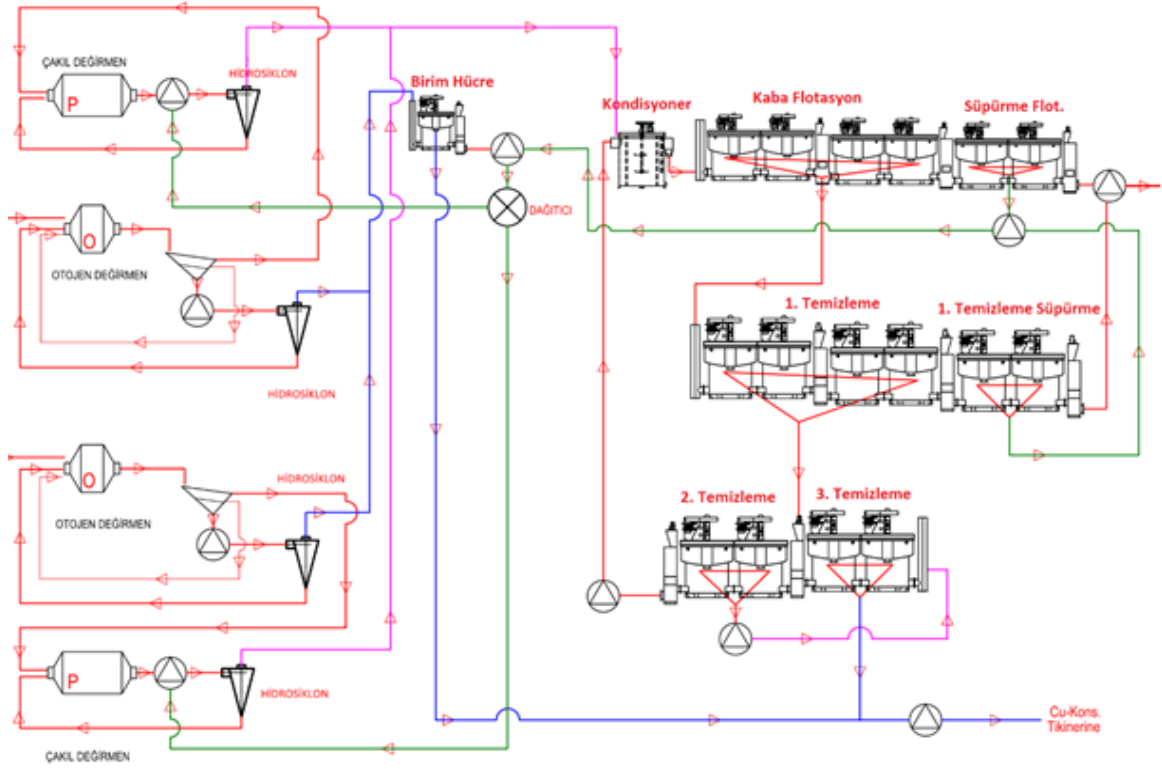
Samsun cüruf flotasyon tesisi, flash ve konvertör cüruflarında kalan bakırın yüksek verimle tekrar kazanılması için kurulmuştur. Besleme %80 Fırın Cürufu (%0,8-2,5 Cu), %20 Konvertör Cürufu (%5-7 Cu) karışımı ile yapılmaktadır, besleme tenörü %3-5 Cu içeriğinde tutulmaktadır. Çizelge 5.1'de flotasyon tesisine beslenen cürufunun ortalama kimyasal analizi verilmiştir.

Çizelge 5.1 Tipik cüruf kimyasal içeriği

Cu	%3-5
Zn	%1-3
SiO ₂	%28-32
Fe	%42-50
Al	%2-3
Ca	%0,25-1
Au	0,3-0,5 ppm
Ag	8-15 ppm

Cüruf içerisinde bakır kaynağı olarak bornit, dijenit, nabit bakır ve kalkopirit mineralleri sıralanabilir [2].

Tesiste öğütme için toplam 70 ton saat kapasite ile çalışan iki otojen ve iki çakıl değirmen ile P₈₀: 45 µm tane boyuna öğütme yapılmaktadır. Sınıflandırma, her bir otojen değirmen için bir elek ve bir grup 400 mm (2 adet) hidrosiklon ile her bir çakıl değirmen için ise bir grup 250 mm (4 adet) hidrosiklon ile yapılmaktadır. Şekil 5.1'de Samsun Cüruf Flotasyon tesisi akım şeması verilmiştir.



Şekil 5.1 Eti Bakır Samsun cüraf flotasyon tesisi akım şeması

Otojen değirmende öğütülen malzeme, çakıl değirmene girmeden önce hâlihazırda serbest olan iri tanelerin alınması için birim (Unit Cell) hücreye beslenmektedir. Birim hücrenin köpüğü ürün olarak alınmakta, yüzmeyen kısmı ise çakıl değirmene beslenmektedir. Çakıl değirmende öğütülen $p_{80} 45 \mu\text{m}$ cüraf ise flotasyon devresine beslenmektedir. Toplayıcı ve köpürtücü beslemeleri; otojen değirmen çıkışı, çakıl değirmen çıkışı ve kondisyonerde yapıldığı gibi, flotasyon devresi içerisinde kaba devre sonu, temizleme süpürme devresi başında da yapılmaktadır.

Flotasyon devresi, Kaba $4 \times 20 \text{ m}^3$ Tank Hücre, Süpürme $2 \times 20 \text{ m}^3$ Tank Hücre, 1. Temizleme, $4 \times 5 \text{ m}^3$ Tank Hücre, 2. Temizleme $2 \times 5 \text{ m}^3$ Tank Hücre, 3. Temizleme $2 \times 5 \text{ m}^3$ Tank Hücre, Temizleme Süpürme $2 \times 5 \text{ m}^3$ Tank Hücre ve $1 \times 5 \text{ m}^3$ Birim Hücre banklarından oluşmaktadır.

Kullanılan toplayıcılar Ksantat SIPX ve Merkaptan Cytec AP407 olmakla beraber, verim artışı için denemeler de yapılmaktadır. Köpürtücü olarak MIBC kullanılmaktadır.

Mineralojik çalışmalar sonucunda, hem iri hem de ince boylarda serbestleşmenin olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan kimyasalların bu durumlara cevap verebilecek nitelikte olması istenmektedir.

6. Sonuç Tespiti

Bu tezde, Samsun Eti Bakır izabesi cürufları flotasyonunda uç boylarda, iki farklı toplayıcı kullanımının verim üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken tesis içerisinde iri boyu temsil eden ve birim hücre beslemesi olan 150 μm , ince boyu temsil eden ve kaba devre beslemesi olan 45 μm tane boyutları çalışılmıştır. Tesiste yapılan çalışmalarda kaçakların daha çok ince (-20 μm) boyda olduğu belirlenmiş, büyük bir kısmının da mikron altı tanelerde olduğu görülmüştür. Tesis genel verimini arttırmak amacı ile iri ve ince boy kazanımının iyileştirilmesi gerekmektedir. İri boyun kazanımını iyileştirilerek ince hattı rahatlatmak ve muhtemel aşırı öğütmeyi azaltmak istenmektedir. Literatürde iki farklı toplayıcı kullanımının yararları göz önüne alındığında denemelerin de farklı gruptan ikili toplayıcılar ile yapılması düşünülmüştür. Yapılan testlerde genel verimin iri ve ince tane fraksiyonunda artması beklenmiş ve bu artışın en çok sağlandığı toplayıcı tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

7. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

7.1. Malzeme ve Yöntem

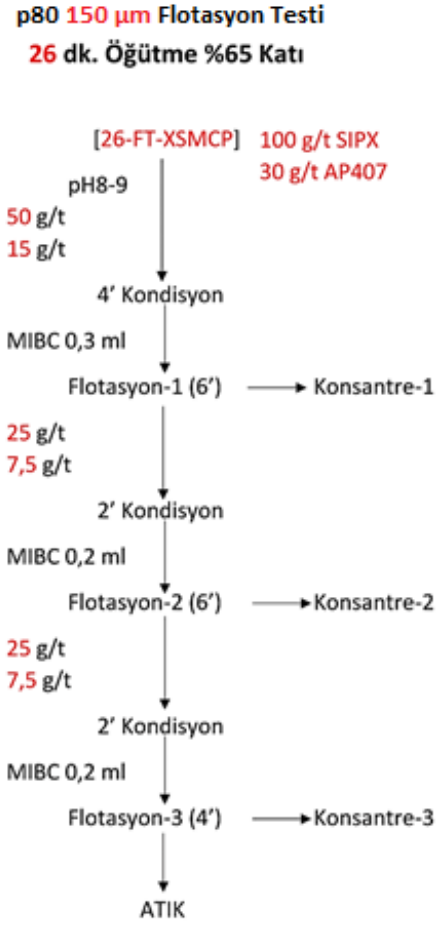
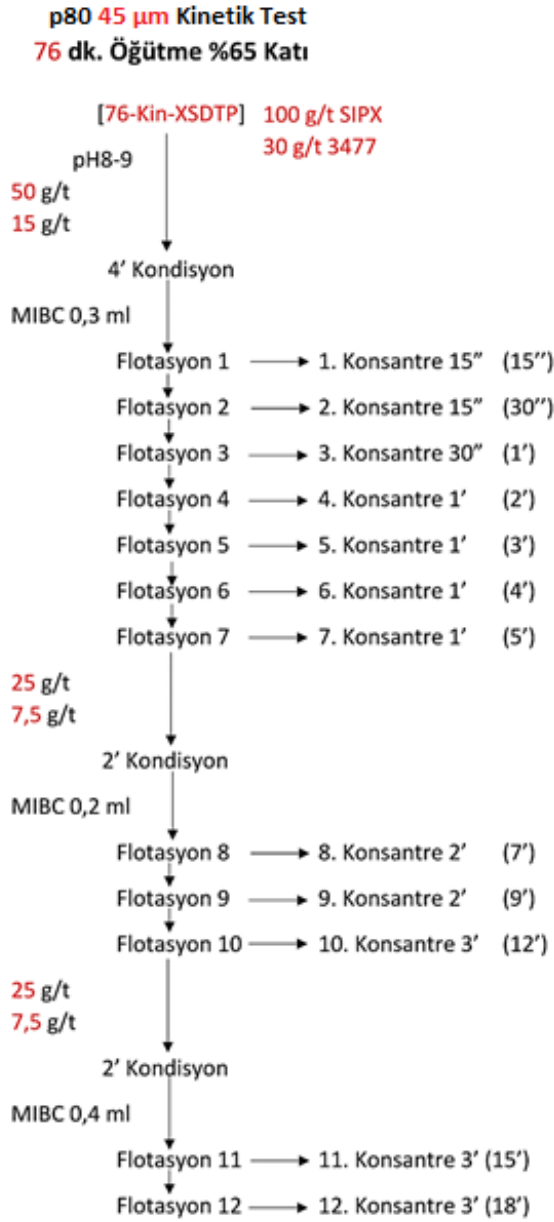
Bu çalışmada kullanılan numune, Samsun Eti Bakır Cüruf Flotasyon tesisi beslemesinden alınan, %80 flash fırın, %20 konvertör cürufu karışımıdır. Numuneler çeneli ve merdaneli kırıcılar ile -3,15 mm'ye kırılmış ve konileme-dörtleme yöntemi ile ~1000 gramlık paketlere bölünmüştür. İlk olarak %65 katı oranında 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 dakikalık sürelerde Ø20 cm x h: 20 cm boyutlarında laboratuvar tipi bilyalı değirmen ve çelik bilyalar ile öğütme testleri yapılmış ve iri serbestleşme boyu olan 150 µm ve ince serbestleşme boyu olan 45 µm için öğütme süreleri belirlenmiştir. Yüksek toplayıcı özelliğinden dolayı ana toplayıcı olarak seçilen Ksantat grubundan potasyum amil ksantat (KAX) ve sodyum izopropil ksantat (SIPX) ile kinetik deneyler yapıp, birim zamandaki flotasyon etkinliğini gösteren k değerleri karşılaştırılarak ksantat grubu ana toplayıcı tipi ve flotasyon süresi belirlenmiştir. EK 6'da testlerden alınan konsantre ve atıkların kütle bilgileri verilmiştir. Kinetik testlerde birinci derece kinetik formülü (8) kullanılmıştır.

$$(8) R = R_{\infty} \times (1 - e^{-k \times t})$$

İkili toplayıcı dozajı olarak %77 ana toplayıcı, %23 yardımcı toplayıcı oranı ekonomiklik düşünülerek başlangıç oranı olarak kullanılmıştır. Ana toplayıcı olarak seçilen SIPX ve ikinci toplayıcı grupları olarak seçilen R-İzobütil Ditiyofosfat (Cytec 3477), Modifiye Tiyonokarbamat (Cytec XD5002), Merkaptobenzotiyooazol (Cytec AP407) ve ikinci Ksantat (KEX) ile iri ve ince serbestleşme boyları için kinetik testler ve flotasyon testleri yapılmıştır. EK 7'de kinetik testlerden, EK 8'de de flotasyon testlerinden alınan konsantre ve atıkların kütle bilgileri verilmiştir. Şekil 7.1'de yapılan kinetik ve flotasyon testlerinin yöntemi verilmiştir. Flotasyon testleri %40 katı oranında ve Denver D12 model flotasyon makinası kullanılarak yapılmıştır. Kinetik testler 18 dakikalık süre ile yapılmıştır. Kimyasal besleme, başta %50, 5. dakikada %25 ve 12. dakikada %25 olarak kademeli yapılmıştır. Köpürtücü olarak hem toplayıcı etkisi olmadığından hem de kırılğan olmasından dolayı MIBC kullanılmıştır. Flotasyon testleri ise kinetik testleri ile belirlenen 16 dakikalık sürede yapılmış ve kimyasal besleme yine kademeli olarak yapılmıştır. Flotasyon testlerinin konsantrelerine 200, 150, 100, 75, 53, 45, 38 ve 20 mikronluk elekler ile tane boyu

analizleri yapılmıştır. Her iki serbestleşme boyu için tane boyu bazında kimyasal analiz yapılmış, fraksiyonel bakır verimi ve tenörü ilişkileri araştırılmıştır.

Cürufun fiziksel ve kimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda cürufun yoğunluğu piknometre testi ile belirlenmiştir. Hem besleme olarak cürufun kendisine hem de flotasyon testleri sonucunda elde edilen ürünlere kimyasal analiz yapılmış, bu testler ArGeTest laboratuvarında bulunan Perkin Elmer PinAAcle 500 Flame Atomic Absorption Spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cürufun mineralojik bileşimi ile ilgili bilgiler, MTA laboratuvarında bulunan FEI Quanta 400 MK2 model Taramalı Elektron Mikroskobu üzerinde çalışan JKTech MLA (Mineral Liberation Analyser) Suite 2008 System yazılımı ile EDAX Genesis XM4i EDS dedektörü ile yapılmış çalışmaların raporlarından alınmıştır. Mineralojik analiz kapsamında, ana minerallerin miktarının belirlendiği modal analizin yanı sıra bu minerallerin serbestleşme ve diğer minerallerle bağlılık durumlarını gösteren kenetlenme analizleri de +106 µm, -106+53 µm, -53+38 µm ve -38+23 µm tane boyu bazında yapılmıştır.



Şekil 7.1 Kinetik ve flotasyon test yöntemleri (Kırmızı ile gösterilen kısımlar örnek olarak verilmiştir)

7.2. Cüruf Karakterizasyonu

7.2.1 Kimyasal Özellikler

Cürufun kimyasal analizi Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Cürufun kimyasal bileşimi

Element	%	Element	%
Al	0,1472	K	0,0002
Bi	0,0003	Mg	0,2703
C	0,0003	Na	0,1287
Ca	0,4387	O	28,3744
Cr	0,0165	Pb	0,0208
Cu	4,1851	S	1,4605
Fe	51,2617	Si	14,7194
H	0,0111	Zn	0,5649

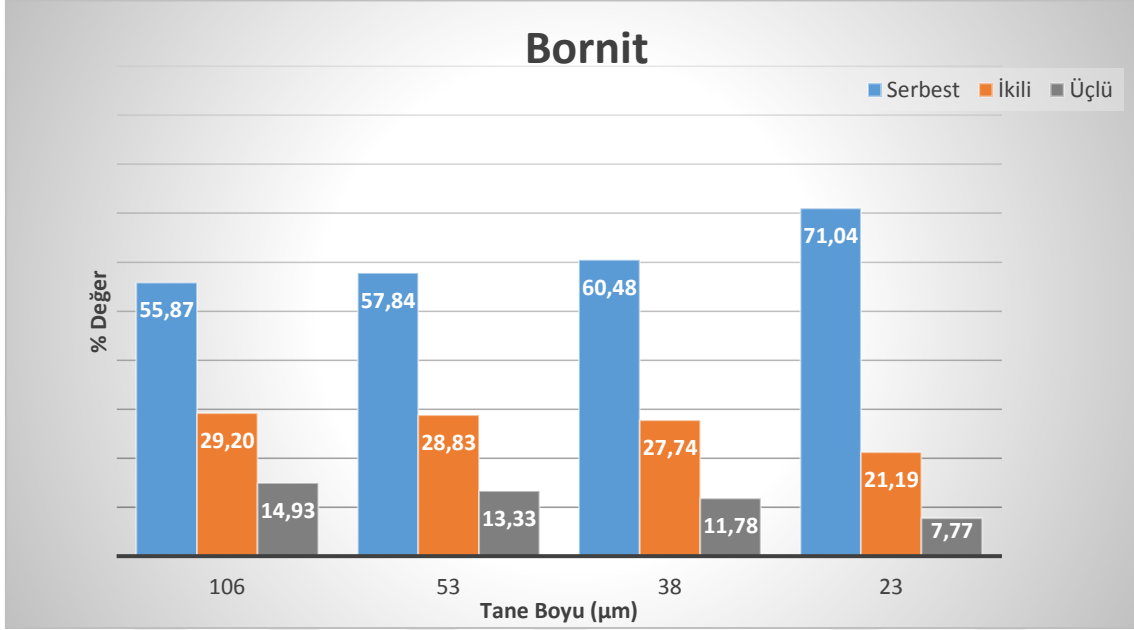
7.2.2 Mineralojik Özellikler

Optik mikroskop ve SEM-EDS analizleri ile belirlenen başlıca bakır mineralleri Bornit (Cu_5FeS_4), Kalkopirit (CuFeS_2), Nabit Bakır (Cu), Dijenit (Cu_9S_5) olup bir miktar Sfalerit (ZnS) de görülmüştür. Majör mineraller yan kayaç mineralleri olup iskorit, demir oksitler ve hornblend olarak belirlenmiştir. Bakırın genellikle sülfürlü formda olduğu, oksitli (küpşit) ve sülfatlı (broşantit) formlarının eser miktarda olduğu görülmüştür [2].

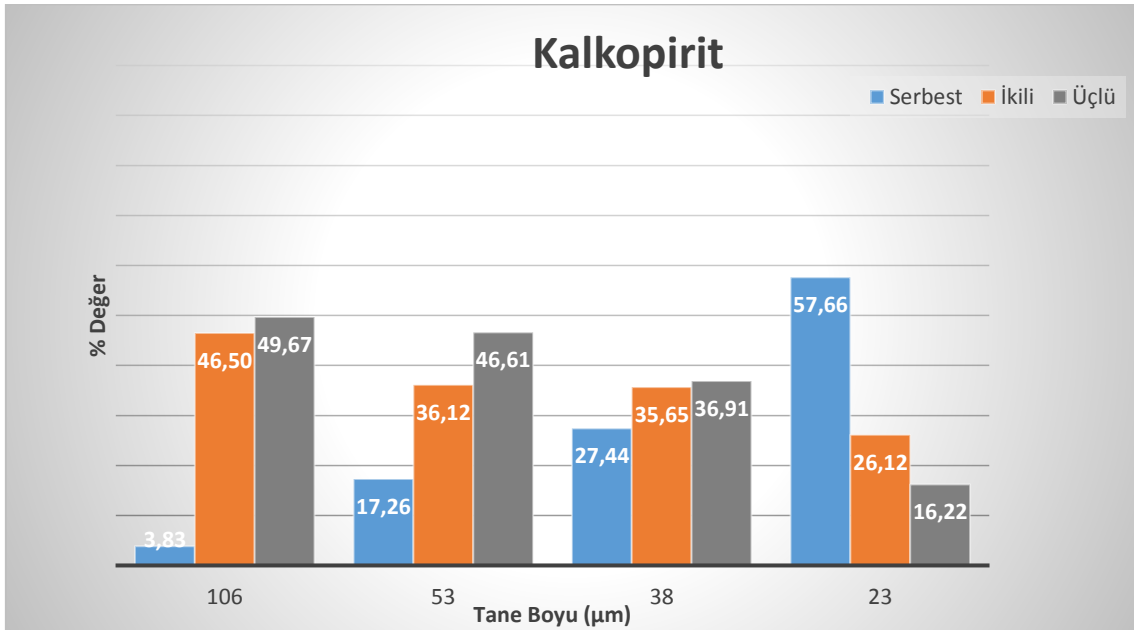
Modal mineralojik analizlerde, bakır tenörü +106 μm 'den -38+23 μm tane boyuna doğru %2,77'den %6,43'e düzenli artış göstermektedir. En çok bulunan bakır minerali bornit, sonraki dijenit olarak belirlenmiştir. Bornit içeriği %1,45 ile %3,58 arasında, dijenit ise %0,76 ile %2,62 arasında değişmektedir. Tane boyu incelidikçe bornit ve dijenit miktarları artmaktadır. Galen %0,01 ile %0,05 arasında, Sfalerit ise %0,66 ile %1,47 arasında değişmektedir. En yüksek oranda bulunan mineral ise, bir demir silikat türü olan fayalittir [2].

Element dağılımında bakır için önemli katkı sağlayan minerallerin bornit, dijenit, nabit bakır ve kalkopirit olduğu görülmüştür. Serbestleşme derecelerinde ise; Bornitte %55,13 - %70,98 arasında değişen serbestleşmenin en yüksek derecesinin %70,98 ile -38+23 μm tane boyunda gerçekleştiği görülmüştür. Dijenitte %76,18 - %83,21 arasında değişen serbestleşmenin, beklenmedik şekilde en yüksek dereceleri %83,02 ile -106+76 μm ve %83,21 ile -75+53 μm tane boylarında olduğu

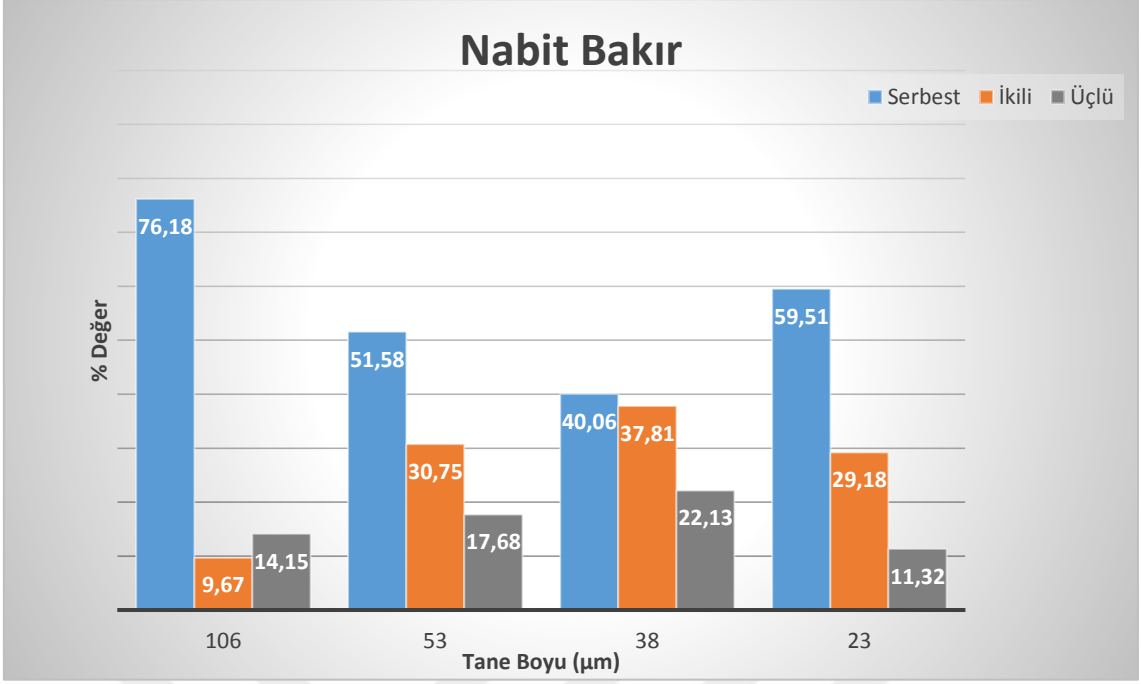
görülmüştür. Nabit bakırda %36,89 - %76,18 arasında değişen serbestleşmenin en yüksek derecesi +106 µm tane boyunda; Kalkopirit için ise %3,83 - %58,44 arasında değişen serbestleşmenin en yüksek derecesi %58,44 ile -38+23 µm tane boyunda görülmüştür [2]. Bakır mineralleri serbestleşme grafikleri Şekil 7.2'de bornit, Şekil 7.3'te kalkopirit, Şekil 7.4'te nabit bakır, Şekil 7.5'te dijenit için verilmiştir. EK 9'da ise detaylı mineralojik analiz sonuçları verilmiştir.



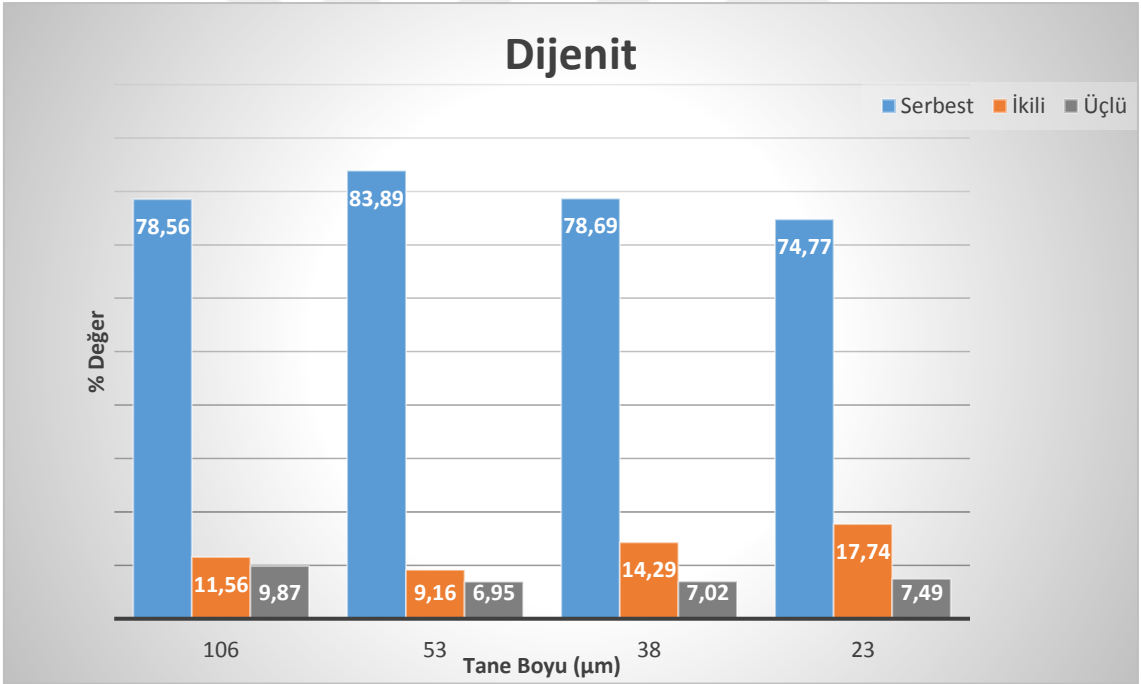
Şekil 7.2 Bornit serbestleşme grafiği



Şekil 7.3 Kalkopirit serbestleşme grafiği



Şekil 7.4 Nabit Bakır serbestleşme grafiği



Şekil 7.5 Dijenit serbestleşme grafiği

Çizelge 7.2'de bakır minerallerinin birbirleri ile olan bağılılık detayları verilmiştir.

Çizelge 7.2. Bakır mineralleri bağıllık ilişkileri

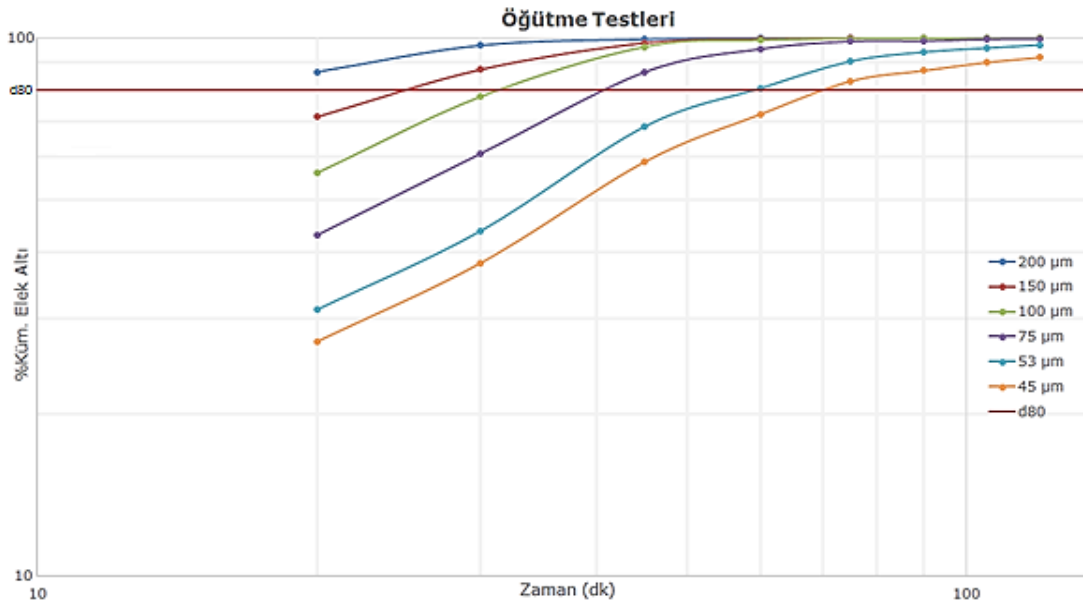
+106 µm İkili Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,00	3,78	0,40	0,00	0,08
Kalkopirit	12,27	0,00	-	0,00	0,00	0,03
Nabit Bakır	3,98	0,00	0,00	-	0,00	0,32
Dijenit	1,36	0,80	0,00	1,10	0,00	-
+106 µm Üçlü Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,04	0,94	0,00	0,00	0,04
Kalkopirit	2,60	0,00	-	0,00	0,00	0,00
Nabit Bakır	0,12	0,00	0,03	-	0,00	0,03
Dijenit	0,08	0,35	0,00	0,01	0,00	-
-75+53 µm İkili Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,08	3,05	0,43	0,14	1,63
Kalkopirit	10,08	0,00	-	0,00	0,00	0,12
Nabit Bakır	9,74	2,38	0,00	-	3,37	2,46
Dijenit	3,69	0,11	0,00	0,06	0,28	-
-75+53 µm Üçlü Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,04	0,98	0,20	0,09	0,17
Kalkopirit	4,74	0,01	-	0,02	0,02	0,09
Nabit Bakır	2,57	0,01	0,07	-	1,85	0,82
Dijenit	0,53	0,02	0,03	0,06	0,02	-
-53+38 µm İkili Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,01	2,63	0,90	0,30	1,61
Kalkopirit	9,23	0,00	-	0,27	0,00	0,25
Nabit Bakır	10,04	0,15	0,19	-	10,83	3,86
Dijenit	5,09	0,49	0,01	0,32	0,37	-
-53+38 µm Üçlü Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,03	1,21	0,22	0,06	0,31
Kalkopirit	4,84	0,02	-	0,01	0,05	0,07
Nabit Bakır	2,93	0,00	0,06	-	4,81	0,44
Dijenit	0,80	0,05	0,04	0,03	0,02	-
-38+23 µm İkili Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,06	1,62	0,38	0,00	0,30
Kalkopirit	3,23	0,32	-	0,00	0,00	2,76
Nabit Bakır	4,04	6,57	0,00	-	0,00	3,16
Dijenit	0,86	0,53	0,95	0,22	0,00	-
-38+23 µm Üçlü Bağlı Mineral Oranları %						
	Bornit	Broşantit	Kalkopirit	Nabit Bakır	Küprit	Dijenit
Bornit	-	0,12	0,63	0,11	0,00	0,60
Kalkopirit	1,84	0,07	-	0,06	0,00	1,17
Nabit Bakır	0,92	2,03	0,27	-	0,00	0,94
Dijenit	0,57	0,20	0,40	0,07	0,01	-

7.2.3 Cüruf Yoğunluğu

Tekrarlı yapılan piknometre testleri sonucunda cürufun ortalama yoğunluk değeri $3,93 \text{ g/cm}^3$ ölçülmüştür.

7.3. Öğütme Testleri

Flotasyon testlerinde P_{80} $150\mu\text{m}$ ve P_{80} $45\mu\text{m}$ için gerekli olan öğütme süreleri 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 dakikalık sürelerde yapılan testler ile sırasıyla 26 ve 71 dakika olarak belirlenmiştir, Çizelge 7.3'te 26 ve 71 dakika öğütme testleri elek analizleri, EK 1'de test sonuçları, Şekil 7.6'da tane boyu–zaman grafiği verilmiştir.



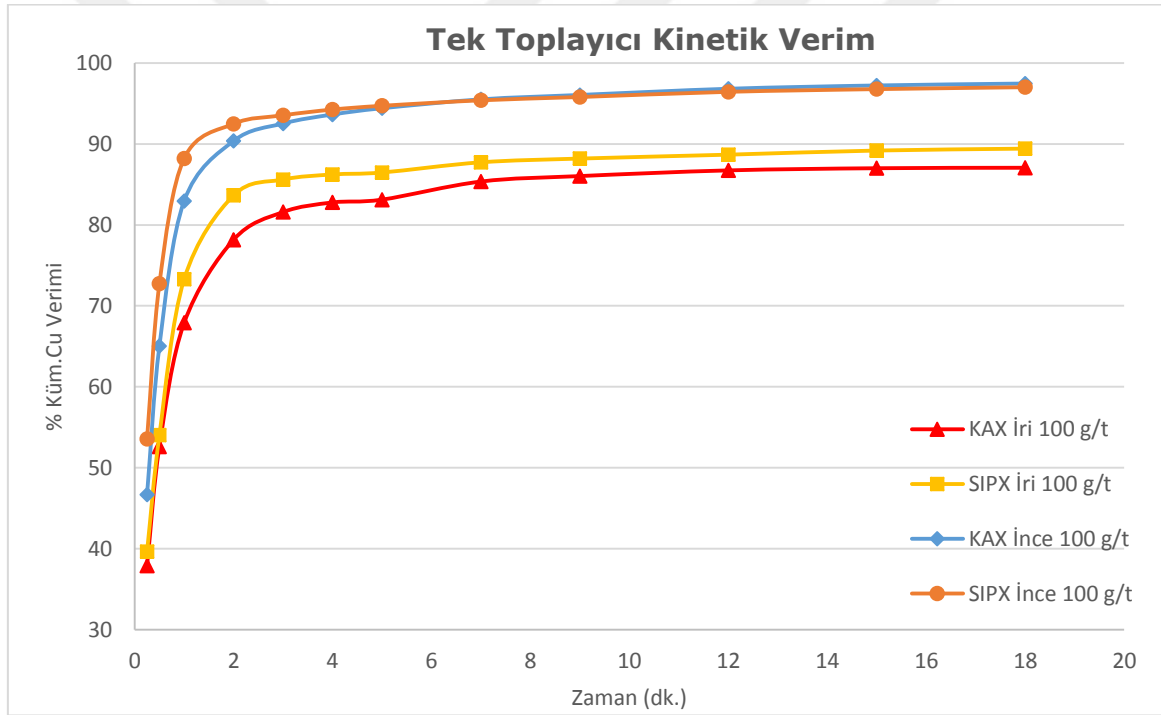
Şekil 7.6 Öğütme testleri tane boyu-zaman grafiği

Çizelge 7.3 Öğütme testleri tane boyu dağılımları

Boy (μm)	26' Öğütme		71' Öğütme	
	% Ağırlık	Küm. Elek Altı %	% Ağırlık	Küm. Elek Altı %
200	6,57	93,43	0,13	99,87
150	12,26	81,17	0,19	99,67
100	16,96	64,21	0,35	99,32
75	15,50	48,71	2,22	97,11
53	13,58	35,13	10,22	86,88
45	5,68	29,45	7,76	79,13
38	4,32	25,13	11,53	67,60
20	5,28	19,85	10,58	57,02
-20	19,85	0,00	57,02	0,00

7.4. Kinetik Testler

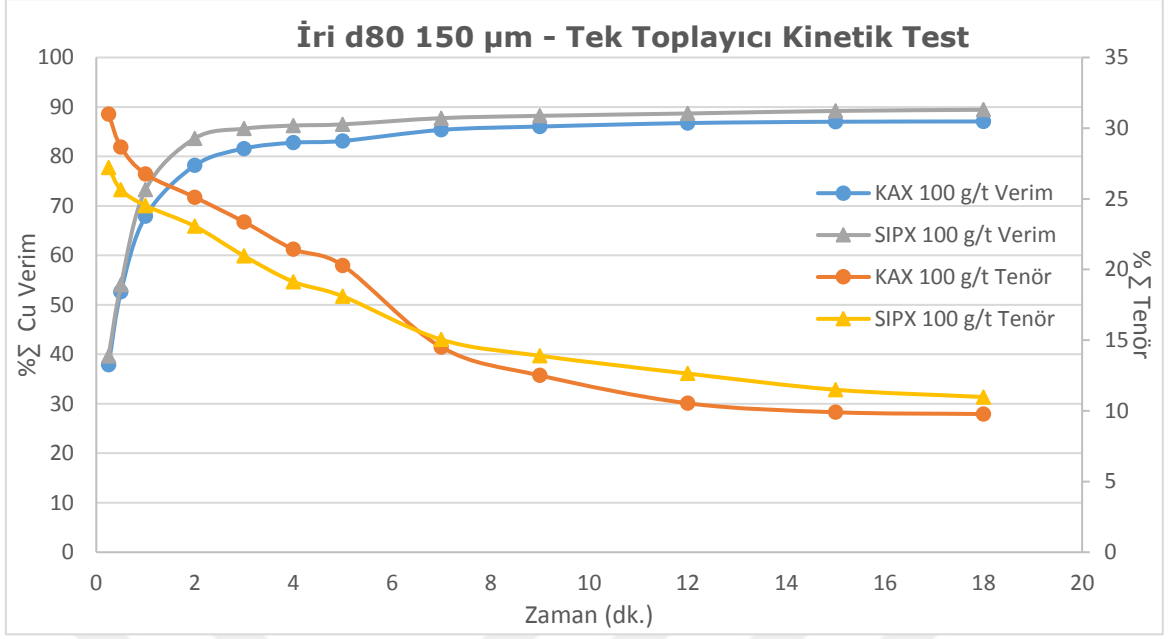
İri ve ince boy için flotasyon süresini belirleme amacıyla iki grup kinetik test planlanmıştır. Birinci grupta, ikili toplayıcı testlerinde kullanılacak ana toplayıcı ksantat tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İri ve ince boylarda 100 g/t dozajında KAX ve SIPX ile testler yapılmış, tenör, verim ve kinetik değerler karşılaştırılmıştır. Şekil 7.7'de verilen tek toplayıcı kinetik test verim grafiğine göre; her iki boy için de SIPX'in verim değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle ikili toplayıcı testlerinde SIPX ana toplayıcı olarak seçilmiştir. Çizelge 7.4'te ise bu testlerin sayısal değerleri verilmiştir. Tek toplayıcı kinetik testlerinin verim-tenör grafikleri iri boy için Şekil 7.8'de, ince boy için ise Şekil 7.9'da verilmiştir. EK 2'de iri boy, EK3'te ince boy için kinetik testlerin uygulama yöntemleri verilmiştir.



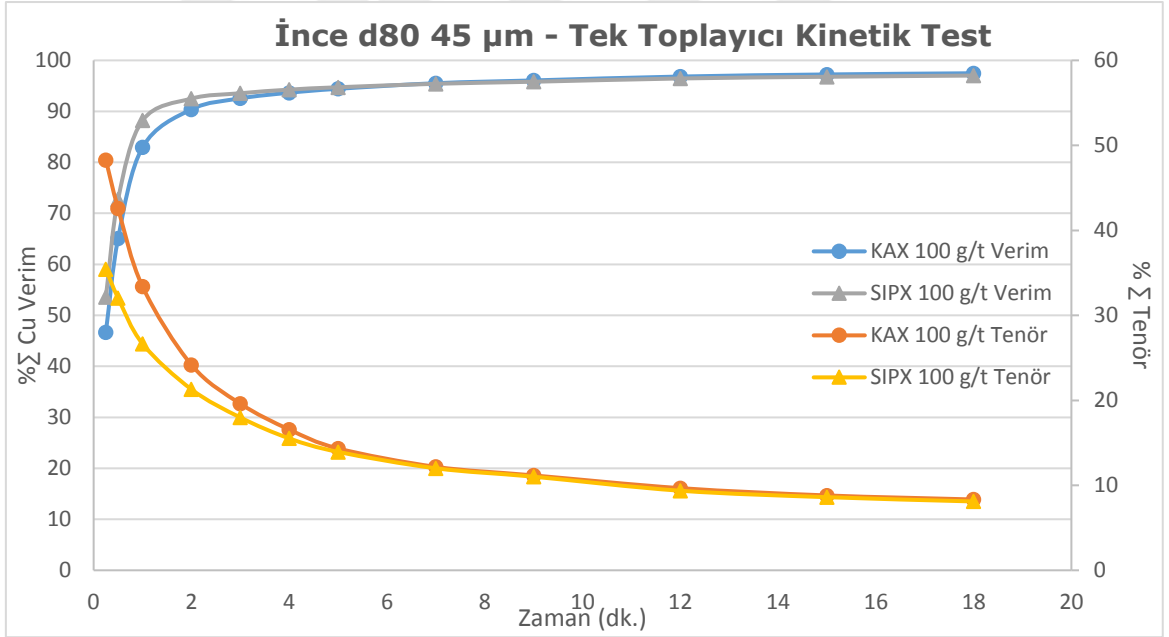
Şekil 7.7 100 g/t KAX ve SIPX iri ve ince kinetik test verim grafiği

Çizelge 7.4 Tek toplayıcı testleri sonuçları

Test	R_{∞}	t	t'de R	K	Max. R	Max. %Cu
İri KAX	87,50	16,00	87,03	0,32667	87,07	9,78
İri SIPX	89,50	16,00	89,27	0,37274	89,43	10,98
İnce KAX	97,50	16,00	97,32	0,39342	97,48	8,33
İnce SIPX	97,00	16,00	96,86	0,40880	97,02	8,10

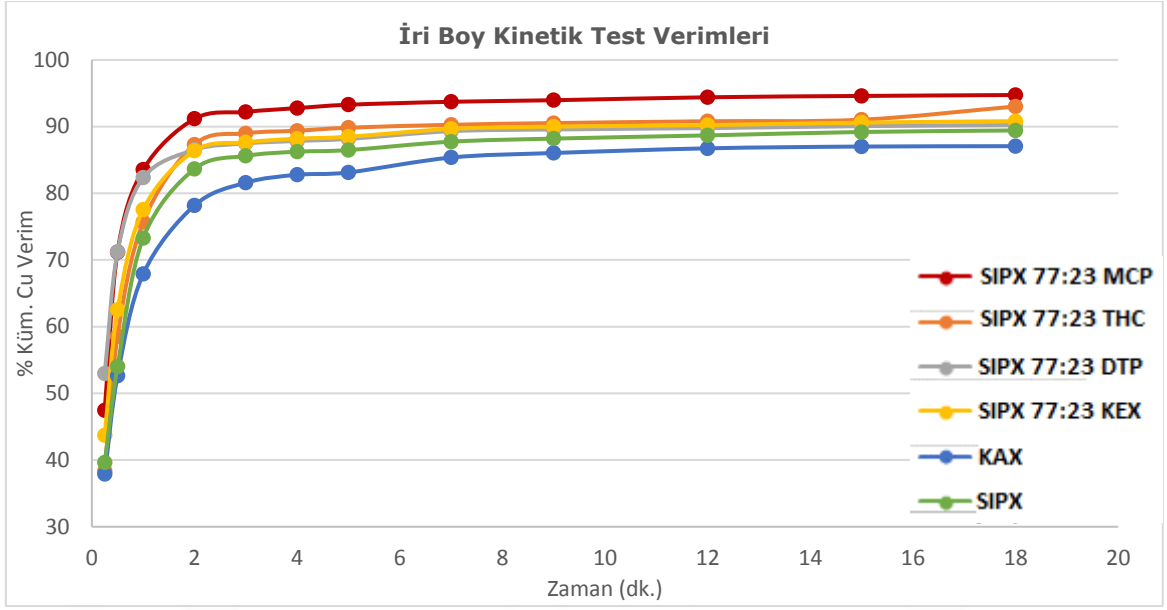


Şekil 7.8 KAX ve SIPX +150 mikron kinetik test grafiği



Şekil 7.9 KAX ve SIPX -45 mikron kinetik test grafiği

İkinci grup kinetik testlerde ise SIPX ile ikincil toplayıcı kinetik verileri karşılaştırılmıştır. Bu testlerin yapılmasındaki amaç hangi karışımın daha iyi sonuç verdiğinin belirlenmesidir. Birinci grup ile aynı şartlarda yapılan testlerde, 100 g/t SIPX ve 30 g/t ikinci toplayıcı kullanılmış, sonuçlar aynı şekilde kıyaslanmıştır. İri boy kinetik test verim grafiği Şekil 7.10'da, ince boy kinetik test verim grafiği ise Şekil 7.11'de verilmiştir. Çizelge 7.5'te iri boy kinetik testlerin sayısal değerleri, Çizelge 7.6'da ise ince boy kinetik testlerinin sayısal değerleri verilmiştir.

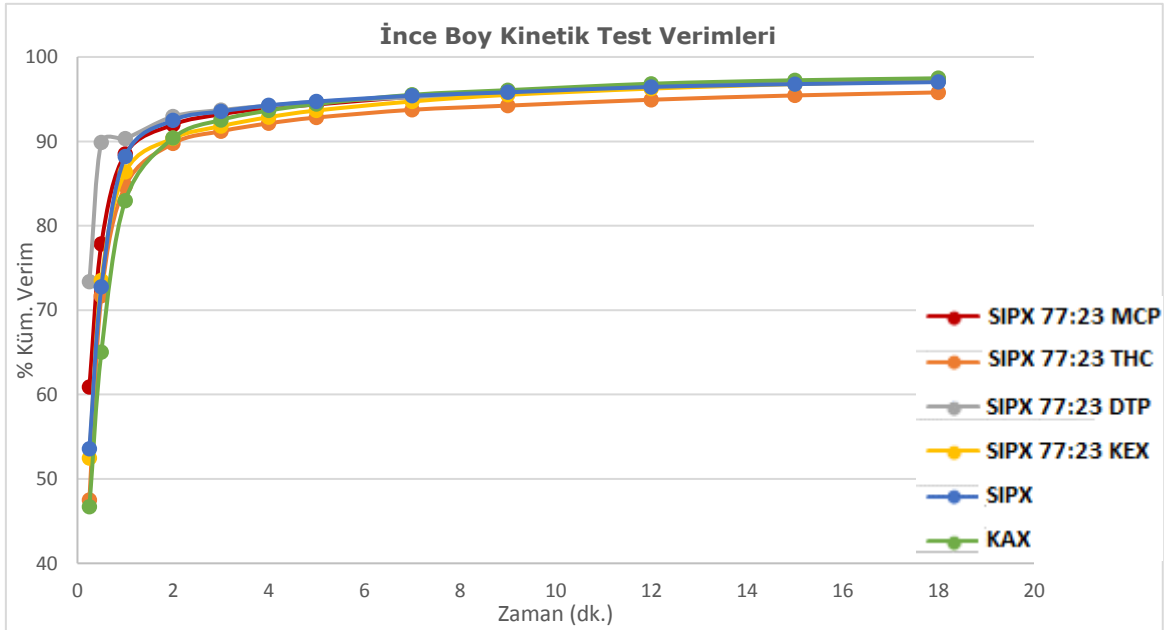


Şekil 7.10 +150 mikron ikili toplayıcı kinetik test verim grafiği

(MCP: Merkaptobenzotiyozol, THC: Tiyonokarbamat, DTP: Ditiyofosfat, KEX: Etilksantat)

Çizelge 7.5 +150 mikron ikili toplayıcı kinetik testleri sonuçları

Kimyasal	R_{∞}	t	t'de R	K	Max. R	Max. %Cu
KAX	87,50	16	87,03	0,32667	87,07	9,78
SIPX	89,50	16	89,27	0,37274	89,43	10,98
SIPX3:1MCP	95,00	16	94,65	0,34981	94,74	10,13
SIPX3:1THC	93,50	16	91,70	0,24689	93,02	9,67
SIPX3:1DTP	90,50	16	90,13	0,34354	90,24	9,43
SIPX3:1KEX	91,00	16	90,68	0,35236	90,82	10,32



Şekil 7.11. -45 mikron ikili toplayıcı kinetik test verim grafiği

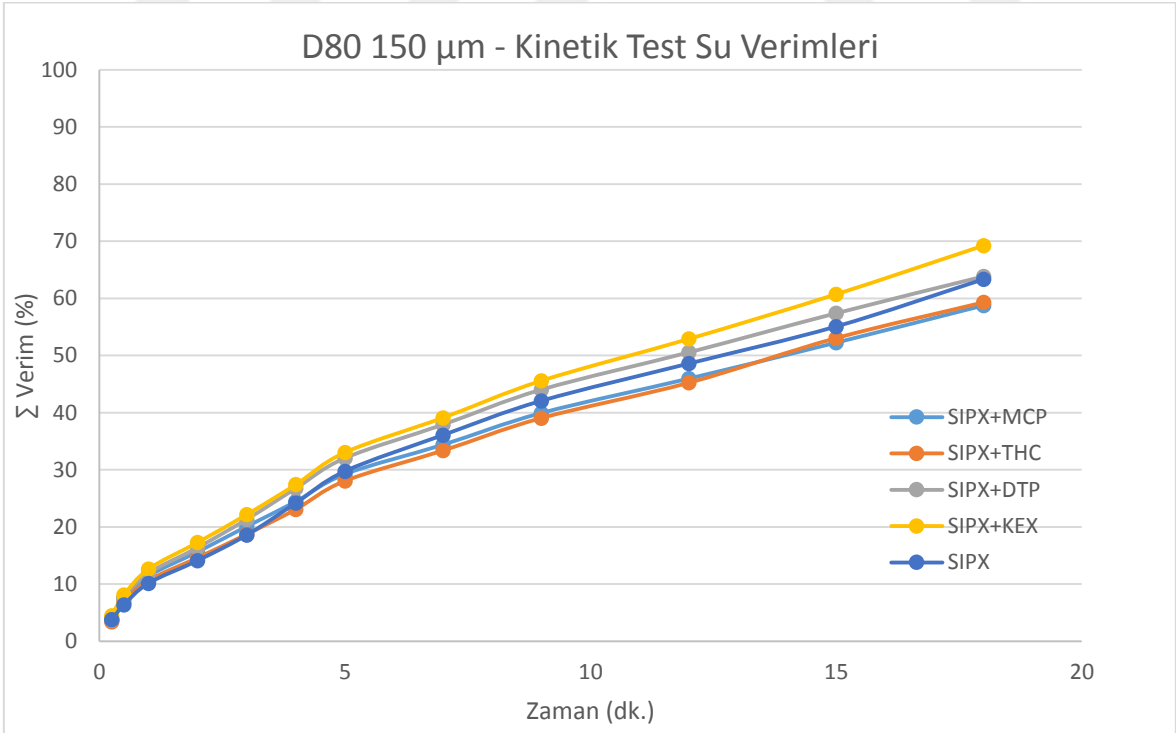
Çizelge 7.6 -45 mikron ikili toplayıcı kinetik testleri sonuçları

Kimyasal	R_{∞}	t	t'de R	K	Max. R	Max. %Cu
KAX	97,50	16	97,32	0,39342	97,48	8,33
SIPX	97,00	16	96,86	0,40880	97,02	8,10
SIPX3:1MCP	97,50	16	97,02	0,33218	97,21	7,32
SIPX3:1THC	96,00	16	95,56	0,33675	95,80	6,64
SIPX3:1DTP	97,50	16	97,18	0,35697	97,37	6,75
SIPX3:1KEX	97,50	16	97,18	0,35697	97,14	7,33

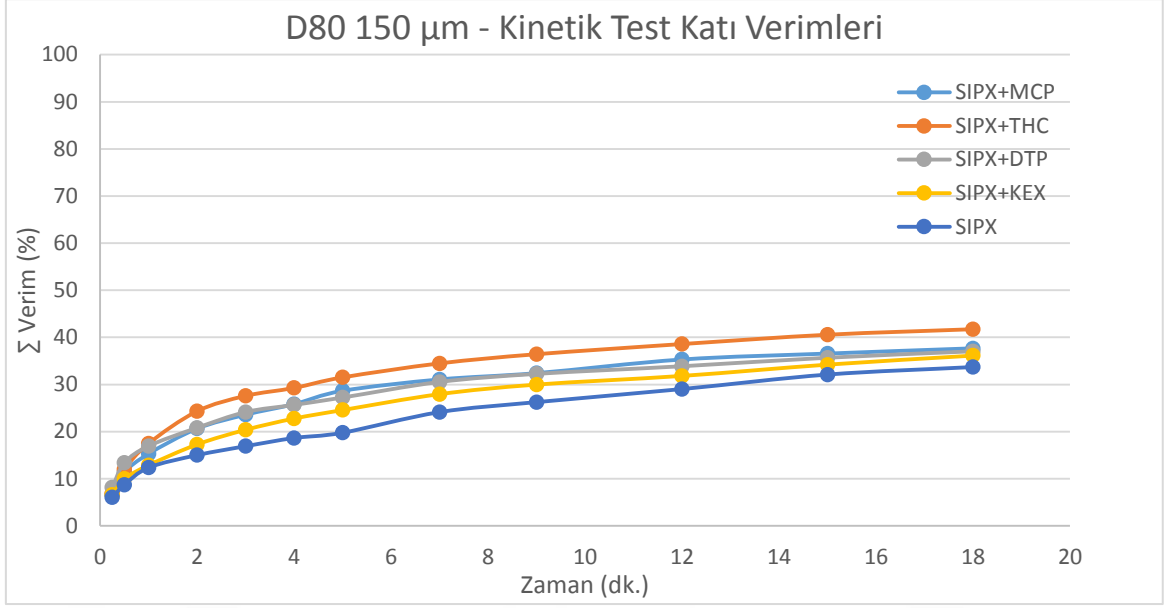
Tek ve çift toplayıcı kullanılarak yapılan kinetik testlerin detayları sırasıyla EK 6 ve EK 7'de verilmiştir.

Kinetik test, su verim grafikleri iri ve ince boy için sırasıyla Şekil 7.12 ve Şekil 7.14'te, katı verim grafikleri iri ve ince boy için sırasıyla Şekil 7.13 ve Şekil 7.15'te verilmiştir.

Su ve katı verimleri incelendiğinde, genelde su verimi ile katı veriminin de arttığı görülmüştür. Ancak bu durum, ince boyda mekanik taşınım (entrainment) kazanılan katı miktarının fazla olmasından dolayı daha belirgindir.

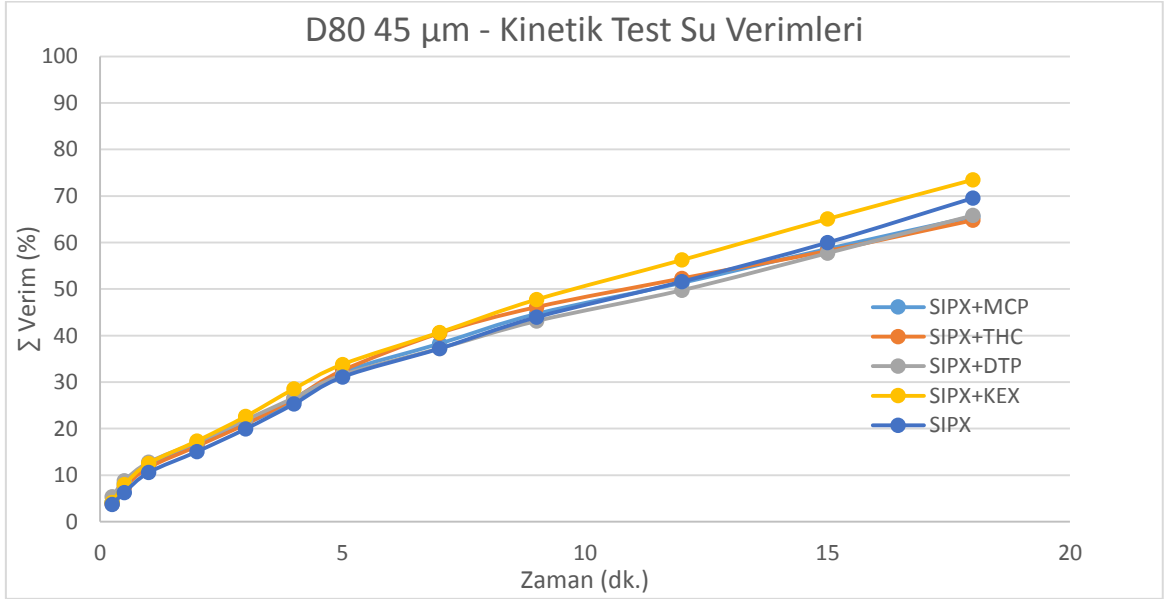


Şekil 7.12. +150 mikron kinetik testleri su verimleri

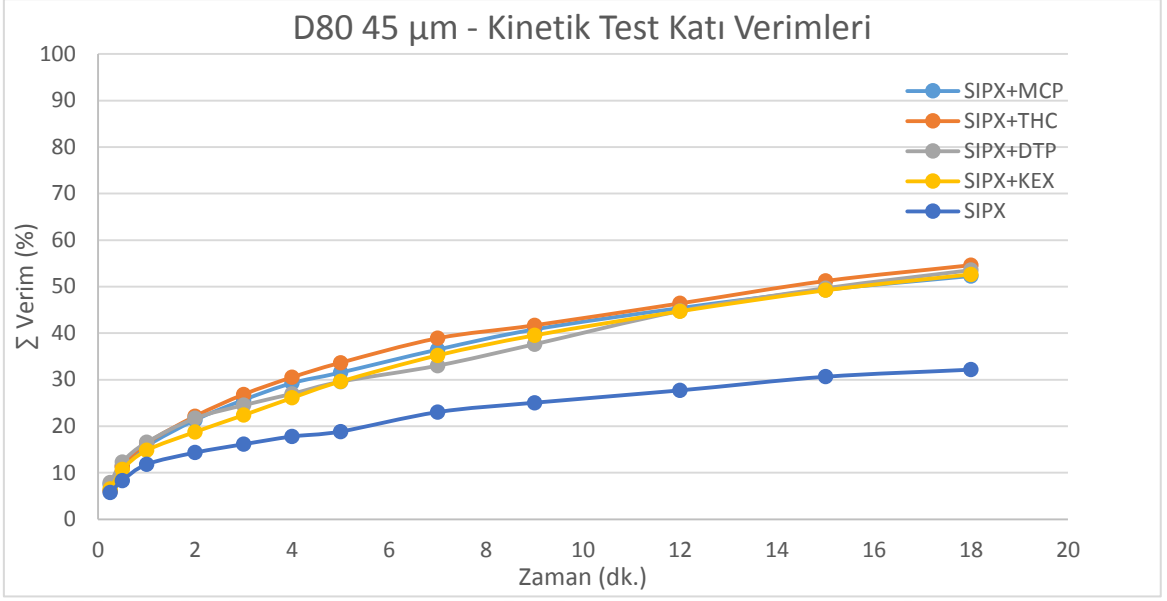


Şekil 7.13 +150 mikron kinetik testleri katı verimleri

İri boyda su verimi artışı ile yüzeysel bir verim artışı ve tenör düşüşü kaydedilmiştir. Katı verimi artışı ile verim keskin şekilde artmakta, tenör de aynı keskinlikle düşmektedir. DTP için 12. dakikadan 15. dakikaya geçişte katı verimi %4,88, su verimi %15,33 artmış ve verim 0,29 artmış tenör 0,49 düşmüştür. Bu durumun sebebi iri taneli gang minerallerinin mekanik taşınımının zor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısı ile katı miktarı artışının ana sebebi kimyasalların toplama kuvvetlerinden kaynaklandığı söylenebilir.

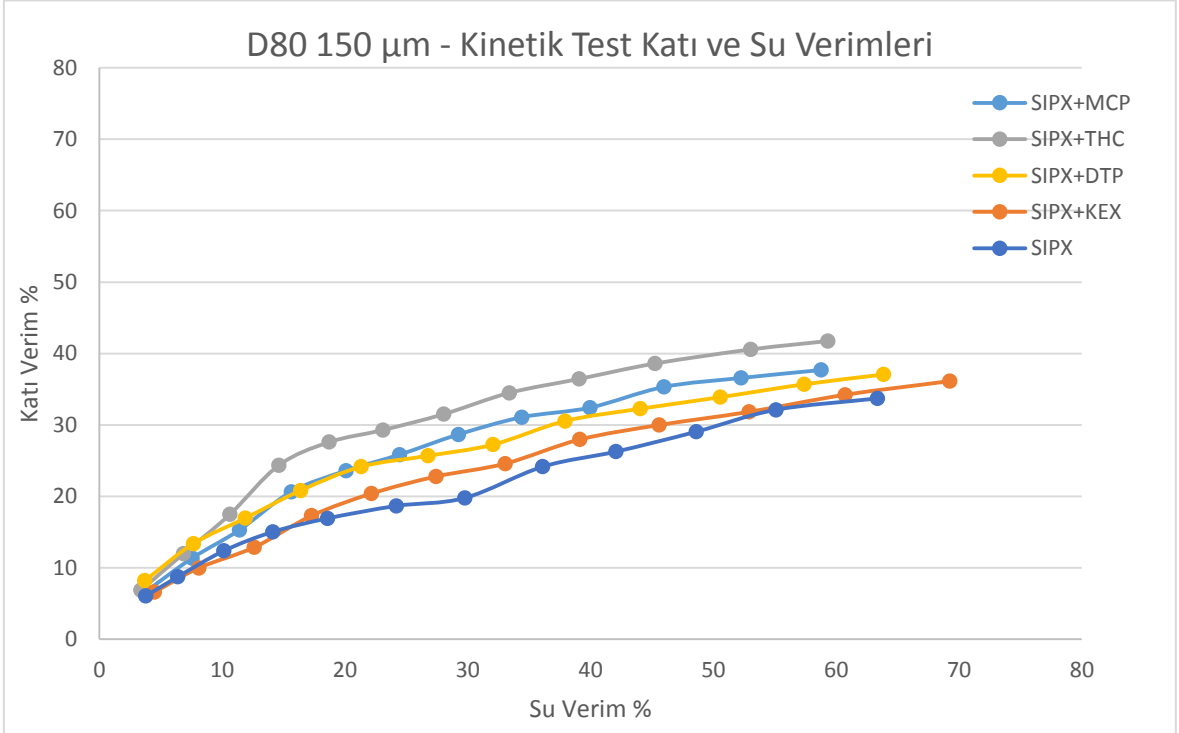


Şekil 7.14 -45 mikron kinetik testleri su verimleri

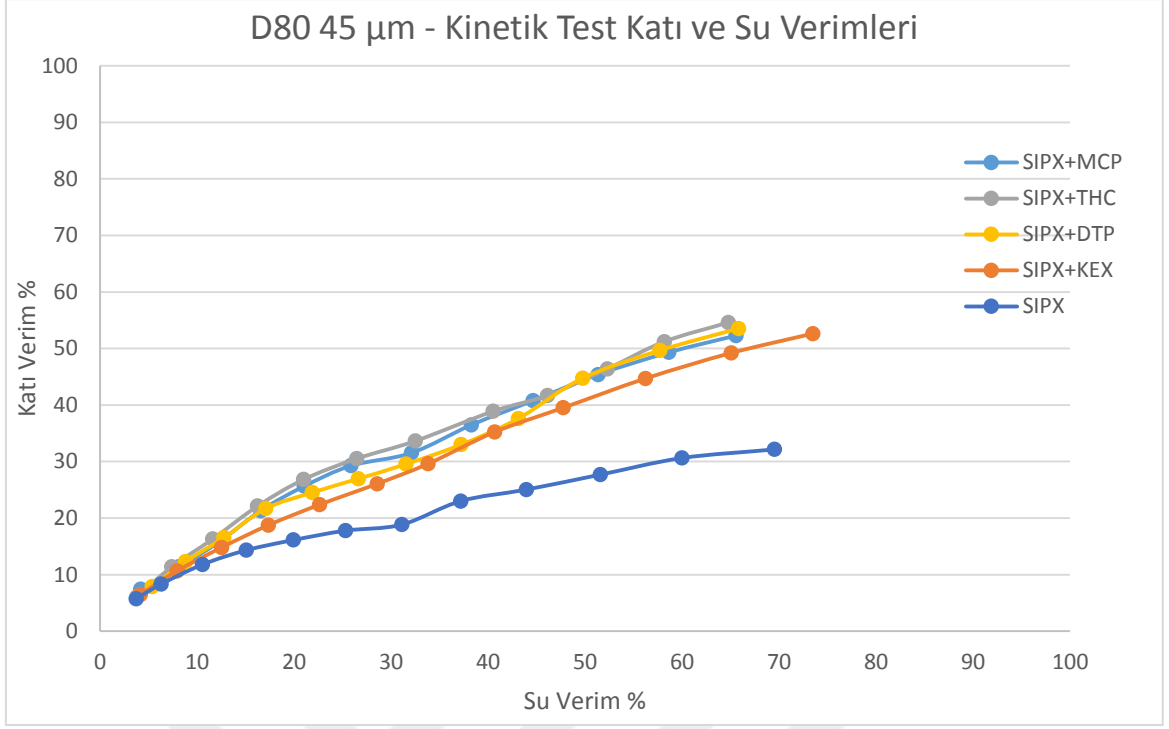


Şekil 7.15 -45 mikron kinetik testleri katı verimleri

Şekil 7.16'da iri boy için, Şekil 7.17'de ise ince boy için % su verimine karşı % katı verimi grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.16 +150 mikron kinetik testleri su ve katı verimleri

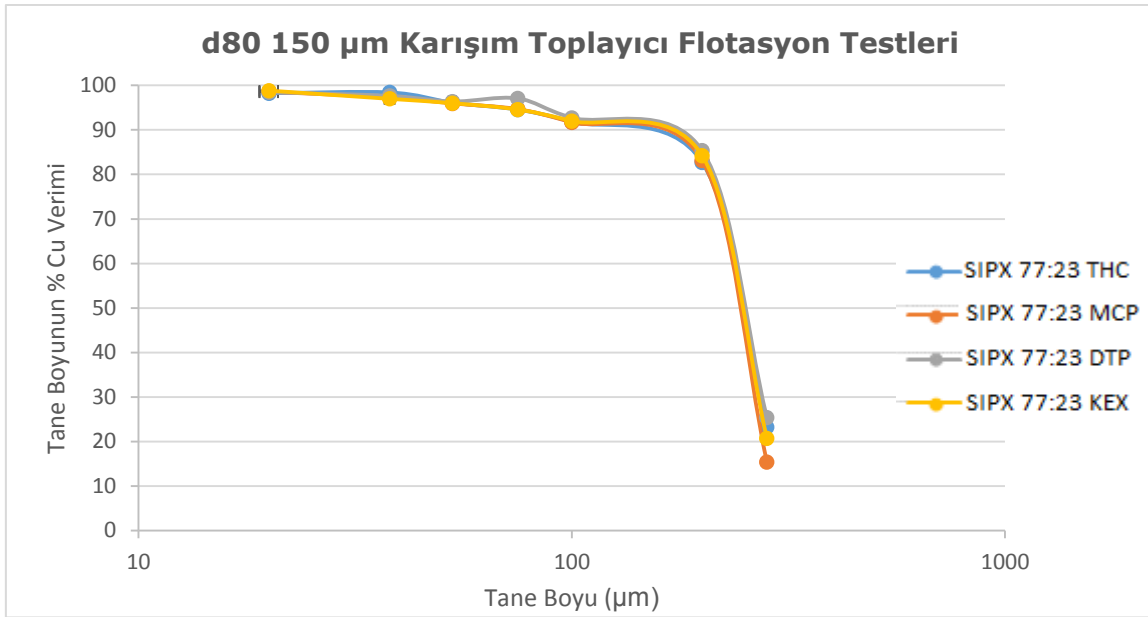


Şekil 7.17 +45 mikron kinetik testleri su ve katı verimleri

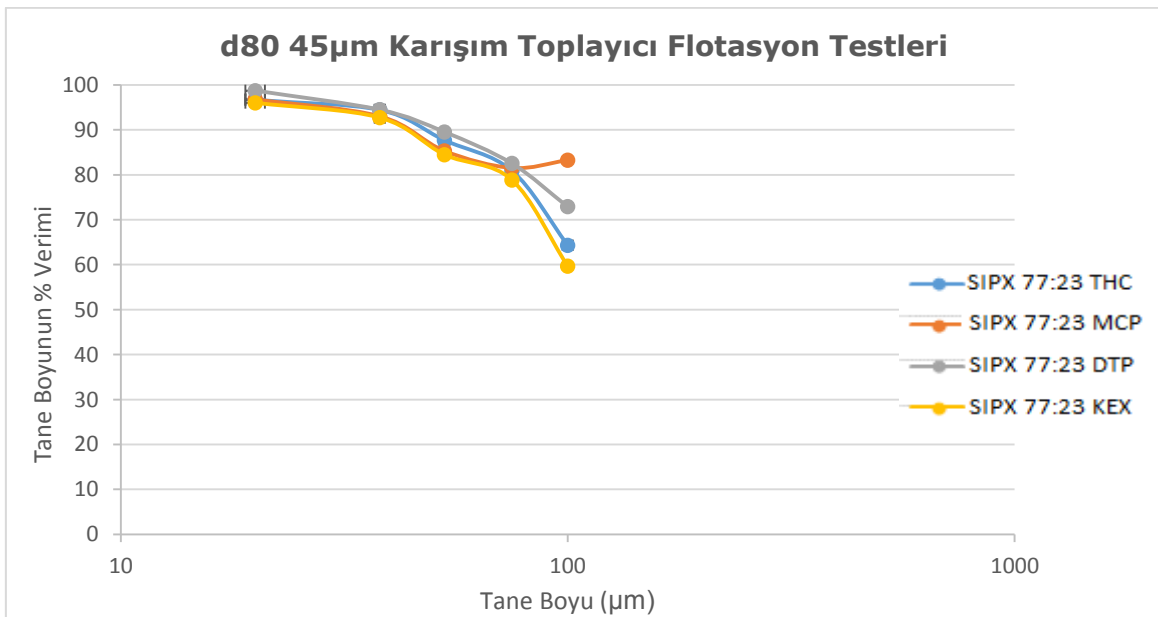
İnce boyda da beklenildiği gibi katı miktarının artması verimi artırıp tenörü düşürmektedir. Su veriminin artışı da verimi artırıp, tenörü düşürmektedir. Bu durum ince boyda mekanik taşınımın çok daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Taşınan minerallerin gang da içermesinden dolayı tenör düşüklüğü olmaktadır. DTP için 12. dakikadan 15. dakikaya geçişte katı verimi %9,17, su verimi %18,78 artmış ve verim 0,45 artmış tenör 0,76 düşmüştür. Su verimine karşı katı verimi çizilmiş olan grafiklerde iri boyda ikili toplayıcı kullanımının katı getirisine pozitif etkisi görülmektedir.

7.5. Flotasyon Testleri

Flotasyon testleri, iri ve ince tane boylarının temsili için iki gruba ayrılmıştır. Ana toplayıcı olan SIPX 100 g/t, ikinci toplayıcılar ise 30 g/t dozajında beslenmiştir. Şekil 7.18'de iri boy flotasyon testleri için fraksiyonel verim grafiği, Şekil 7.19'da ince boy flotasyon testleri için fraksiyonel verim grafiği verilmiştir. Flotasyon testleri konsantrelerinin, tane boyu (d_{80}), verimi ve tenörü ile ilgili bilgiler Çizelge 7.7'de iri boy için, Çizelge 7.8'de ince boy için verilmiştir. EK 4'te iri flotasyon testlerinin, EK 5'te ince flotasyon testlerinin, EK 8'de ikili flotasyon testlerinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.18 +150 mikron flotasyon testleri fraksiyonel verim grafiği



Şekil 7.19 -45 mikron flotasyon testleri fraksiyonel verim grafiği

Çizelge 7.7 +150 mikron flotasyon testleri konsantre bilgileri

	SIPX [44] (130 g/t)	SIPX+THC	SIPX+MCP	SIPX+DTP	SIPX+KEX
d₈₀, mikron	-	95,79	95,66	95,36	95,27
Tenör, %Cu	13,88	12,06	12,11	11,46	11,44
Verim, %	89,96	91,28	90,21 (σ: 0,171)	92,87 (σ: 0,242)	91,14 (σ: 0,231)

Çizelge 7.8 -45 mikron flotasyon testleri konsantre bilgileri

	SIPX [44] (130 g/t)	SIPX+THC	SIPX+MCP	SIPX+DTP	SIPX+KEX
d₈₀, mikron	-	23,19	22,01	25,05	21,58
Tenör, %Cu	13,66	8,52	9,02	8,19	8,36
Verim, %	95,49	96,26	95,92 (σ: 0,151)	97,30 (σ: 0,222)	96,36 (σ: 0,292)

Çizelge 7.9'da iri boy testler için fraksiyonel verim dağılımı, Çizelge 7.10'da ince boy testler için fraksiyonel verim dağılımı verilmiştir.

Çizelge 7.9 +150 mikron testlerin fraksiyonel verimleri

Tane Boyu (µm)	Verim Değerleri (%) SIPX+İkinci Toplayıcı			
	Merkaptan	Tiyonokarbamat	Ditiyofosfat	KEX
+200	15,36	23,22	25,39	20,73
-200+100	83,10	82,70	85,32	84,22
-100+75	91,71	91,82	92,73	92,00
-75+53	94,67	94,56	97,08	94,58
-53+38	95,96	96,12	96,39	96,01
-38+20	97,30	98,41	97,65	96,99
-20+0	98,57	98,27	98,50	98,83
Toplam	90,21	91,28	92,87	91,14

Çizelge 7.10 İnce boy testlerin fraksiyonel verimleri

Tane Boyu (µm)	Verim Değerleri (%) SIPX+İkinci Toplayıcı			
	Merkaptan	Tiyonokarbamat	Ditiyofosfat	KEX
+100	83,26	64,33	72,89	59,65
-100+75	81,52	80,91	82,51	78,86
-75+53	85,31	87,69	89,53	84,48
-53+38	93,00	94,42	94,47	92,71
-38+20	96,78	96,67	98,73	96,02
-20+0	97,41	97,96	98,63	97,99
Toplam	95,92	96,26	97,30	96,36

7.6. Bulgular ve Tartışma

7.6.1. Tek Toplayıcı Kinetik Testler

Tek toplayıcı ile yapılan testlerde flotasyon süresi 16 dakika olarak belirlenmiştir. İri boyda SIPX kinetiğinin ($0,37 \text{ dk}^{-1}$) KAX'tan ($0,33 \text{ dk}^{-1}$) daha iyi olduğu ve ince boyda da (SIPX $0,41 \text{ dk}^{-1}$, KAX $0,39 \text{ dk}^{-1}$) az farkla daha iyi olduğu görülmüştür. Toplam verimde SIPX'in iri boyda daha iyi (SIPX %89,43, KAX %87,07) ince boyda ise az fark ile KAX'ın daha iyi olduğu (SIPX %97,02, KAX %97,48) görülmüştür. Tenörde ise iri boyda SIPX'in (SIPX %10,98, KAX %9,78) daha iyi, ince boyda ise (SIPX %8,10, KAX %8,33) bariz fark olmadığı görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı SIPX ana toplayıcı olarak seçilmiştir.

7.6.2 Çift Toplayıcı Kinetik Testler

Yapılan iri boy karışım toplayıcı kinetik testlerinde, sadece SIPX ile yapılan test ve en iyi verim değerini veren SIPX+MCP karışımı karşılaştırıldığında, karışımın %5,31 daha fazla verim verdiği görülmüştür. Bu verim artışına karşılık tenör düşüşü %0,85 olmuştur. Kinetik değerler ise SIPX'te $0,373 \text{ dk}^{-1}$ iken, karışımında $0,350 \text{ dk}^{-1}$ 'dir. Verim artışının, çift toplayıcının daha geniş mineral yüzey alanına soğrulması ile yüzdürme kuvvetini arttırarak iri taneleri yüzdürmesi ve daha fazla mineral çeşidinin konsantreye taşınabilmesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. İkili toplayıcı kullanıldığında değerli mineral içeren bağlı tanelerin de kazanıldığı yorumu yapılabilir. İnce boy kinetik testlerinde ise büyük fark görülmemekle beraber, tek toplayıcı kullanımına kıyasla en iyi sonuçlar; SIPX+MCP'de %0,19, SIPX+DTP'de ise %0,35 verim artışı olarak görülmektedir. Tenörde ise tek toplayıcı kullanımına kıyasla SIPX+MCP'de %0,68, SIPX+DTP'de ise %1,35 azalma görülmektedir. Kinetik değerler SIPX'te $0,409 \text{ dk}^{-1}$ iken, SIPX+MCP'de $0,332 \text{ dk}^{-1}$ ve SIPX+DTP'de $0,357 \text{ dk}^{-1}$ olarak görülmüştür. Serbest mineral oranının yüksek olduğu ince boylarda, ikili toplayıcılar için ek katkı sağlayabilecekleri özel bir durum bulunmadığı ve bu yüzden de verim katkılarının düşük kaldığı görülmektedir.

7.6.3. Çift Toplayıcı Flotasyon Testleri

Çift toplayıcı flotasyon testleri iri (F_{80} : $150 \mu\text{m}$) ve ince (F_{80} : $45 \mu\text{m}$) boylarda olmak üzere iki grupta yapılmıştır. Bu testlerde alınan konsantreler elenerek, konsantre P_{80} tane boyu, fraksiyonel verim ve tenörleri incelenmiştir. Önceki bir çalışmada SIPX ile yapılan aynı öğütme tane boyundaki testte %89,96 verim, %13,88 tenör elde

edilmiştir. İri boy testleri sonuçlarında, merkaptan (MCP) ve tisonokarbamat (THC) ile yapılan testlerin tenörlerinin (MCP: %12,11; THC: %12,06), ditiyofosfat (DTP) ve ikinci Ksantat (KEX) ile yapılan testlerin tenörlerinden (DTP: %11,46; %KEX: 11,44) yaklaşık %1 daha yüksek olduğu görülmüştür. Verimlerde ise, MCP'nin en düşük (%90,21), THC (%91,28) ve KEX'in (%91,14) benzer olduğu görülmüş, en iyi verim ise DTP (%92,87) ile olduğu belirlenmiştir. Konsantre tane boyları kıyaslandığında ise benzer sonuçlar görülmüştür (MCP: 95,66 µm, THC: 95,79 µm, KEX: 95,27 µm, DTP: 95,36 µm). Bu bilgiler ile DTP ile yapılan karışımın diğer ikinci toplayıcı kullanılan karışımlara göre tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

İnce boy için önceki bir çalışmada SIPX ile yapılan aynı öğütme tane boyundaki testte %95,49 verim, %13,66 tenör elde edilmiştir. İnce boy testleri sonuçlarında ise, en düşük tenör değeri DTP'de (%8,19) çıkarken, THC ve KEX'te benzer tenör değerleri (THC: %8,52; KEX: %8,36), MCP'de ise en yüksek değer (%9,02) görülmüştür. Bu durum iri test sonuçları ile uyumludur. Verimlere bakıldığında, yine iri ile benzer durumda en düşük verim MCP'de (%95,92), THC ve KEX'te benzer (THC: %96,26; KEX: %96,36) değerler ve DTP'de en yüksek (%97,30) değer görülmüştür. Konsantre tane boyları kıyaslandığında DTP'de biraz yüksek olmakla beraber benzer sonuçlar görülmüştür (MCP: 22,01 µm, KEX: 21,55 µm, THC: 23,19 µm, DTP: 25,05 µm). Farkların iri testlerdeki kadar belirgin olmamasının sebebi, verimi etkileyen iri tanelerin yokluğu ve yüksek serbestleşme derecesi olarak yorumlanabilir. Yine de genel durumda DTP'nin kullanıldığı toplayıcı karışımının diğer toplayıcı karışımlarına göre daha iyi olduğu görülebilmektedir. Sonuç olarak ksantat ile ditiyofosfat kullanımının aşırı tenör kaybı yaşamadan verim üzerine olan pozitif etkisi ile bu yapıdaki bir cüruf için tercih edilebilir olacağı düşünülmüştür.

8. Sonuçlar

1) Tesisten alınan numunede % 4-4,5 bakır içeriği belirlenmiş ve MTA tarafından yapılan kapsamlı mineralojik çalışmada en fazla bulunan bakır minerallerinin bornit ve dijenit olduğu görülmüştür. Nabit bakır ve kalkopirit katkı sağlayan diğer iki önemli bakır minerali olarak belirlenmiştir. Serbestleşme boyutları, nabit bakır için %76 ile +106 mikron, dijenit için %83 ile -106 mikron, bornit için %70 ile -38 mikron ve kalkopirit için ise% 58 ile -38 mikron olduğu görülmüştür.

2) Tek toplayıcı kinetik testlerde 150 μm 'de en iyi sonuç SIPX ile alınmış (R^∞ : 89,27, k: 0,3727, %Cu 10,98), 45 μm 'de ise KAX (R^∞ : 97,50, k: 0,3934, %Cu 8,33) ve SIPX (R^∞ : 97,00, k: 0,4088 , %Cu 8,10) benzer sonuçlar vermiştir.

Çift toplayıcı kinetik testlerde 150 μm 'de en iyi sonuç SIPX+MCP ile (R^∞ :95,00, k:0,3498, %Cu:10,13) alınmış, 45 μm 'de ise SIPX+DTP (R^∞ :97,50, k:0,3570, %Cu 6,75) ve SIPX+KEX (R^∞ :97,50, k:0,3570, %Cu:7,33) benzer sonuçlar vermiştir.

3) Flotasyon testlerinde, 150 μm 'de en iyi sonuç SIPX+DTP ile alınmış (Kon. d_{80} : 95,36, R:%92,87, %Cu:11,46) ve konsantrenin içerisinde iri metalik parçalar gözlemlenmiştir. 45 μm 'de ise benzer şekilde en iyi sonuç SIPX+DTP (Kon. d_{80} : 25,05, R:%97,30, %Cu:8,19) ile alınmıştır.

4) 150 μm 'de, katı veriminin, genel verime ve tenöre etkisinin belirgin olduğu, ancak su veriminin etkisinin çok daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca katı veriminin, su veriminden çok az etkilendiği görülmüştür. 45 μm 'de su veriminin, katı verimine ve dolayısı ile genel verime ve tenöre belirgin etkisi olduğu görülmüştür.

5) alışmalar sonucunda tesiste kullanılan ikinci toplayıcı merkaptan yerine ditiyofosfat kullanılarak verimin artırılabilenleği ve bu artışın toplayıcı gideri bakımından pozitif etki yapabileceği görülmüştür (21.06.2018; SIPX: 2,645 USD/kg; Cytec AP407 Merkaptobenzotiyozol: 4,950 USD/kg; Cytec Aero3477 Ditiyofosfat 3,800 USD/kg).

9. Öneriler

- 1) İkili toplayıcıların ayrı ayrı değil, karıştırılarak tek toplayıcı gibi beslenmesi ile çalışmalar yapılarak birbirleri ile etkileşimleri de incelenebilir.
- 2) Toplayıcı miktarları ve karışım oranları değiştirilerek çalışmaların yapılması, bu durumun tesis ekonomisine etkileri incelenebilir.
- 3) İki yerine daha fazla toplayıcının etkisi incelenebilir.
- 4) Mineral yüzeylerinde, tek ve ikili toplayıcı adsorpsiyon yoğunlukları ölçülerek verim – tenör sonuçlarının buna göre değerlendirilmesi yapılabilir.
- 5) Cüruftaki sülfür minerallerini içeren cevher örneklerinde bulguların denenmesi ve cüruf ile karşılaştırılması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. E. Schlesinger, M. J. King, K. C. Sole, and W. G. Davenport, "Copper Loss in Slag," *Extr. Metall. Copp.*, pp. 191–203, 2011.
- [2] M.T.A., "Eti Bakır Cürufları için Mineralojik Rapor (Kamuya Açık Olmayan Belge)," Ankara.
- [3] Plaskin, I.N., Zaitseva, S.P., "Effect of the combined action of certain collectors on their distribution between galena particles in a flotation pulp. (Mintek Translation No. 1295, June 1988)," in *Naachnye Soobshcheniya Institut Gonnogo dela Imeni AA Skochinskogo, Akademiya Nauk SSSR, Moskva, No. 6, 1960*, pp. 15–20.
- [4] S. J. Adkins and M. J. Pearse, "The influences of collector chemistry on kinetics and selectivity in base-metal sulphide flotation," *Miner. Eng.*, vol. 5, no. 3–5, pp. 295–310, 1992.
- [5] A. M. Plaskin, I.N., Glembotskii, V.A. and Okolovich, "Investigations of the possible intensification of the flotation process using combinations of collectors. (Mintek translation Feb. 1989).," in *Naachnye Soobshcheniya Institut Gonnogo dela Imeni AA Skochinskogo, Akademiya Nauk SSSR, No. 1, 1954*, pp. 213–224.
- [6] D. J. Bradshaw, P. J. Harris, and C. T. O'Connor, "Synergistic interactions between reagents in sulphide flotation," *J. South African Inst. Min. Metall.*, vol. 98, no. 4, pp. 189–194, 1998.
- [7] S. Channel, "Giza Pyramid and Copper." [Online]. Available: https://youtu.be/zaoO43UU_Sl.
- [8] U.-P. D.-I. M. Doppelbauer, "The invention of the electric motor 1800-1854." [Online]. Available: <http://www.eti.kit.edu/english/1376.php>. [Accessed: 22-Aug-2018].
- [9] J. C. Michalowicz, "Origin of the Electric Motor," pp. 1288–1292, 1948.
- [10] Wikipedia, "Tempel 1." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Tempel_1.
- [11] NASA, "Tempel 1." [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/multimedia/Schultz4.html.
- [12] D. Production, "USGS Copper Data," no. 703, 2017.
- [13] 911metallurgist, "The Porphyry Copper Extraction Process." [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/copper-flotation#summary-ofporphyry-copper-sulfide-processing>.
- [14] British Geological Survey, "Copper," *mineralsUK*, no. June, p. 1, 2007.
- [15] T. U. Delft, "Copper Economics," *Ullmann's Encycl. Ind. Chem. 2001*, pp. 1671–1680, 2001.
- [16] A. K. Biswas and W. G. Davenport, *Extractive Metallurgy of Copper — Third Edition*, vol. 04. 2011.
- [17] U.S. Congress - Office of Technology Assessment, "Copper: Technology and Competitiveness," no. September, pp. 755–757, 1988.

- [18] J. F. M. G. Manners, "Minerals and Men," *Balt. MD Johns Hopkins Univ. Press*, 1974.
- [19] FLSmidth, "FLS SuperCell."
- [20] V. R. Degner, "Recent WEMCO flotation technology advancements.," *Resour. Process.*, vol. 35, no. 2, pp. 79–96, 1988.
- [21] www.tk.com.tr, "Tüfekçioğlu Kauçuk ve Makine," 2018. [Online]. Available: <https://www.tk.com.tr/>. [Accessed: 05-Sep-2018].
- [22] Contributors: and J. A. C. and O. et al Clarence H. Lorig, "Extractive metallurgy," *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc., 9AD.
- [23] Contributors: and J. A. C. and O. et al Clarence H. Lorig, "Extractive metallurgy," *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc.
- [24] G. Warczok, A., Riveros, G., Mackay, R., Cordero, G., & Alvera, "Effect of converting slag recycling into Teniente converter on copper losses," 2001.
- [25] V. Aydogan, S., Canbazoglu, M., Akdemire, U., & Gurkan, "Processing of HafikeMadentepe copper slags using conventional and leaching methods," 2000.
- [26] Y. Kubota and M. Yashuda, "Recent developments in copper smelting at the Hitachi Smelter and Refinery, in The Future of Copper Pyrometallurgy," 1974, pp. 155–176.
- [27] A. Mihajlovi, M. Kora, M. Gavrilovski, and N. Jovanovi, "the Effect of Cooling Rate of Slag From Primary Copper Production in the Valorization of Copper," 2015.
- [28] S. K. Kawatra and T. C. Eisele, "1 Froth Flotation - Fundamental Principles," *Recover. Pyrite Coal Flotat. Entrain. or Flotat.*, pp. 1–30, 1992.
- [29] Cytec Industries, "Mining Chemicals Handbook," *Cytec Ind. Inc., Wayne, NJ*, pp. 103–150, 2002.
- [30] B. a Wills and T. Napier-munn, *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, no. October. 2006.
- [31] S. M. Bulatovic, *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*, vol. 3. 2014.
- [32] M. C. Fuerstenau, J. Graeme, and R. H. Yoon, "Froth Flotation: A Century of Innovation," *Flotation Chemistry*. p. 89, 2007.
- [33] S. Aşık, "FARKLI TOPLAYICI TÜRLERİ VE KARIŞIMLARININ BİR SÜLFÜRLÜ CEVHERİN FLOTASYON PERFORMANSINA ETKİSİ," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2018.
- [34] G. Hangone, D. J. Bradshaw, and Z. Ekmekçi, "Flotation of a copper sulphide ore from Okiep using thiol collectors and their mixtures," *J. South African Inst. Min. Metall.*, vol. 105, pp. 199–206, 2005.
- [35] M. Shamsi, M. Noaparast, S. Z. Shafaie, and M. Gharabaghi, "Synergism effect of collectors on copper recovery in flotation of copper smelting slags," *Geosystem Eng.*, vol. 19, no. 2, pp. 57–68, 2016.

- [36] W. Maree, L. Kloppers, G. Hangone, and O. Oyekola, "The effects of mixtures of potassium amyl xanthate (PAX) and isopropyl ethyl thionocarbamate (IPETC) collectors on grade and recovery in the froth flotation of a nickel sulfide ore," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 24, pp. 116–121, 2017.
- [37] S. Roy, A. Datta, and S. Rehani, "Flotation of copper sulphide from copper smelter slag using multiple collectors and their mixtures," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 143, pp. 43–49, 2015.
- [38] B. Mcfadzean, D. G. Castelyn, and C. T. O'connor, "The effect of mixed thiol collectors on the flotation of galena," *Miner. Eng.*, vol. 36–38, pp. 211–218, 2012.
- [39] E. Bagci, Z. Ekmekci, and D. Bradshaw, "Adsorption behaviour of xanthate and dithiophosphinate from their mixtures on chalcopyrite," *Miner. Eng.*, vol. 20, no. 10, pp. 1047–1053, 2007.
- [40] Eti Bakir, "Eti Bakır Murgul." [Online]. Available: www.etibakir.com.tr/tesisler/murgul-isletmesi.
- [41] EtiBakir, "Eti Bakır Konsantre." [Online]. Available: <http://etibakir.com.tr/urunler/bakir-konsantresi/>.
- [42] EtiBakir, "Eti Bakır Küre." [Online]. Available: www.etibakir.com.tr/tesisler/kure-isletmesi.
- [43] E. Bakır, "Samsun İzabe Eti Bakır," *Eti Bakır*. [Online]. Available: <http://etibakir.com.tr/tesisler/samsun-izabe-elektroliz-tesisi/>. [Accessed: 28-Aug-2018].
- [44] "Eti Bakır Samsun Cüruf Tesisi Kinetik ve Flotasyon Testleri Prosedür ve Sonuçları (Kamuya Açık Olmayan Belge)," Ankara.

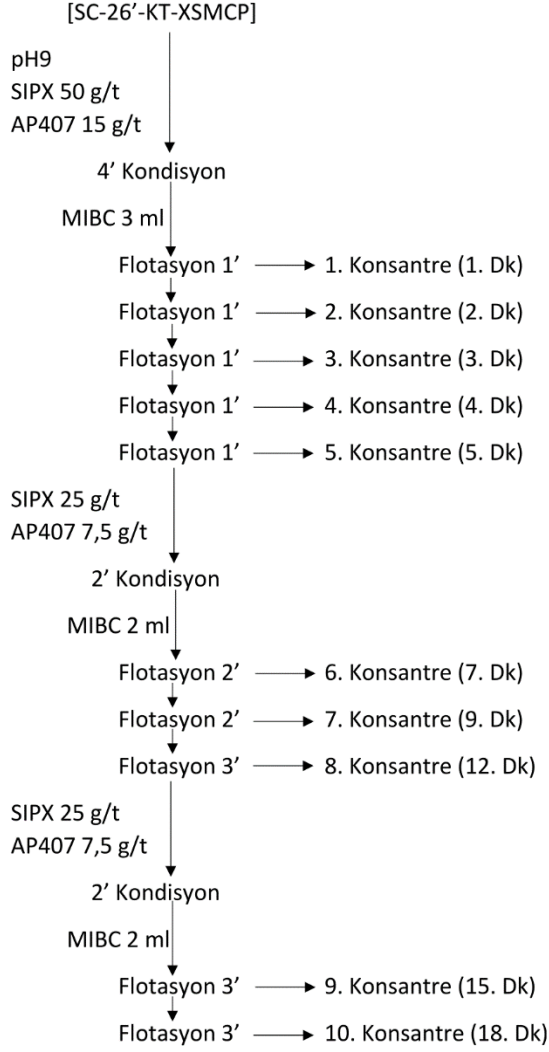
EKLER

EK 1 Öğütme Deneyleri Sonuçları

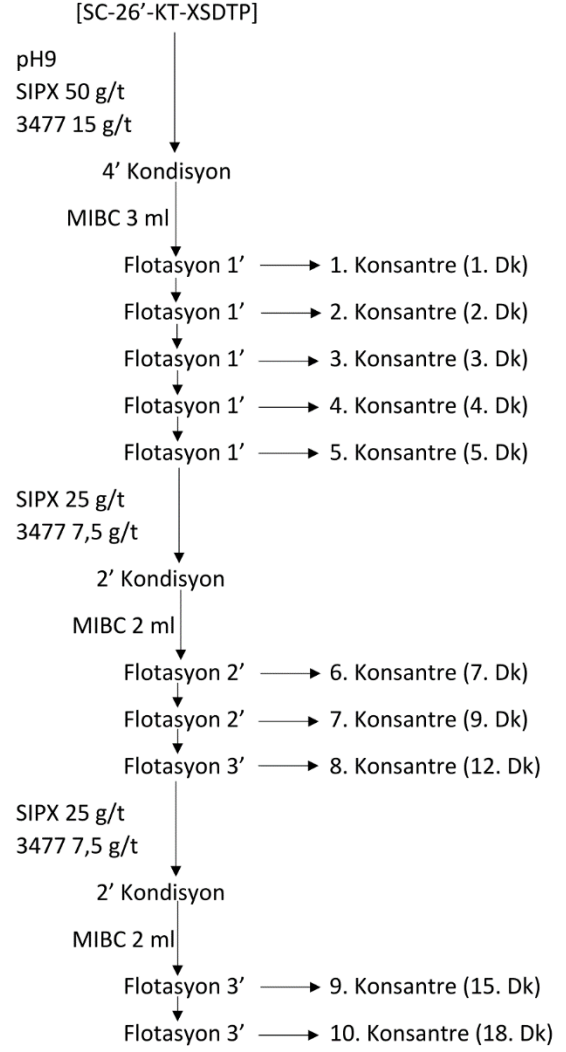
Öğütme Testi	1	Öğütme Testi	2	Öğütme Testi	3	Öğütme Testi	4
Samsun Cüruf	26.07.2017	Samsun Cüruf	24.07.2017	Samsun Cüruf	19.07.2017	Samsun Cüruf	17.07.2017
Öğütme Süresi	20 dk.	Öğütme Süresi	30 dk.	Öğütme Süresi	45 dk.	Öğütme Süresi	60 dk.
Su	550 ml	Su	550 ml	Su	550 ml	Su	550 ml
Numune	1020 gr	Numune	1040 gr	Numune	1000 gr	Numune	1035 gr
Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA
-200	86,45	-200	96,86	-200	99,41	-200	99,80
-150	71,27	-150	87,31	-150	97,82	-150	99,42
-106	57,90	-106	78,90	-106	96,42	-106	99,09
-100	56,08	-100	77,76	-100	96,22	-100	99,05
-75	42,96	-75	60,94	-75	86,32	-75	95,35
-53	31,22	-53	43,75	-53	68,36	-53	80,62
-45	27,24	-45	38,13	-45	58,75	-45	72,08
Öğütme Testi	5	Öğütme Testi	6	Öğütme Testi	7	Öğütme Testi	8
Samsun Cüruf	20.07.2017	Samsun Cüruf	17.01.2018	Samsun Cüruf	19.01.2018	Samsun Cüruf	26.01.2018
Öğütme Süresi	75 dk.	Öğütme Süresi	90 dk.	Öğütme Süresi	105 dk.	Öğütme Süresi	120 dk.
Su	550 ml	Su ml	600 ml	Su	600 ml	Su	600 ml
Numune	1020 gr	Numune	1100 gr	Numune	1100 gr	Numune	1200 gr
Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA	Tane Boyu (µm)	Küm. %EA
-200	99,86	-200	99,86	-200	99,93	-200	99,92
-150	99,77	-150	99,78	-150	99,89	-150	99,88
-106	99,69	-106	99,71	-106	99,86	-106	99,85
-100	99,68	-100	99,70	-100	99,86	-100	99,84
-75	98,49	-75	98,65	-75	99,42	-75	99,61
-53	90,47	-53	94,10	-53	95,75	-53	97,03
-45	83,06	-45	86,89	-45	89,96	-45	91,96

EK 2 İri Kinetik Test Prosedürleri

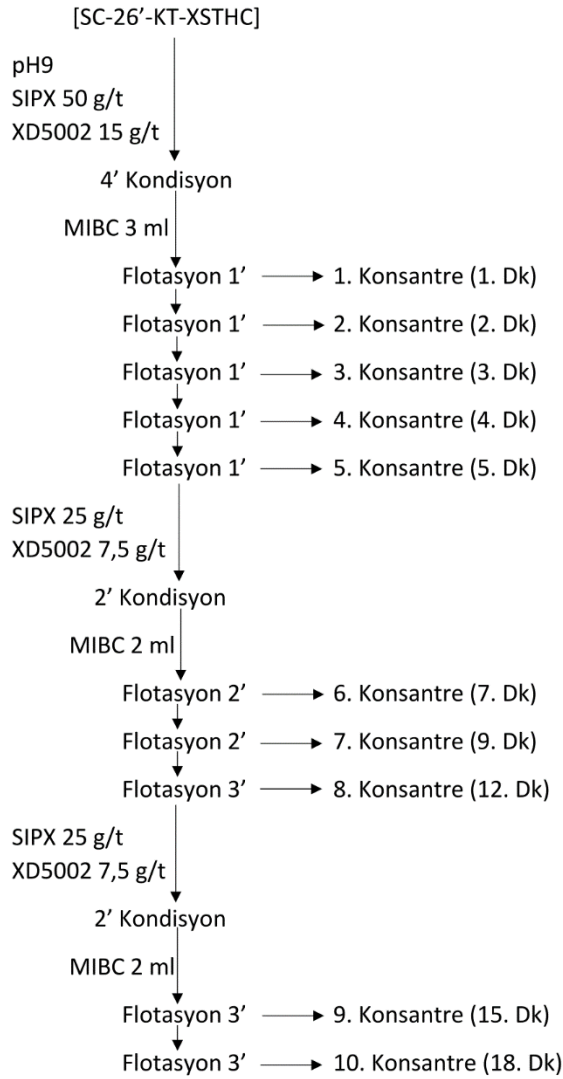
Samsun Cüruf İri (150 µm) Kinetik Test 26 dk. Öğütme %65 Katı



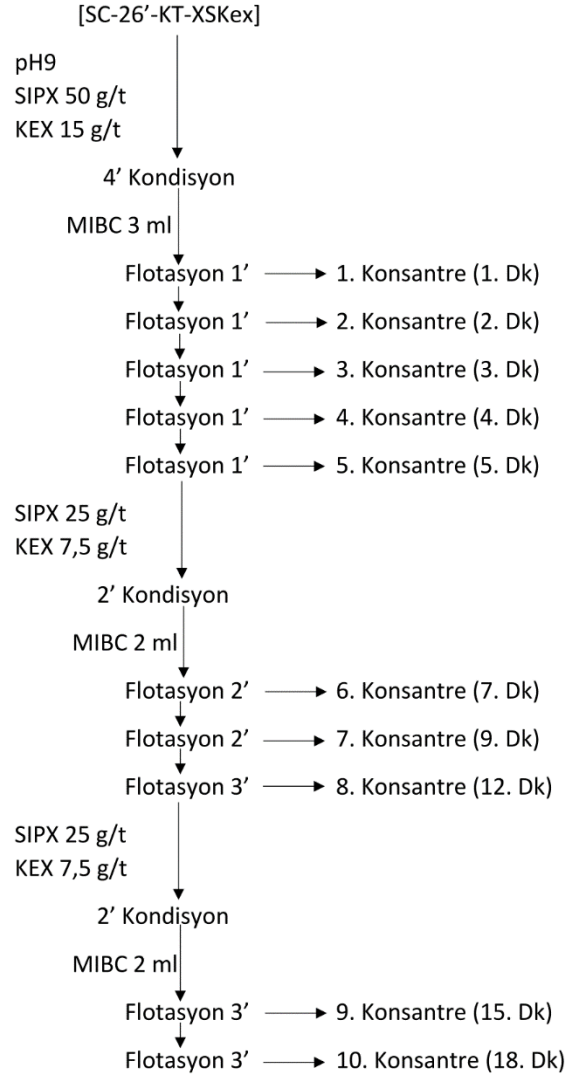
Samsun Cüruf İri (150 µm) Kinetik Test 26 dk. Öğütme %65 Katı



Samsun Cüruf İri (150 µm) Kinetik Test
26 dk. Öğütme %65 Katı

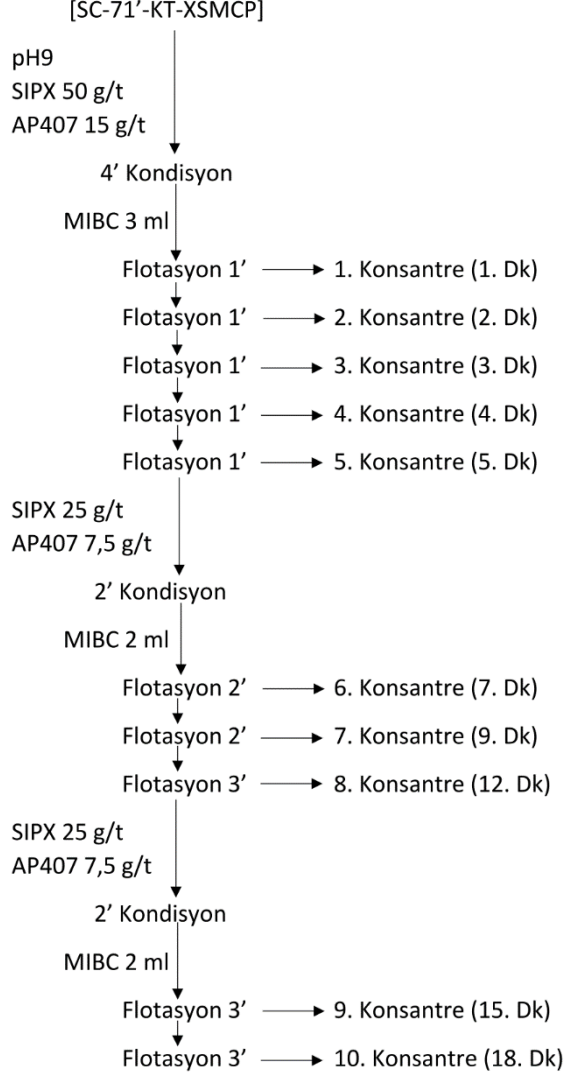


Samsun Cüruf İri (150 µm) Kinetik Test
26 dk. Öğütme %65 Katı

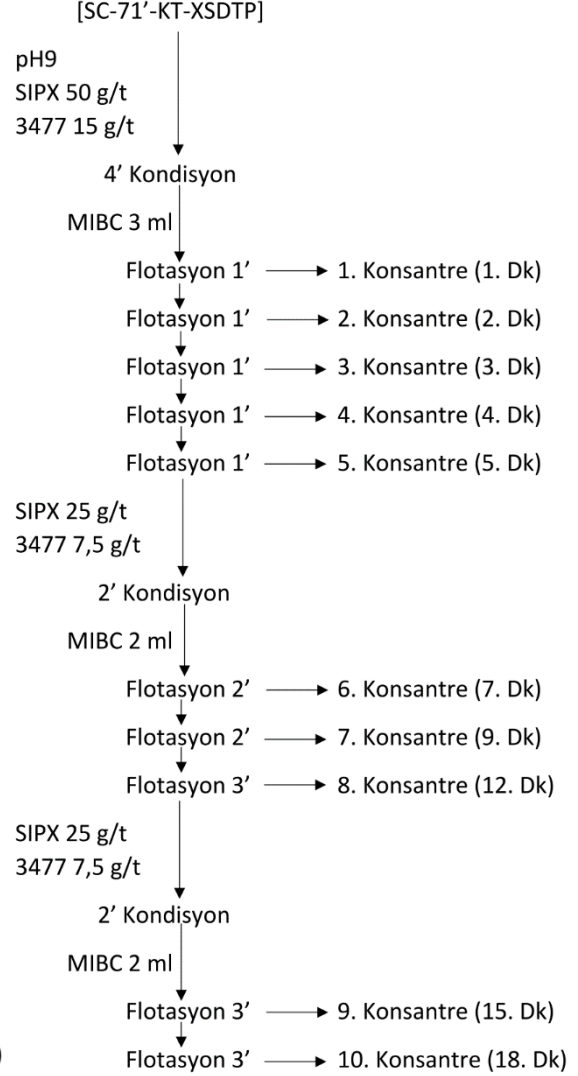


EK 3 İnce Kinetik Test Prosedürleri

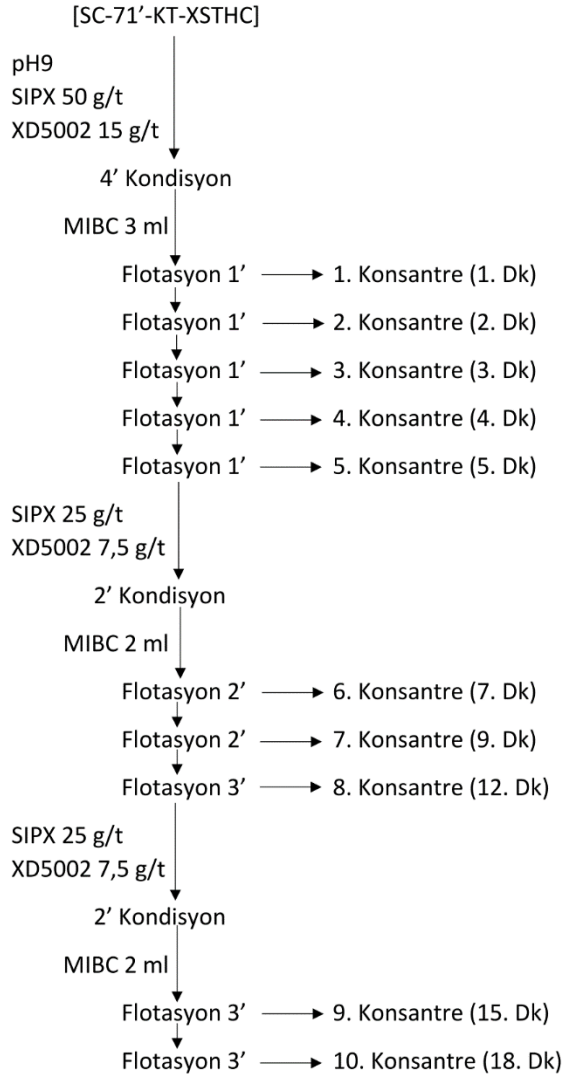
Samsun Cüruf İnce Kinetik Test 71 dk. Öğütme %65 Katı



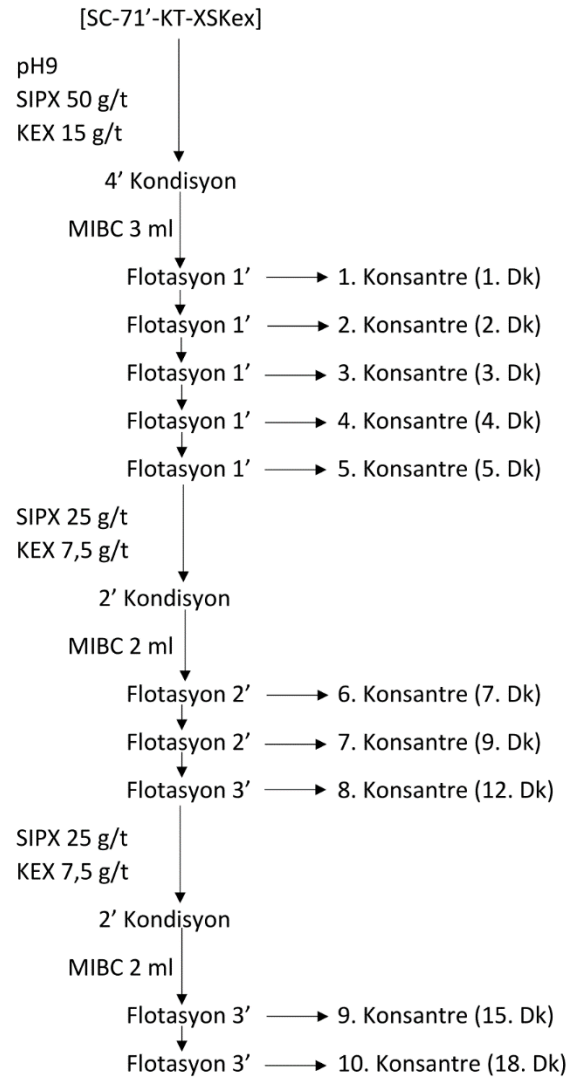
Samsun Cüruf İnce Kinetik Test 71 dk. Öğütme %65 Katı



Samsun Cüruf İnce Kinetik Test
71 dk. Öğütme %65 Katı

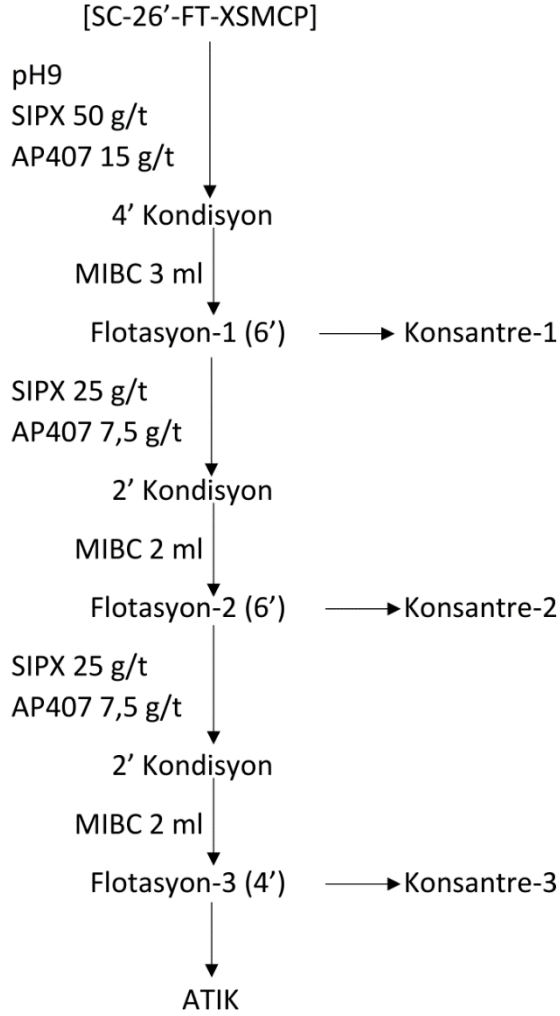


Samsun Cüruf İnce Kinetik Test
71 dk. Öğütme %65 Katı

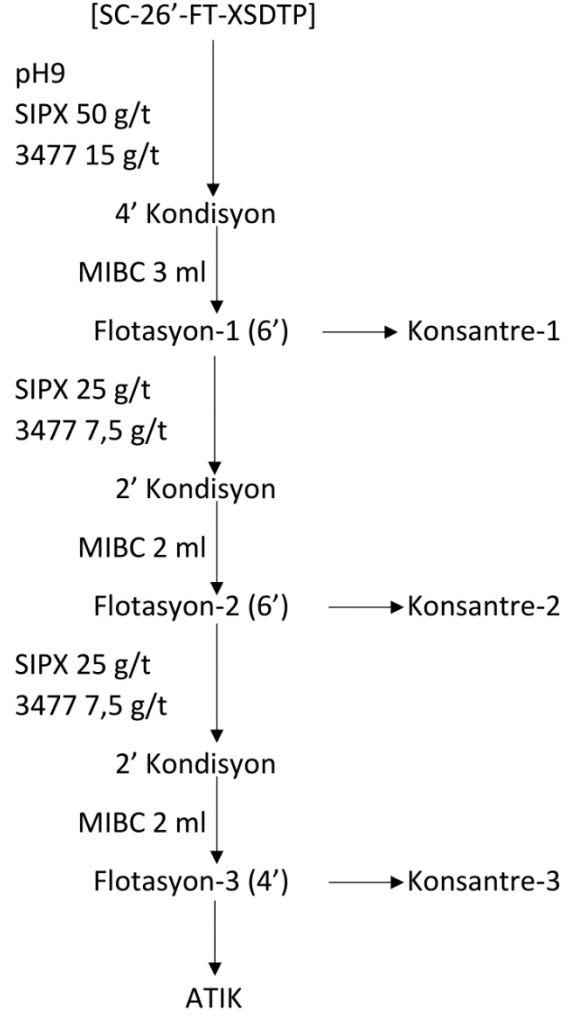


EK 4 İri Flotasyon Testleri Prosedürleri

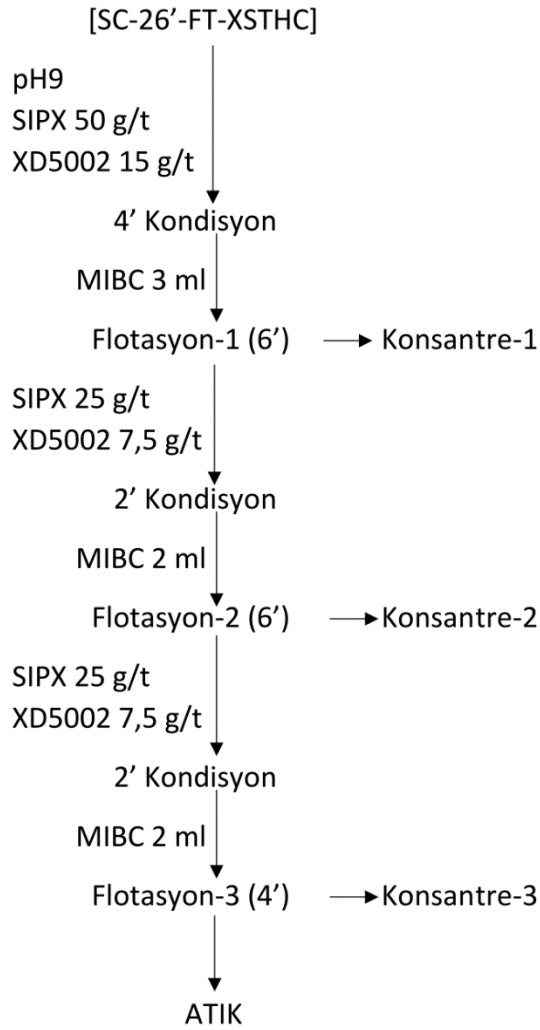
Samsun Cüruf İri Flotasyon Testi 26 dk. Öğütme %65 Katı



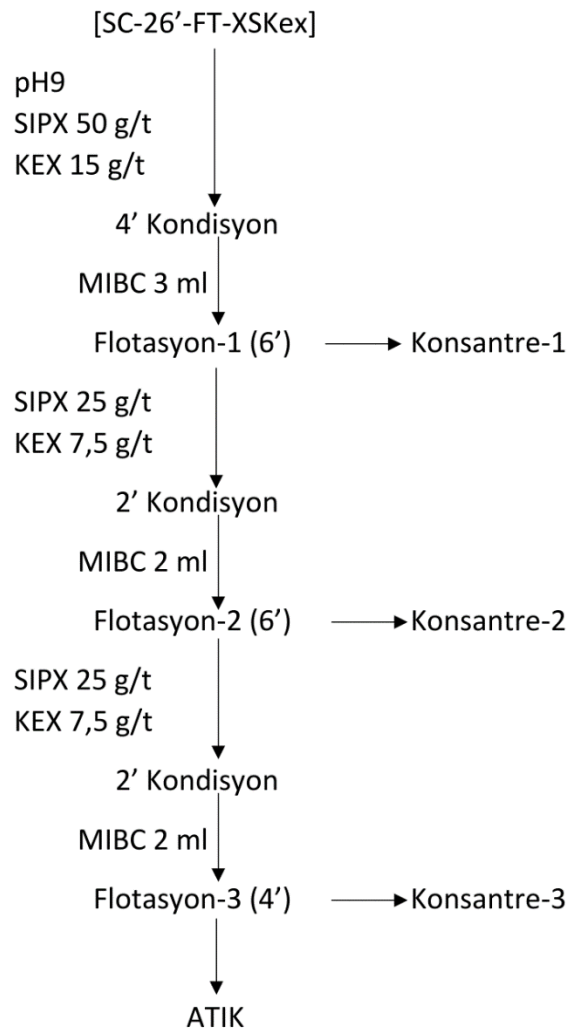
Samsun Cüruf İri Flotasyon Testi 26 dk. Öğütme %65 Katı



Samsun Cüruf İri Flotasyon Testi
26 dk. Öğütme %65 Katı

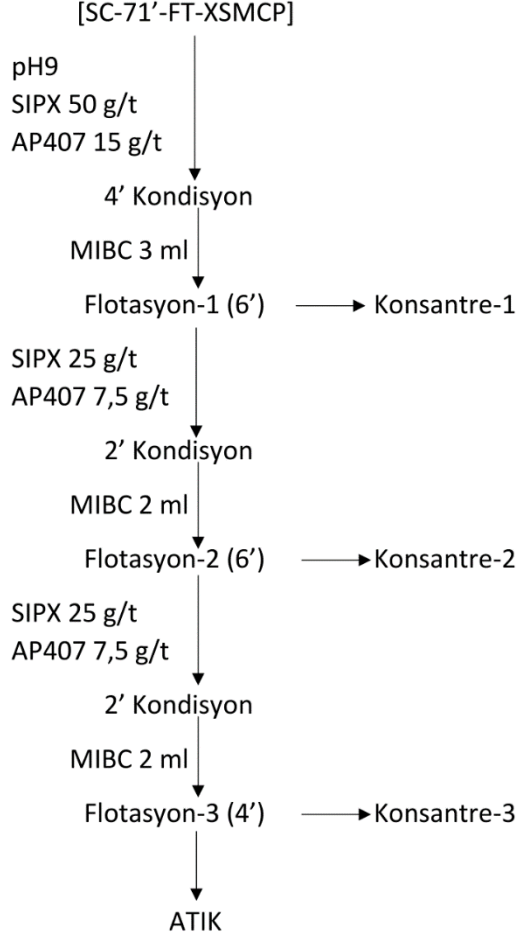


Samsun Cüruf İri Flotasyon Testi
26 dk. Öğütme %65 Katı

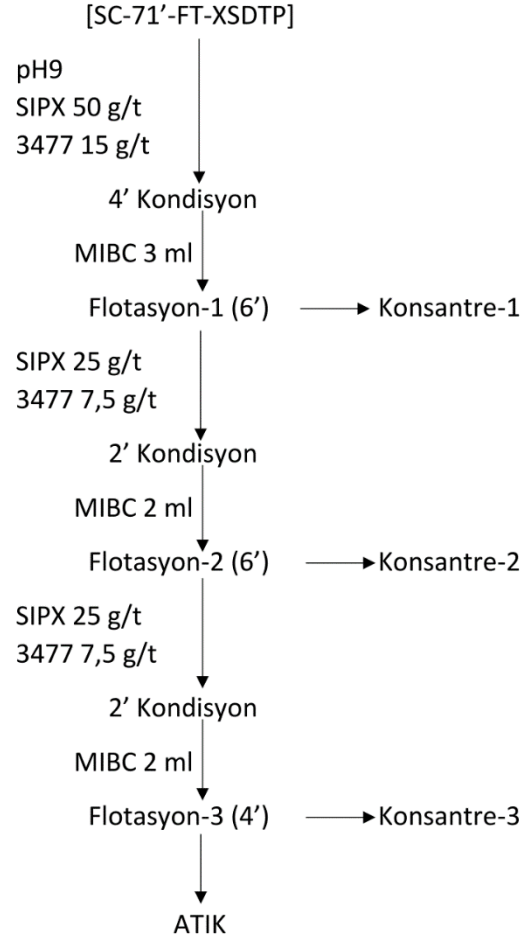


EK 5 İnce Flotasyon Testleri Prosedürleri

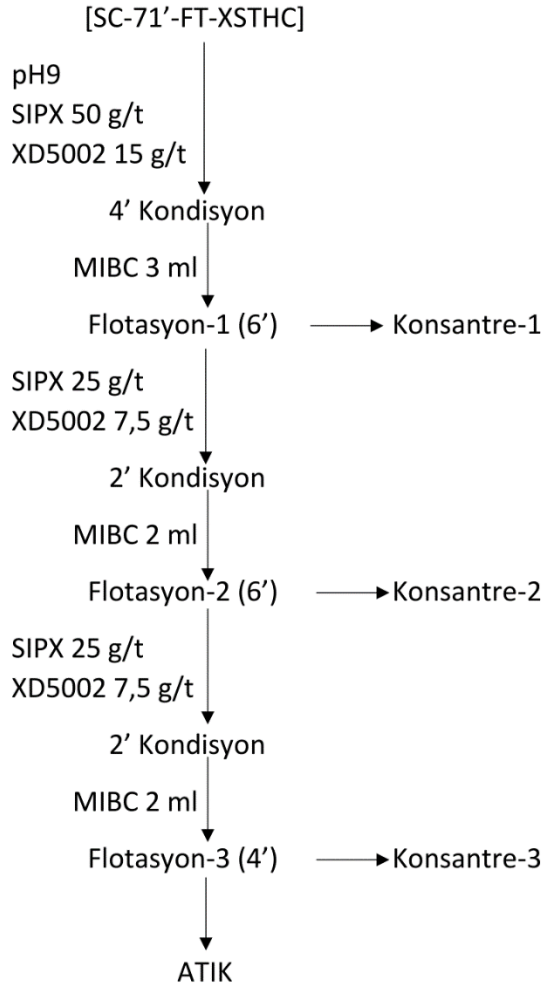
Samsun Cüruf İnce Flotasyon Testi 71 dk. Öğütme %65 Katı



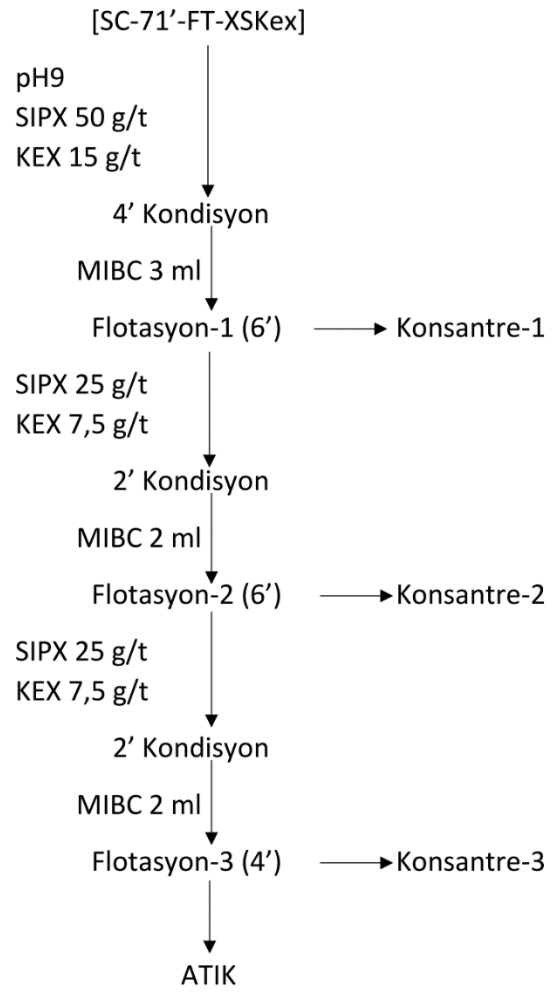
Samsun Cüruf İnce Flotasyon Testi 71 dk. Öğütme %65 Katı



Samsun Cüruf İnce Flotasyon Testi
71 dk. Öğütme %65 Katı



Samsun Cüruf İnce Flotasyon Testi
71 dk. Öğütme %65 Katı



EK 6 Tek Toplayıcı Kinetik Test Sonuçları

26' Öğütme – d₈₀ 150 um

KAX Kinetik Kuru Ağırlıklar

dk.		Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	70,29	5,50	30,99	37,89	37,89	30,99
0,5	2. Kons. (K2)	35,26	2,76	24,03	14,74	52,63	28,66
1	3. Kons. (K3)	40,37	3,16	21,75	15,27	67,90	26,75
2	4. Kons. (K4)	33,05	2,59	17,87	10,27	78,18	25,11
3	5. Kons. (K5)	21,80	1,71	9,02	3,42	81,60	23,36
4	6. Kons. (K6)	21,24	1,66	3,20	1,18	82,78	21,44
5	7. Kons. (K7)	13,54	1,06	1,49	0,35	83,13	20,29
7	8. Kons. (K8)	102,72	8,03	1,25	2,23	85,36	14,51
9	9. Kons. (K9)	57,26	4,48	0,68	0,68	86,04	12,51
12	10. Kons. (K10)	77,71	6,08	0,52	0,70	86,74	10,54
15	11. Kons. (K11)	31,93	2,50	0,48	0,27	87,01	9,90
18	12. Kons. (K12)	6,81	0,53	0,47	0,06	87,07	9,78
	ATIK	766,50	59,95	0,97	12,93	100,00	4,50
	Toplam	1278,48	100,00	4,50	100,00		
		R inf.	88,00	K	0,2817		
		R at 16	87,03	t	16,00		

26' Öğütme – d₈₀ 150 um

SIPX Kinetik Kuru Ağırlıklar

		Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
	1. Kons. (K1)	66,39	6,03	27,21	39,64	39,64	27,21
	2. Kons. (K2)	29,63	2,69	22,15	14,40	54,05	25,65
	3. Kons. (K3)	40,20	3,65	21,82	19,25	73,29	24,52
	4. Kons. (K4)	29,11	2,64	16,22	10,36	83,66	23,06
	5. Kons. (K5)	20,85	1,89	4,28	1,96	85,61	20,95
	6. Kons. (K6)	19,22	1,75	1,48	0,62	86,24	19,13
	7. Kons. (K7)	12,28	1,12	0,91	0,25	86,48	18,10
	8. Kons. (K8)	48,14	4,37	1,19	1,26	87,74	15,04
	9. Kons. (K9)	23,36	2,12	0,90	0,46	88,20	13,90
	10. Kons. (K10)	30,57	2,78	0,72	0,48	88,69	12,64
	11. Kons. (K11)	33,84	3,07	0,69	0,51	89,20	11,50
	12. Kons. (K12)	17,58	1,60	0,60	0,23	89,43	10,98
	ATIK	729,86	66,29	0,66	10,57	100,00	4,14
	Toplam	1101,03	100,00	4,14	100,00		
		R inf.	90,00	K	0,3013		
		R at 16	89,27	t	16,00		

75' Öğütme – d₈₀ 45 µm
KAX Kinetik Kuru Ağırlıklar

dk.		Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	46,84	4,27	48,28	46,70	46,70	48,28
0,5	2. Kons. (K2)	27,11	2,47	32,77	18,34	65,04	42,59
1	3. Kons. (K3)	46,40	4,23	18,70	17,92	82,96	33,38
2	4. Kons. (K4)	60,72	5,53	5,93	7,43	90,39	24,18
3	5. Kons. (K5)	47,52	4,33	2,19	2,15	92,54	19,61
4	6. Kons. (K6)	45,17	4,11	1,19	1,11	93,65	16,57
5	7. Kons. (K7)	45,21	4,12	0,83	0,77	94,42	14,34
7	8. Kons. (K8)	61,17	5,57	0,87	1,10	95,52	12,17
9	9. Kons. (K9)	36,58	3,33	0,72	0,54	96,07	11,16
12	10. Kons. (K10)	68,36	6,23	0,54	0,76	96,83	9,67
15	11. Kons. (K11)	49,62	4,52	0,40	0,41	97,24	8,81
18	12. Kons. (K12)	31,84	2,90	0,36	0,24	97,48	8,33
	ATIK	531,44	48,40	0,23	2,52	100,00	4,41
	Toplam	1097,98	100,00	4,41	100,00		
		R inf.	98,00	K	0,3105		
		R at 16	97,32	t	16,00		

75' Öğütme – d₈₀ 45 µm
SIPX Kinetik Kuru Ağırlıklar

	Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
1. Kons. (K1)	71,58	6,20	35,43	53,56	53,56	35,43
2. Kons. (K2)	35,89	3,11	25,30	19,18	72,74	32,05
3. Kons. (K3)	49,23	4,26	14,88	15,47	88,22	26,65
4. Kons. (K4)	49,01	4,25	4,14	4,29	92,50	21,29
5. Kons. (K5)	40,61	3,52	1,22	1,05	93,55	17,98
6. Kons. (K6)	41,23	3,57	0,82	0,71	94,26	15,52
7. Kons. (K7)	34,38	2,98	0,64	0,46	94,73	13,93
8. Kons. (K8)	54,44	4,72	0,59	0,68	95,40	12,00
9. Kons. (K9)	35,57	3,08	0,54	0,41	95,81	11,01
10. Kons. (K10)	75,81	6,57	0,40	0,64	96,45	9,36
11. Kons. (K11)	45,00	3,90	0,35	0,33	96,78	8,60
12. Kons. (K12)	34,27	2,97	0,33	0,24	97,02	8,10
ATIK	587,44	50,88	0,24	2,98	100,00	4,10
Toplam	1154,46	100,00	4,10	100,00		
	R inf.	97,50	K	0,3144		
	R at 16	96,86	t	16,00		

EK 7 İki Toplayıcı Kinetik Test Sonuçları

26-Kin-XSMCP

d₈₀ 150 um - 100 g/t SIPX 30 g/t AP407

dk.		Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	73,51	6,64	28,81	47,47	47,47	28,81
0,5	2. Kons. (K2)	52,14	4,71	20,29	23,71	71,18	25,27
1	3. Kons. (K3)	43,80	3,96	12,59	12,36	83,54	22,00
2	4. Kons. (K4)	59,08	5,34	5,76	7,63	91,17	17,80
3	5. Kons. (K5)	32,70	2,95	1,42	1,04	92,21	15,75
4	6. Kons. (K6)	24,80	2,24	1,02	0,57	92,78	14,47
5	7. Kons. (K7)	31,34	2,83	0,72	0,51	93,28	13,11
7	8. Kons. (K8)	26,75	2,42	0,74	0,44	93,73	12,15
9	9. Kons. (K9)	14,83	1,34	0,69	0,23	93,96	11,68
12	10. Kons. (K10)	32,07	2,90	0,62	0,45	94,40	10,77
15	11. Kons. (K11)	13,93	1,26	0,64	0,20	94,60	10,42
18	12. Kons. (K12)	12,34	1,11	0,51	0,14	94,74	10,13
	ATIK	690,00	62,31	0,34	5,26	100,00	4,03
	Toplam	1107,29	100,00	4,03	100,00		

R inf. 95,00 K 0,3498

R at 16 94,65 t 16,00

26-Kin-XSTHC

d₈₀ 150 um - 100 g/t SIPX 30 g/t XD5002

dk.		Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	74,91	6,86	24,26	38,35	38,35	24,26
0,5	2. Kons. (K2)	55,78	5,11	17,16	20,20	58,55	21,23
1	3. Kons. (K3)	60,37	5,53	13,47	17,16	75,70	18,78
2	4. Kons. (K4)	74,72	6,84	7,37	11,62	87,33	15,57
3	5. Kons. (K5)	35,52	3,25	2,23	1,67	89,00	14,00
4	6. Kons. (K6)	18,45	1,69	0,98	0,38	89,38	13,25
5	7. Kons. (K7)	24,41	2,24	0,89	0,46	89,84	12,37
7	8. Kons. (K8)	32,43	2,97	0,64	0,44	90,27	11,36
9	9. Kons. (K9)	21,33	1,95	0,57	0,26	90,53	10,78
12	10. Kons. (K10)	23,51	2,15	0,55	0,27	90,80	10,21
15	11. Kons. (K11)	21,61	1,98	0,52	0,24	91,04	9,74
18	12. Kons. (K12)	12,82	1,17	7,31	1,98	93,02	9,67
	ATIK	636,26	58,26	0,52	6,98	100,00	4,34
	Toplam	1092,12	100,00	4,34	100,00		

R inf. 93,50 K 0,2469

R at 16 91,70 t 16,00

26-Kin-XSDTP**d₈₀ 150 um - 100 g/t SIPX 30 g/t 3477**

dk.		Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	90,51	8,19	25,03	52,97	52,97	25,03
0,5	2. Kons. (K2)	57,29	5,18	13,61	18,23	71,20	20,60
1	3. Kons. (K3)	39,48	3,57	12,07	11,14	82,35	18,80
2	4. Kons. (K4)	42,73	3,87	4,18	4,18	86,52	16,09
3	5. Kons. (K5)	36,86	3,34	1,11	0,96	87,48	14,02
4	6. Kons. (K6)	16,80	1,52	0,95	0,37	87,85	13,24
5	7. Kons. (K7)	17,31	1,57	0,75	0,30	88,15	12,53
7	8. Kons. (K8)	36,51	3,30	1,36	1,16	89,32	11,32
9	9. Kons. (K9)	18,96	1,72	0,58	0,26	89,57	10,75
12	10. Kons. (K10)	17,89	1,62	0,49	0,20	89,78	10,26
15	11. Kons. (K11)	19,98	1,81	0,63	0,29	90,07	9,77
18	12. Kons. (K12)	15,10	1,37	0,48	0,17	90,24	9,43
	ATIK	695,55	62,95	0,60	9,76	100,00	3,87
	Toplam	1104,97	100,00	3,87	100,00		

R inf. 90,50 K 0,3435
R at 16 90,13 t 16,00

26-Kin-XSXKe**d₈₀ 150 um - 100 g/t SIPX 30 g/t KEX**

	Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
1. Kons. (K1)	73,14	6,59	27,26	43,73	43,73	27,26
2. Kons. (K2)	37,54	3,38	22,83	18,80	62,52	25,76
3. Kons. (K3)	32,19	2,90	21,33	15,06	77,58	24,76
4. Kons. (K4)	49,00	4,41	8,18	8,79	86,37	20,53
5. Kons. (K5)	34,47	3,10	1,68	1,27	87,64	17,66
6. Kons. (K6)	26,53	2,39	0,94	0,55	88,19	15,90
7. Kons. (K7)	19,98	1,80	0,67	0,29	88,48	14,79
8. Kons. (K8)	37,50	3,38	1,43	1,18	89,66	13,17
9. Kons. (K9)	22,53	2,03	0,70	0,35	90,00	12,33
10. Kons. (K10)	20,47	1,84	0,50	0,22	90,23	11,64
11. Kons. (K11)	26,55	2,39	0,64	0,37	90,60	10,87
12. Kons. (K12)	21,23	1,91	0,48	0,22	90,82	10,32
ATIK	709,07	63,87	0,59	9,18	100,00	4,11
Toplam	1110,20	100,00	4,11	100,00		

R inf. 91,00 K 0,3524
R at 16 90,68 t 16,00

76-Kin-XSMCP**d₈₀ 45 um - 100 g/t SIPX 30 g/t AP407**

dk.		Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	82,23	7,43	32,26	60,89	60,89	32,26
0,5	2. Kons. (K2)	43,56	3,94	16,94	16,94	77,83	26,95
1	3. Kons. (K3)	48,21	4,36	9,66	10,69	88,52	22,16
2	4. Kons. (K4)	61,83	5,59	2,44	3,46	91,98	16,99
3	5. Kons. (K5)	47,80	4,32	1,12	1,23	93,21	14,32
4	6. Kons. (K6)	40,06	3,62	0,81	0,74	93,95	12,65
5	7. Kons. (K7)	25,04	2,26	0,73	0,42	94,37	11,79
7	8. Kons. (K8)	54,58	4,93	0,73	0,91	95,29	10,29
9	9. Kons. (K9)	47,94	4,33	0,60	0,66	95,95	9,26
12	10. Kons. (K10)	50,77	4,59	0,48	0,56	96,51	8,38
15	11. Kons. (K11)	43,35	3,92	0,42	0,42	96,92	7,74
18	12. Kons. (K12)	32,96	2,98	0,38	0,29	97,21	7,32
	ATIK	528,07	47,73	0,23	2,79	100,00	3,94
	Toplam	1106,40	100,00	3,94	100,00		
		R inf.	97,50	K	0,3322		
		R at 16	97,02	t	16,00		

76-Kin-XSTHC**d₈₀ 45 um - 100 g/t SIPX 30 g/t XD5002**

	Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
1. Kons. (K1)	67,29	6,11	29,42	47,49	47,49	29,42
2. Kons. (K2)	58,20	5,28	17,33	24,20	71,69	23,81
3. Kons. (K3)	54,32	4,93	9,99	13,02	84,71	19,64
4. Kons. (K4)	64,12	5,82	3,28	5,05	89,76	15,34
5. Kons. (K5)	51,70	4,69	1,16	1,44	91,19	12,86
6. Kons. (K6)	40,54	3,68	0,97	0,94	92,14	11,42
7. Kons. (K7)	34,53	3,13	0,83	0,69	92,83	10,44
8. Kons. (K8)	57,87	5,25	0,66	0,92	93,74	9,12
9. Kons. (K9)	30,77	2,79	0,67	0,49	94,24	8,55
10. Kons. (K10)	51,84	4,71	0,56	0,70	94,93	7,74
11. Kons. (K11)	53,03	4,81	0,40	0,51	95,44	7,05
12. Kons. (K12)	37,44	3,40	0,40	0,36	95,80	6,64
ATIK	500,11	45,39	0,35	4,20	100,00	3,78
Toplam	1101,76	100,00	3,78	100,00		
	R inf.	96,00	K	0,3367		
	R at 16	95,56	t	16,00		

76-Kin-XSDTP**d₈₀ 45 um - 100 g/t SIPX 30 g/t 3477**

dk.		Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
0,25	1. Kons. (K1)	88,09	7,91	34,45	73,36	73,36	34,45
0,5	2. Kons. (K2)	48,80	4,38	14,00	16,52	89,88	27,16
1	3. Kons. (K3)	47,29	4,25	0,40	0,46	90,33	20,29
2	4. Kons. (K4)	57,49	5,16	1,88	2,61	92,95	15,91
3	5. Kons. (K5)	31,49	2,83	1,01	0,77	93,72	14,19
4	6. Kons. (K6)	27,19	2,44	0,78	0,51	94,23	12,98
5	7. Kons. (K7)	29,01	2,60	0,66	0,46	94,69	11,89
7	8. Kons. (K8)	38,41	3,45	0,57	0,53	95,22	10,71
9	9. Kons. (K9)	51,24	4,60	0,44	0,55	95,77	9,45
12	10. Kons. (K10)	79,42	7,13	0,45	0,86	96,63	8,02
15	11. Kons. (K11)	54,70	4,91	0,34	0,45	97,08	7,26
18	12. Kons. (K12)	43,27	3,88	0,28	0,29	97,37	6,75
	ATIK	517,52	46,46	0,21	2,63	100,00	3,71
	Toplam	1113,92	100,00	3,71	100,00		

R inf. 97,50 K 0,3570
R at 16 97,18 t 16,00

76-Kin-XSXKe**d₈₀ 45 um - 100 g/t SIPX 30 g/t KEX**

	Kuru Gr	%ağ.	%Cu	%Cu R	%ΣR	%Σ Cu
1. Kons. (K1)	72,44	6,49	32,10	52,45	52,45	32,10
2. Kons. (K2)	46,79	4,19	19,96	21,07	73,52	27,34
3. Kons. (K3)	45,89	4,11	12,41	12,85	86,37	23,19
4. Kons. (K4)	44,26	3,97	4,00	3,99	90,36	19,13
5. Kons. (K5)	40,30	3,61	1,59	1,45	91,80	16,30
6. Kons. (K6)	41,30	3,70	1,14	1,06	92,87	14,15
7. Kons. (K7)	39,37	3,53	0,89	0,79	93,66	12,57
8. Kons. (K8)	62,62	5,61	0,76	1,07	94,73	10,69
9. Kons. (K9)	47,97	4,30	0,72	0,78	95,51	9,60
10. Kons. (K10)	57,79	5,18	0,57	0,74	96,25	8,56
11. Kons. (K11)	50,26	4,50	0,47	0,53	96,79	7,82
12. Kons. (K12)	38,25	3,43	0,41	0,35	97,14	7,33
ATIK	528,42	47,36	0,24	2,86	100,00	3,97
Toplam	1115,66	100,00	3,97	100,00		

R inf. 97,50 K 0,3185
R at 16 96,90 t 16,00

EK 8 İki Toplayıcılı Flotasyon Test Sonuçları

26-FT-XSMCP (150 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. %	Küm. Ağ. %	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
+200	1,92	0,18	99,82	15,81	0,67	P80	95,66
+100	57,25	5,25	94,57	11,17	14,14	Tenör	12,11
+75	47,43	4,35	90,22	13,18	13,82	Verim	90,184
+53	48,72	4,47	85,75	14,29	15,39		
+38	37,94	3,48	82,26	15,47	12,97		
+20	15,74	1,44	80,82	14,83	5,16		
-20	127,98	11,75	69,07	9,91	28,04		
ATIK	752,64	69,07	0,00	0,59	9,82		
Toplam	1089,62	100,00		4,15	100,00		
Kon+Su	3050,00						

26-FT-XSTHC (150 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ. %	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
	1,87	0,17	99,83	15,88	0,68	P80	95,79
	56,65	5,18	94,64	10,75	13,98	Tenör	12,06
	43,91	4,02	90,63	13,42	13,52	Verim	91,244
	49,98	4,57	86,05	13,62	15,62		
	36,92	3,38	82,67	15,63	13,24		
	19,22	1,76	80,91	14,68	6,48		
	120,99	11,07	69,84	9,98	27,71		
	763,1	69,84	0,00	0,50	8,76		
	1092,64	100,00		3,99	100,00		
	2935						

26-FT-XSDTP (150 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ. %	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
+200	2,31	0,20	99,80	15,41	0,71	P80	95,36
+100	68,78	6,06	93,74	10,01	13,79	Tenör	11,46
+75	52,82	4,65	89,09	12,01	12,70	Verim	92,823
+53	91,26	8,03	81,06	12,96	23,68		
+38	46,17	4,06	76,99	12,76	11,80		
+20	18,99	1,67	75,32	15,14	5,76		
-20	124,11	10,93	64,39	9,81	24,38		
ATIK	731,39	64,39	0,00	0,49	7,18		
Toplam	1135,83	100,00		4,40	100,00		
Kon+Su	3055						

26-FT-XSXKe (150 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ. %	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
	1,98	0,18	99,82	17,34	0,78	P80	95,27
	58,96	5,40	94,42	11,15	15,00	Tenör	11,44
	46,92	4,29	90,13	12,85	13,76	Verim	91,137
	48,64	4,45	85,68	12,61	14,00		
	41,43	3,79	81,89	13,69	12,95		
	16,76	1,53	80,35	14,49	5,54		
	134,35	12,29	68,06	9,49	29,10		
	743,71	68,06	0,00	0,52	8,86		
	1092,75	100,00		4,01	100,00		
	3470						

76-FT-XSMCP (45 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ.%	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
						P80	22,01
+100	0,97	0,09	99,91	35,60	0,79	Tenör	9,39
+75	4,05	0,37	99,54	9,14	0,85	Verim	96,067
+53	23,7	2,15	97,40	8,57	4,68		
+38	53,63	4,86	92,53	10,97	13,54		
+20	38,9	3,53	89,00	12,70	11,37		
-20	322,97	29,29	59,71	8,72	64,83		
ATIK	658,42	59,71	0,00	0,26	3,93		
Toplam	1102,64	100,00		3,94	100,00		
Kon+Su	3620						

76-FT-XSTHC (45 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ.%	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
						P80	23,19
+100	1,05	0,10	99,90	28,64	0,68	Tenör	8,52
+75	5,15	0,47	99,44	6,72	0,78	Verim	96,257
+53	27,94	2,54	96,90	6,07	3,81		
+38	79,18	7,20	89,70	8,92	15,88		
+20	42,55	3,87	85,83	11,44	10,94		
-20	346,81	31,52	54,32	8,23	64,17		
ATIK	597,7	54,32	0,00	0,28	3,74		
Toplam	1100,38	100,00		4,04	100,00		
Kon+Su	3705						

76-FT-XSMCP (45 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ.%	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
						P80	25,05
+100	1,35	0,12	99,88	20,70	0,55	Tenör	8,19
+75	6,78	0,59	99,29	5,86	0,79	Verim	97,295
+53	33,95	2,96	96,33	6,27	4,23		
+38	79,8	6,95	89,38	8,21	13,01		
+20	94,42	8,22	81,16	11,19	20,98		
-20	382,2	33,29	47,87	7,61	57,74		
ATIK	549,6	47,87	0,00	0,25	2,70		
Toplam	1148,1	100,00		4,39	100,00		
Kon+Su	4115						

76-FT-XSXKe (45 um)

	Ağ. (Gr)	Ağ. (%)	Küm. Ağ.%	Tenör %Cu	Verim	Kons.	
						P80	21,58
+100	0,71	0,06	99,94	39,10	0,62	Tenör	8,71
+75	3,91	0,35	99,58	7,51	0,65	Verim	96,651
+53	24,42	2,21	97,37	8,29	4,51		
+38	62,8	5,68	91,69	8,74	12,23		
+20	36,92	3,34	88,35	10,91	8,97		
-20	369,17	33,40	54,95	8,47	69,67		
ATIK	607,42	54,95	0,00	0,25	3,35		
Toplam	1105,35	100,00		4,06	100,00		
Kon+Su	3879,38						

EK 9 Fraksiyonel modal mineraloji, elemental dağılım ve serbestleşme tabloları

+106 µm fraksiyonun modal mineralojisi ve element içeriği

Mineral Analizi			Element Analizi	
Mineral	%Ağırlık	%Alan	Element	%
Bornit	1,45	1,41	Al	0,11
Broşantit	0,01	0,02	Ca	0,33
Kalsit	0,00	0,00	Cr	0,02
Kalkopirit	0,36	0,42	Cu	1,84
Kromit	0,03	0,04	Fe	51,98
Nabit Bakır	0,20	0,11	H	0,01
Küprit	0,00	0,00	Mg	0,20
Dijenit	0,76	0,66	Na	0,10
Galen	0,01	0,01	O	28,67
Hornblend	3,48	5,03	Pb	0,01
Demir Oksit	8,37	7,92	S	1,01
İskorit	84,06	82,68	Si	15,29
Olivin	0,00	0,01	Zn	0,44
Pirit	0,24	0,24		
Kuvars	0,36	0,67		
Sfalerit	0,66	0,81		
Toplam	100,00	100,00	Toplam	100

+106 µm elementlerin minerallere göre dağılımı

ELEMENT DAĞILIM TABLOSU					
Mineral	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	S (%)	Zn (%)
Bornit	49,77	0,31	0,00	36,72	0,00
Broşantit	0,35	0,00	0,00	0,08	0,00
Kalkopirit	6,69	0,21	0,00	12,34	0,00
Nabit Bakır	10,62	0,00	0,00	0,00	0,00
Küprit	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Dijenit	32,36	0,00	0,00	16,58	0,00
Galen	0,00	0,00	100,00	0,14	0,00
Demir Oksit	0,00	11,60	0,00	0,00	0,00
İskorit	0,00	87,21	0,00	0,00	0,00
Pirit	0,00	0,22	0,00	12,74	0,00
Sfalerit	0,00	0,00	0,00	21,40	100,00
Toplam	100,00	99,54	100,00	100,00	100,00

+106 µm ikili ve üçlü bağlı mineral oranları

İkili Bağlı Mineral Oranları %									
	Bornit	Kalko- pirit	Bakır	Dijenit	Demir Oksit	Iskorit	Pirit	Galen	Sfalerit
Bornit	-	3,78	0,40	0,08	5,54	5,14	6,26	0,00	7,92
K.pirit	12,27	-	0,00	0,03	0,14	33,22	0,24	0,00	0,00
Bakır	3,98	0,00	-	0,32	0,00	5,37	0,00	0,00	0,00
Dijenit	1,36	0,00	1,10	-	0,03	1,31	0,00	1,30	5,65
Galen	0,00	0,00	0,00	11,12	0,00	11,44	1,19	-	0,00
Sfalerit	10,13	0,00	0,00	0,70	0,58	27,13	0,00	0,00	-
Üçlü Bağlı Mineral Oranları %									
Bornit	-	0,94	0,00	0,04	3,03	4,86	3,11	0,13	2,35
K.pirit	2,60	-	0,00	0,00	7,07	33,87	0,44	0,02	0,78
Bakır	0,12	0,03	-	0,03	2,88	10,00	0,07	0,03	0,00
Dijenit	0,08	0,00	0,01	-	2,94	6,10	0,01	0,00	0,00
Galen	15,81	1,43	0,00	0,75	14,53	14,67	16,69	-	0,34
Sfalerit	4,10	0,33	0,00	0,00	5,04	37,01	0,85	0,00	-

-75+53 µm fraksiyonun modal mineralojisi ve element içeriği

Mineral	%Ağırlık	%Alan	Element	%
Bornit	3,39	3,26	Al	0,16
Broşantit	0,01	0,01	Ca	0,48
Kalsit	0,01	0,02	Cr	0,02
Kalkopirit	0,64	0,74	Cu	3,51
Kromit	0,04	0,05	Fe	50,49
N. Bakır	0,16	0,09	H	0,01
Küprit	0,02	0,01	Mg	0,29
Dijenit	1,24	1,06	Na	0,14
Galen	0,04	0,03	O	27,89
Hornblend	4,98	7,14	Pb	0,05
Demir Oksit	12,33	11,57	S	2,08
Iskorit	74,88	73,08	Si	14,23
Olivin	0,07	0,09	Zn	0,69
Pirit	0,70	0,68		
Kuvars	0,54	1,00		
Sfalerit	1,02	1,25		
Toplam	100,00	100,00	Toplam	100

-75+53 µm elementlerin minerallere göre dağılımı

ELEMENT DAĞILIM TABLOSU					
Mineral	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	S (%)	Zn (%)
Bornit	61,21	0,75	0,00	41,75	0,00
Broşantit	0,18	0,00	0,00	0,04	0,00
Kalkopirit	6,29	0,38	0,00	10,73	0,00
Nabit Bakır	4,41	0,00	0,00	0,00	0,00
Küprit	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Dijenit	27,49	0,00	0,00	13,03	0,00
Galen	0,00	0,00	100,00	0,26	0,00
Demir Oksit	0,00	17,58	0,00	0,00	0,00
Iskorit	0,00	79,96	0,00	0,00	0,00
Pirit	0,00	0,64	0,00	17,97	0,00
Sfalerit	0,00	0,00	0,00	16,22	100,00
Toplam	100,00	99,32	100,00	100,00	100,00

-75+53 µm ikili ve üçlü bağlı mineral oranları

İkili Bağlı Mineral Oranları %									
	Bornit	Kalko- pirit	Bakır	Dijenit	Demir Oksit	Iskorit	Pirit	Galen	Sfalerit
Bornit	-	3,05	0,43	1,63	8,23	4,05	3,42	0,32	7,35
K.pirit	10,08	-	0,00	0,12	1,11	22,04	1,32	0,31	0,70
Bakır	9,74	0,00	-	2,46	0,10	11,67	0,00	0,54	0,00
Dijenit	3,69	0,00	0,06	-	0,29	2,96	0,00	0,24	1,26
Galen	6,15	1,31	1,96	3,77	0,10	8,18	2,27	-	0,53
Sfalerit	11,68	0,48	0,00	0,36	2,04	19,28	0,34	0,15	-
Üçlü Bağlı Mineral Oranları %									
Bornit	-	0,98	0,20	0,17	3,44	3,81	1,66	0,28	2,19
K.pirit	4,74	-	0,02	0,09	8,40	24,71	0,68	0,51	1,57
Bakır	2,57	0,07	-	0,82	2,15	8,66	0,35	0,17	0,19
Dijenit	0,53	0,03	0,06	-	2,35	3,37	0,02	0,12	0,20
Galen	15,82	8,05	0,74	1,45	9,90	22,88	3,94	-	3,60
Sfalerit	4,16	0,74	0,03	0,05	6,03	26,78	0,43	0,12	-

-53+38 µm fraksiyonun modal mineralojisi ve element içeriği

Mineral	%Ağırlık	%Alan		Element	%
Bornit	3,58	3,43		Al	0,17
Broşantit	0,01	0,02		Ca	0,51
Kalsit	0,00	0,01		Cr	0,02
Kalkopirit	0,75	0,87		Cu	3,77
Kromit	0,04	0,04		Fe	49,84
N. Bakır	0,16	0,09		H	0,01
Küprit	0,03	0,02		Mg	0,31
Dijenit	1,35	1,15		Na	0,15
Galen	0,05	0,03		O	27,78
Hornblend	5,34	7,63		Pb	0,04
Demir Oksit	11,53	10,78		S	2,27
Iskorit	74,59	72,57		Si	14,31
Olivin	0,01	0,01		Zn	0,83
Pirit	0,72	0,70			
Kuvars	0,62	1,13			
Sfalerit	1,23	1,50			
Toplam	100,00	100,00		Toplam	100

-53+38 µm elementlerin minerallere göre dağılımı

ELEMENT DAĞILIM TABLOSU					
Mineral	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	S (%)	Zn (%)
Bornit	60,14	0,80	0,00	40,29	0,00
Broşantit	0,22	0,00	0,00	0,05	0,00
Kalkopirit	6,87	0,46	0,00	11,51	0,00
Nabit Bakır	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Küprit	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00
Dijenit	27,96	0,00	0,00	13,01	0,00
Galen	0,00	0,00	100,00	0,29	0,00
Demir Oksit	0,00	16,65	0,00	0,00	0,00
Iskorit	0,00	80,69	0,00	0,00	0,00
Pirit	0,00	0,67	0,00	16,98	0,00
Sfalerit	0,00	0,00	0,00	17,87	100,00
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

-53+38 µm ikili ve üçlü bağlı mineral oranları

İkili Bağlı Mineral Oranları %									
	Bornit	Kalko- pirit	Bakır	Dijenit	Demir Oksit	Iskorit	Pirit	Galen	Sfalerit
Bornit	-	2,63	0,90	1,61	7,46	5,73	2,36	0,79	5,75
K.pirit	9,23	-	0,27	0,25	2,06	19,12	1,31	0,86	1,59
Bakır	10,04	0,19	-	3,86	0,37	11,77	0,55	0,00	0,00
Dijenit	5,09	0,01	0,32	-	0,39	6,06	0,01	0,32	1,06
Galen	15,95	11,40	0,00	1,91	0,24	4,45	1,40	-	4,52
Sfalerit	10,26	0,80	0,00	0,30	2,46	16,37	0,44	1,21	-
Üçlü Bağlı Mineral Oranları %									
Bornit	-	1,21	0,22	0,31	2,76	3,74	0,77	0,35	1,72
K.pirit	4,84	-	0,01	0,07	6,45	17,82	0,83	0,36	1,65
Bakır	2,93	0,06	-	0,44	1,89	9,02	0,36	0,00	0,12
Dijenit	0,80	0,04	0,03	-	2,16	3,09	0,04	0,09	0,14
Galen	12,18	4,68	0,00	2,88	5,10	15,40	3,21	-	3,99
Sfalerit	3,88	0,86	0,02	0,18	5,07	20,99	0,31	0,23	-

-38+23 µm fraksiyonun modal mineralojisi ve element içeriği

Mineral	%Ağırlık	%Alan	Element	%
Bornit	2,64	2,46	Al	0,36
Broşantit	0,05	0,07	Ca	1,08
Kalsit	0,01	0,01	Cr	0,02
Kalkopirit	1,00	1,12	Cu	4,27
Kromit	0,04	0,04	Fe	45,94
Nabit Bakır	0,17	0,09	H	0,03
Küprit	0,00	0,00	Mg	0,66
Dijenit	2,62	2,17	Na	0,31
Galen	0,05	0,03	O	28,73
Hornblend	11,34	15,75	Pb	0,04
Demir Oksit	8,99	8,16	S	2,27
Iskorit	70,37	66,44	Si	15,32
Olivin	0,02	0,02	Zn	0,98
Pirit	0,34	0,32		
Kuvars	0,89	1,58		
Sfalerit	1,47	1,73		
Toplam	100,00	100,00	Toplam	100

-38+23 µm elementlerin minerallere göre dağılımı

ELEMENT DAĞILIM TABLOSU					
Mineral	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	S (%)	Zn (%)
Bornit	39,17	0,64	0,00	29,69	0,00
Broşantit	0,72	0,00	0,00	0,17	0,00
Kalkopirit	8,09	0,66	0,00	15,33	0,00
Nabit Bakır	4,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Küprit	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Dijenit	47,93	0,00	0,00	25,24	0,00
Galen	0,00	0,00	100,00	0,29	0,00
Demir Oksit	0,00	14,09	0,00	0,00	0,00
Iskorit	0,00	82,59	0,00	0,00	0,00
Pirit	0,00	0,35	0,00	8,05	0,00
Sfalerit	0,00	0,00	0,00	21,23	100,00
Toplam	100,00	98,34	100,00	100,00	100,00

-38+23 µm ikili ve üçlü bağlı mineral oranları

İkili Bağlı Mineral Oranları %									
	Bornit	Kalko- pirit	Bakır	Dijenit	Demir Oksit	Iskorit	Pirit	Galen	Sfalerit
Bornit	-	2,63	0,90	1,61	7,46	5,73	2,36	0,79	5,75
K.pirit	9,23	-	0,27	0,25	2,06	19,12	1,31	0,86	1,59
Bakır	10,04	0,19	-	3,86	0,37	11,77	0,55	0,00	0,00
Dijenit	5,09	0,01	0,32	-	0,39	6,06	0,01	0,32	1,06
Galen	15,95	11,40	0,00	1,91	0,24	4,45	1,40	-	4,52
Sfalerit	10,26	0,80	0,00	0,30	2,46	16,37	0,44	1,21	-
Üçlü Bağlı Mineral Oranları %									
Bornit	-	1,21	0,22	0,31	2,76	3,74	0,77	0,35	1,72
K.pirit	4,84	-	0,01	0,07	6,45	17,82	0,83	0,36	1,65
Bakır	2,93	0,06	-	0,44	1,89	9,02	0,36	0,00	0,12
Dijenit	0,80	0,04	0,03	-	2,16	3,09	0,04	0,09	0,14
Galen	12,18	4,68	0,00	2,88	5,10	15,40	3,21	-	3,99
Sfalerit	3,88	0,86	0,02	0,18	5,07	20,99	0,31	0,23	-

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Kemal Can Yılmaz

Doğum Yeri: Çorum

Medeni Hali: Bekâr

E-Posta: gymn99@gmail.com

Adresi: Şeyh Şamil Mahallesi, 585. Sokak, Turkuaz Sitesi

A Blok No: 12 Etimesgut/Ankara

Eğitim

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (2009-2015)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü,
Maden Mühendisliği (2015-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce – Çok İyi

İş Deneyimi

Tüfekçioğlu Kauçuk ve Makine – Maden Mühendisi (2015-...)

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 28/09/2018

Tez Başlığı / Konusu: **BAKIR CÜRUFU FLOTASYONUNDA İKİ FARKLI TOPLAYICI KULLANIMININ UÇ TANE BOYLARI VERİMLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 88 sayfalık kısmına ilişkin, 28/09/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

28.09.2018

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Kemal Can YILMAZ
Öğrenci No: N14322360
Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği Bölümü
Programı: -
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. İlkay Bengü CAN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)