

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRE BÖLGESİ KOMPLEKS SÜLFÜRLÜ BAKIR  
CEVHERLERİNİN HİDROMETALURJİK  
PROSESLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Seda ULU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ALP**

**Ocak 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRE BÖLGESİ KOMPLEKS SÜLFÜRLÜ BAKIR  
CEVHERLERİNİN HİDROMETALURJİK  
PROSESLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

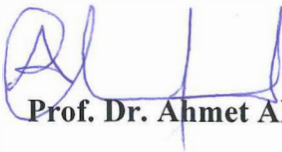
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda ULU

Enstitü Anabilim Dalı

: METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ


Bu tez .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Ahmet ALP

Jüri Başkanı

  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet  
UYSAL

Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi Harun  
GÜL

Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Seda ULU

/ / 2018

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her alanda bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, çalışmalarımı her aşamada titizlikle takip eden ve beni bu doğrultuda yönlendiren, tüm aşamalarda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ALP'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm Laboratuvar olanaklarını benimle paylaşan Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığına, her daim çalışmalarımda bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UYSAL, Dr. Öğr. Üyesi Harun GÜL, Arş. Gör. Hasan ALGÜL, Arş. Gör. Tuğba TUNÇ PARLAK, Arş. Gör. Derya KIRSEVER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana laboratuvar paylaşımı konusunda asla desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Yüksek mühendis Figen ÖZBOZ'a, Abdulkadir AKYOL'a teşekkür ederim.

Ayrıca eğitimimin ilk başladığı günden bugüne kadar maddi ve manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen sevgili annem Elmas ULU'ya ve babam Cevdet ULU'ya, çalışmalarım boyunca bana destek olan ve yönlendirmeleriyle bana motivasyon kaynağı olan kız kardeşim Eda ULU'ya teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	vii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

BAKIR .....	3
2.1. Bakır ve Bakırın Genel Özellikleri .....	3
2.2. Bakırın Tarihçesi .....	3
2.3. Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri .....	4
2.4. Bakır Mineralleri .....	5
2.5. Bakır Alaşımları .....	8
2.6. Bakırın Kullanım Alanları .....	9
2.7. Dünya Madenciliğinde Bakırın Durumu .....	10
2.8. Türkiye Madenciliğinde Bakırın Durumu .....	11

### BÖLÜM 3.

BAKIR ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	14
3.1. Pirometalurjik Yöntemler .....	16

3.2. Hidrometalurjik Yöntemler .....	17
3.2.1. Liç Prosesi .....	18
3.2.2. Liç Proseslerini Etkileyen Faktörler .....	20
3.2.3. Liç İşlemlerinde Kullanılan Çözücüler .....	21
3.2.4. Liç Yöntemleri .....	22
3.2.4.1. Yerinde Liç .....	22
3.2.4.2. Süzülme Liçi .....	23
3.2.4.3. Yığın Liçi .....	24
3.2.4.4. Basınç Liçi .....	24
3.2.4.5. Bakteri Liçi .....	24
3.2.4.6. Karıştırma Liçi .....	25
3.3. Bakır Liç Prosesleri .....	25
3.3.1. Nabit Bakırın Liçi .....	25
3.3.2. Oksitli Cevherlerin Liçi .....	26
3.3.3. Sülfürlü Cevherlerin Liçi .....	28
3.4. Bakır Liç Çözeltilerinin Değerlendirilmesi .....	30

#### BÖLÜM 4.

KATILARIN MEKANİK AKTİVASYONU .....	31
4.1. Mekanik Aktivasyon .....	31
4.2. Mekanik Aktivasyonun Minerallerin Çözünmesi Üzerine Etkileri .....	32

#### BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMA VE METOT .....	34
5.1. Kullanılan Cevher .....	34
5.2. Aktivasyon Çalışmaları .....	34
5.3. XRD Çalışmaları .....	34
5.4. SEM-EDS Analiz Çalışmaları .....	35
5.5. Liç Çalışmaları .....	35

## BÖLÜM 6.

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....	36
6.1. Cevher Kimyasal Analizi .....	36
6.2. Mekanik Aktivasyon Çalışmaları .....	36
6.3. XRD Analiz Sonuçları .....	37
6.4. SEM-EDS Çalışmaları .....	40
6.5. Direkt Liç Çalışmaları .....	41
6.5.1. Mekanik Aktivasyon ve Sürenin Liç Verimine Etkisi .....	42
6.5.2. Mekanik Aktivasyon ve Katı-Sıvı Oranının Liç Verimine Etkisi.....	43
6.5.3. Mekanik Aktivasyon ve Hidrojen Peroksit İlavesinin Liç Verimine Etkisi .....	44

## BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
7.1. Sonuçlar .....	46
7.2. Öneriler .....	47
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
Cu	: Bakır
dk	: Dakika
EDS	: Enerji dağılım spektrometresi
g	: Gram
M	: Molar
ppm	: Milyonda bir (~ mg/L)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XRD	: X-Işını Difraksiyon spektroskopisi
XRF	: X-Işını Floresans spektrometresi
°C	: Santigrad derece
µm	: Mikrometre



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bakır içeren mineral taşları .....	6
Şekil 2.2. Bakır ve Alaşımlarının sınıflandırılması .....	9
Şekil 2.3. Bakır Kullanım Alanları .....	10
Şekil 2.4. Dünya Bakır Rezerveleri dağılımı .....	11
Şekil 2.5. Türkiye'deki bakır yatakları .....	13
Şekil 3.1. Bakır Üretim Yöntemleri .....	15
Şekil 3.2. Pirometalurjik Yöntemiyle Bakır Üretimi İşlem Basamakları .....	17
Şekil 3.3. Hidrometalurji Yöntemiyle Bakır Üretimi İşlem Basamakları .....	18
Şekil 3.4. Yerinde Liç şematik Görünüşü .....	23
Şekil 3.5. Süzülme Liç şematik Gösterimi .....	23
Şekil 4.1. Mekanik aktivasyon sonrası artan kusurlar .....	32
Şekil 6.1. Mekanik Aktivasyon cihazı a) Dış görünümü, b) Hazne görünümü .....	37
Şekil 6.2. Farklı hızlarda mekanik aktivasyon yapılan cevhere ait XRD paternler	38
Şekil 6.3. Farklı sürelerde mekanik aktivasyon yapılan cevhere ait XRD .....	39
Şekil 6.4. Farklı oranlarda mekanik aktive edilmiş cevhere ait XRD paternleri ...	40
Şekil 6.5. Küre Bölgesi Sülfürlü cevherlere ait SEM görüntüleri .....	40
Şekil 6.6. Cevher Mapping Analizleri .....	41
Şekil 6.7. Aktivasyon ve sürenin sülfürlü bakır cevherinin liç verimine etkisi .....	42
Şekil 6.8. Katı-Sıvı oranı değişiminin liç verimine etkisi .....	43
Şekil 6.9. Hidrojen peroksit ilavesinin liç verimine etkisi .....	45

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bakırın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri .....	4
Tablo 2.2. Bakır Mineralleri .....	5
Tablo 2.3. Dünya Bakır Rezervleri .....	11
Tablo 2.4. Türkiye Bakır Rezervleri .....	12
Tablo 6.1. Küre Bölgesi Bakır Cevherlerine ait kimyasal analiz sonuçları .....	36

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Bakır, Küre bölgesi, Hidrometalurji, Mekanik aktivasyon, Liç verimi

Bakır sahip olduğu mekanik, fiziksel ve kimyasal pek çok özelliğinden dolayı hem metalik formuyla hem de bileşik formuyla pek çok kullanım alanına sahiptir. Bakır üretiminde kullanılan geleneksel yöntem pirometalurjik yöntemlerdir. Fakat hem mali hem de çevresel sebeplerden dolayı bu yöntemin yerini hidrometalurjik yöntemler almaya başlamıştır.

Bu çalışmada, Küre bölgesi sülfürlü kompleks cevherlerinden hidrometalurjik prosesler yardımıyla içerisinde bulunan bakırın asit çözeltisinde çözdürülerek bakır kazanımı amaçlanmıştır. Mekanik aktivasyonun liç verimliliği üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için aktivasyon öncesi ve sonrası kalkopirit cevherinde elde edilen bakır verimliliği karşılaştırılmıştır. Kompleks bir cevher olan Küre Bilgesi bakır cevherlerinde bulunan ve genellikle yüksek sıcaklık prosesleriyle elde edilen bakırın daha çevreye duyarlı bir yöntem olan hidrometalurjik proses ile kazanımının sağlanabilmesi amacıyla mekanik aktive edilmemiş ve edilmiş cevher üzerinde farklı süre, katı oranı ve hidrojen peroksit ilavesi çalışmaları yapılmıştır. Bu parametrelerin sülfürik asit içerisinde liç çalışmaları yapılmış olup elde edilen çözeltiler atomik absorpsiyon spektroskopisi yardımıyla analiz edilmiştir.

Deneyleerde  $H_2SO_4$  yardımıyla cevher içinde bulunan bakır çözeltiye geçirilmiş olup süzme yöntemiyle diğer bileşenlerinden ayrılmıştır. Deney sonuçlarına göre en yüksek verim mekanik aktive edilmiş cevher üzerinde yapılan çalışmada 3M'lık  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisinde, 2 saat sürede, hacimce %20  $H_2O_2$  ilavesi yapılmış çalışmada ölçülmüş olup bu değer %66,2'dir.

# EVALUATION OF COMPLEX SULFUR COPPER ORES WITH HYDROMETALLURGIC PROCESSES FROM KÜRE REGION

## SUMMARY

Keywords: Copper, Küre region, hydrometallurgy, mechanical activation, leaching efficiency

Copper is a metal that has many using areas in both metallic form and compound form due to its mechanical, physical and chemical properties. The traditional method used in copper production is pyrometallurgical methods. However, due to both financial and environmental reasons, this method has been replaced by hydrometallurgical methods.

In this study, it is aimed to obtain copper by dissolving in the acid solution with the help of hydrometallurgical processes of the copper in the sulfurous complex ores of the Küre region. In order to determine the effects of mechanical activation on leaching efficiency, the efficiency of copper obtained in chalcopyrite ore was compared before and after activation. Complex ores are generally evaluated with high temperature processes. Hydrometallurgical method can be used to be more sensitive to the environment. Various time, solid rate and hydrogen peroxide addition were studied on mechanically activated ore with hydrometallurgical processes. The leach studies of these parameters were made in sulfuric acid and the obtained solutions were analyzed by atomic absorption spectroscopy.

In the experiments, it was passed to the copper solution in the ore with the help of  $H_2SO_4$  and separated from the other components by filtration method. According to the experimental results, the highest efficiency was measured in the study of addition of 20 %  $H_2O_2$  by volume in 3 molar  $H_2SO_4$  for 2 hours on mechanically activated ore and this efficiency is 66,2%.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Bakır geçmişten günümüze yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikleri nedeniyle birçok alanda çok popüler olmuş bir metaldir. Gelişen teknoloji ve elektronik aletlerin yükselen talebi nedeniyle bu metale duyulan ihtiyaçtan dolayı üretimi çok önemli bir konu olmuştur. Gerek saf halde gerekse alaşımlı haliyle pek çok alanda kullanılabilirliğinden dolayı önemi gün geçtikçe artmaktadır. Taleplerin karşılanması için temin edilen bakırın ülke ekonomisinde cari açığa sebep olmaması için birincil üretim önemli bir aşamadır. Ülkemizde bulunan bakırca zengin madenlerin değerlendirilmesi bu nedenle büyük önem teşkil etmektedir.

Dünya ve Türkiye cevherden bakır üretimi genellikle yüksek sıcaklık ve enerji gerektiren ve ayrıca çevreye karşı duyarlı olmayan pirometalurjik yöntemlerle yapılmaktadır. Pirometalurjik yöntemler yüksek enerji gerektirmesinin yanı sıra çevreye yaydığı SO<sub>2</sub> gazı nedeniyle alternatif yöntem arayışına gidilmesine neden olmuştur. Bu alternatif arayışlar sonucu ön işlem yapılmaksızın uygulanabilecek hidrometalurjik prosesler önem kazanmaya başlamıştır. Hidrometalurjik prosesler sayesinde hem enerji tasarrufu sağlanabilecek, hem de daha temiz bir çevre için SO<sub>2</sub> salınımı azaltılacaktır.

Bakır madenleri doğada nabit, oksitli ve sülfürlü halde bulunabilir. Nabit halde nadir bulunması ve sülfürlü cevherlerin çok yaygın bulunması nedeniyle sülfürlü bakır cevherlerinin değerlendirilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Hidrometalurjik yöntemlerle sülfürlü cevherlerin gang minerallerinden kolayca ayrılarak çözeltiliye alınabilmesi bu cevherler için hidrometalurjik yöntemlerin önemini arttırmıştır.

Ayrıca yöntemin pratik oluşu nedeniyle pek çok işletmede maliyet düşüşü sağladığından tercih edilebilirliği artmaktadır.

Bu çalışmada Küre bölgesi sülfürlü kompleks bakır cevherlerinden hidrometalurjik yöntemlerle bakır kazanımı yapılması amacıyla mekanik aktivasyonun etkileri incelenmiş olup sonrasında bu cevherler liç işlemine tabi tutulmuştur. Liç parametreleri olarak süre, katı/sıvı oranı ve hidrojen peroksit ilavesi incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. BAKIR**

### **2.1. Bakır ve Bakırın Genel Özellikleri**

Bakır metali, mekanik, elektriksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı hayati öneme sahip olan, insanoğlunun da ilk keşfedip çeşitli aletlerin yapımında kullanmaya çalıştığı bir metaldir. Yerine alternatif metal/alaşımların bulunmaya çalışmasına rağmen önemini korumaktadır [1][2].

Periyodik tabloda 1B sütununda yer alan bir geçiş elementidir. İsminin ilk defa rastlanıldığı yer olan Kıbrıs'tan geldiği düşünülmektedir. Bakır gerek elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi oluşu, gerekse aşınma ve korozyon dayanıklılığının yüksek oluşu, soğuk ve sıcak olarak işlenebilir olması, parlak ve renkli bir yapıya sahip olması ve birçok metalle alaşım yapabiliyor olması gibi nedenlerle pek çok alanda tercih edilmektedir. Demir ve alüminyumun ardından en çok kullanılan metaller arasında yerini almıştır. Doğada çoğunlukla bileşik halinde bulunmakta olup, nabit (metalik) halde bulunma ihtimali çok düşüktür. Daha çok sülfürlü minerallerine rastlanmakta, maden yataklarının çoğunda kalkopirit minerali bulunmaktadır. Bu sebepten ötürü yapılan araştırmalar kalkopritten bakır üretimi üzerine yoğunlaşmıştır [1][2].

### **2.2. Bakırın Tarihçesi**

Bakır M.Ö. 8000 yılından beri bilinen insanlığın gelişimine öncü olan metallere biridir. İlk başlarda insanlar doğada nabit olarak buldukları bakırı döverek sertleştirerek çeşitli kaplar, ev aletleri ve silahlar üreterek kullanmaya başlamışlardır. Bakırın ergitilme işleminin ilk olarak M.Ö. 3500 civarlarında Mezopotamya'da, daha sonra M.Ö. 2600 yıllarında Sina yarımadası-Mısır'da, M.Ö. 2500 yıllarında ise Kıbrıs adasında bakır maden işletmeciliğinin yapıldığı ispatlanmıştır. M.Ö.

2250-2230 yıllarında ilk alaşım dökümün yapılmasıyla bir çağa isim veren bronz yapılmıştır. M.Ö. 1600 yıllarında Avrupa'da, M.S. 1700 yıllarında Amerika'da (Şili ve Peru'da), 1800 lü yıllarda Orta Afrika'da bakır yataklarının işletildiği bilinmektedir. Anadolu'da bakır yataklarının ilk olarak Asurlular tarafından işletildiği anlaşılmaktadır. Osmanlı imparatorluğu 1850'den 1915'te savaş nedeniyle kadar madenleri kendisi işletmiştir. Murgul yöresindeki bakır yatakları 1893'te faaliyete geçirilmiş ve 1907'de ilk blister bakır üretilmiştir. Cumhuriyetle birlikte bakır yatakları 1924 yılında tekrar faaliyete geçirilmiş ve 1936'da Murgul Eti bank'a devredilmesinin ardından 1939'da, Küre'de ise 1938 yılında ilk blister bakır üretimi başlamıştır. Küre bölgesi bakır madenlerinin geçmişte Yunanlılar, Romalılar ve İsfendiyaroğulları tarafından bir süre işletildiği de bilinmektedir [3].

### 2.3. Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Bakır elektrik iletkenliği yüksek 1B geçiş grubu elementidir. Herhangi bir manyetiklik özelliği yoktur. Bir kısım özellikleri aşağıdaki Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Bakırın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri [2][3][4][5].

Maddenin Hali	Katı
Simgesi	Cu
Atom Numarası	29
Atom Ağırlığı	63,546 g/mol
Atomik Çapı	1,35 Å
Katı hal Yoğunluğu	8,93 g/cm <sup>3</sup>
Sıvı hal yoğunluğu	8,02 g/cm <sup>3</sup>
Ergime Noktası	1083 °C
Kaynama Noktası	2595 °C
Isı Kapasitesi	24,400 j/(mol.K)
Kristal Şekli	Yüzey Merkezli Kübik
Elektrik İletkenliği	40-59 m/ohm.mm <sup>2</sup>
Valans elektron sayısı	1-2
Sertlik(Vickers)	369 MPa
Isıl iletkenlik	0,91 cal/cm.s.grd
Elastik Modülü	125000-128500 N/mm <sup>2</sup>
Akma Dayanımı	33,3MPa



Periyodik tabloda geçiş elementleri arasında yer alan bakır, altın ve gümüş ile birlikte bakır grubu metalleri olarak anılır. Kimyasal açıdan aktif olmayıp kükürt ve bileşiklerine karşı dayanıklı değildirler. Ayrıca bazı asitlerde çözünerek kendi tuzlarını oluştururken çeşitli alaşımlar yapma kabiliyetine de sahiptir [1].

Metalik bakırın elektrik iletkenliği, ısıl iletkenliği, kinetik ve korozyon özellikleri, saflık ve kafes yapısındaki kusurlarla doğrudan ilişkilidir. Yani yüksek saflığa sahip bakır daha iletken daha sünek ve daha işlenebilirdir [2].

#### 2.4. Bakır Mineralleri

Bakır doğada çok az miktarda nabit(saf) halde bulunabilirken çoğunlukla bileşik halindedir. Bakır üretiminde kullanılan minerallerin %50'si kalkosit, %25'i kalkopirit, %15'i oksitlerden oluşmaktadır. En çok bilinen bakır minerallerinden bazıları ve mineraldeki bakır yüzdeleri aşağıdaki Tablo 2.2.'de verilmiştir. Tablodaki veriler doğrultusunda dünya üzerinde var olan çeşitli oksit ve sülfür içerikli bakır minerallerinden bakır eldesi mümkün olmaktadır [2].

Tablo 2.2. Bakır Mineralleri [2].

Mineral Adı	Formülü	% Bakır İçeriği
Kalkosit	$Cu_2S$	79,9
Kalkopirit	$CuFeS_2$	34,6
Bornit	$Cu_5FeS_4$	55,6
Kuprit	$Cu_2O$	88,8
Tenorit	$CuO$	79,9
Malahit	$CuCO_3.Cu(OH)_2$	57,5
Krizokol	$CuSiO_3.2H_2O$	36,2
Brokantit	$CuSO_4.3Cu(OH)_2$	56,2
Atakamit	$CuCl_2.3Cu(OH)_2$	59,5
Kronkit	$CuSO_4.Na_2SO_4.Cu(OH)_2$	42,8
Enarjit	$Cu_3AsS_4(3Cu_2S.As_2S_5)$	48,4
Tetrahedrit	$Cu_3SbS_3(3Cu_2S.Sb_2S_3)$	46,7

Şekil 2.1.'de çeşitli bakır minerallerine ait görüntüler verilmiştir.

Kalkosit koyu gri-siyah renkli, metalik bir görünüme sahip çok önemli bir bakır mineralidir. Doğada genellikle amorf yapıda bulunan kalkosit çok nadir olsa da kristalin halde de bulunabilir [2][6][7].



Şekil 2.1. Bakır içeren mineral taşları a)Metalik Bakır, b)Kalkosit, c)Kovelit, d)Kalkopirit, e)Azurit, f)Krizokol, g)Kalkantit, h)Brokantit, i)Bornit, j)Kuprit, k)Tenorit, l)Atakamit, m)Enarjit, n)Famatit, o)Tetrahedrit [8][9][10][11][12][13][14].

Kalkopirit "Porfiri bakır" yataklarında oluşan en yaygın görülen minerali olup, gözle görülebilen açık sarı renge sahip bir mineraldir. Tetrahedral kristaller şeklinde, genellikle masif kristal biçiminde ve tetragonal kafes sistemine sahiptir. Magmatik kayalarda ve hidrotermal damarlarda pirit, pirotin, sfalerit, galenit, kassiterit gibi cevher mineralleri ve kuvars, kalsit, dolomit gibi gang mineralleri ile birlikte bulunur [2][7][19].

Bornit de yaygın görülebilen bir bakır mineralidir. Genellikle sekonder oluşum olarak görülmektedir. Metalik görünümlü, ışık geçirimsiz, gözle görünür rengi bakır, bronz ve kırmızıdan maviye kadar değişmektedir. Açık grimsi siyah çizgilere sahiptir. Yaygın olarak tetragonal kristal sistemine sahipken yüksek sıcaklıklarda kübik formda rastlamamız mümkündür. Yaygın olarak sülfürlü cevherler ile (kalkozin, kalkopirit, kovelin, pirotin ve pirit) birlikte bulunur [2][7][20].

Kupritin endüstri açısından büyük önemi olsa da kullanımını azalmıştır. Yarı metalik ve elmas parlaklığında kırmızı ve mor arasındaki kırmızının renk tonlarından oluşan bir görünüme sahiptir. Yaygın olarak oksitli bakır cevherlerinin bulunduğu yerlerde, görünmektedir [2][21].

Tenorit siyahımsı görünüme sahip bir oksitli bakır cevheridir. Genellikle nabit bakırın etrafında oluşan oksitleyici koşullarda oluşmuştur. Açıkta kalan bir nabit bakır önce kuprit sonra tenorit daha sonraysa malahit formunu alır. Tenorit renk skalası metalik olmayan siyahtan metalik koyu griye kadar değişmektedir ve orta derecede sertliğe sahiptir [12].

Malahit, oksitli bakır minerallerinin içinde en yaygın bulunan mineral olan malahit parlak, bazen yarı şeffaf bazen opak açık koyulu soluk yeşilin tonlarından oluşan bir görünüme sahiptir. Mono klinik kristal sistemine sahip olan malahit hidroklorik asitte çözünürlüğü yüksektir. Bakır yataklarının oksidasyon zonunda oluşan ikincil kökenli bir mineraldir [2][14].

Krizokol, açık yeşilden koyu maviye doğru renk değişimi gösteren içeriğinde silisyum da bulunduran bir bakır mineralidir. Alüminyum ve bakırın hidratlanmış hidroksi silikası olarak tanımlanabilir. Kristal sistemi monoklinik ya da ortorombik olabilir. Çok yüksek sertliğe sahip değildir [2][15][22].

Atakamit minerali azurit ve malahit gibi oksidasyon zonunda oluşan klorürlü ikincil bir bakır mineralidir. Genellikle koyu yeşil renge sahip olan atakamit çeşitli yeşil

renk tonlarına sahiptir. Ayrıca sertlik derecesi düşük olmasıyla birlikte saydam olabilir. Bu da onun ayırt edici özelliklerinden biri olarak kabul edilir [17].

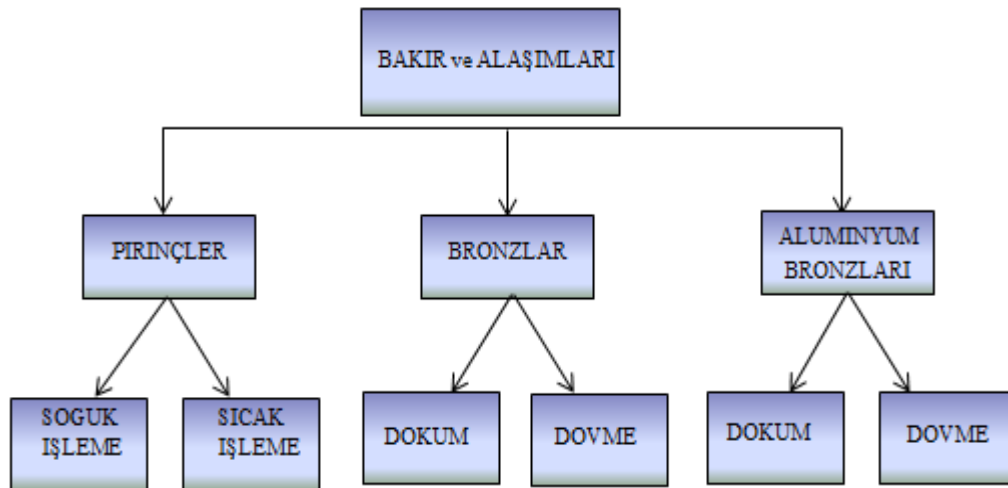
Enarjit, nadir bulunan bir mineral olmasına rağmen dünya bakır üretiminin %3'ü bu mineralden yapılmaktadır. İçerdiği %19 civarındaki arsenik miktarından dolayı ve bakır üretiminin yanı sıra yan ürün olarak arsenik üretiminin de mümkün olmasından dolayı önem taşımaktadır. Opak, metalik, grimsi siyah renge ve ortorombik kristal sistemine sahiptir. Düşük sıcaklıklarda oluşan enarjit, yüzeye yakın yataklarda kalkozin, bornit, sfalenit, pirit, barit ve kuvarsla birlikte bulunur [2][16].

## 2.5. Bakır Alaşımları

Bakırın mukavemetinin artırılması istenen durumlarda krom, silisyum, alüminyum, kalay, fosfor, mangan, nikel, çinko, berilyum, demir, zirkonyum, kobalt ilave edilirken korozyon dayanımının artırılmasının istenildiği durumlarda nikel, alüminyum, kalay, mangan, arsenik, demir, silisyum, aşınma davranışlarında iyileştirme yapılması için alüminyum, kalay, berilyum, silisyum, gümüş, kobalt, kadmiyum, işlenebilirliği arttırmak için tellür, kükürt, kurşun, çinko gibi çeşitli element ilaveleri yapılabilir [23].

Bakıra çinko ilavesi yapılarak oluşturulan alaşımlara “Pirinç Alaşımı” adı verilmektedir. Bakırın % 60 oranında olduğu ve diğer temel elementlerin ilavesiyle yapılan bakır alaşımlarına ise “Bronz Alaşımı” adı verilmektedir. Temel alaşım elementine göre “Berilyum Bronzu”, “Alüminyum Bronzu”, “Fosfor Bronzu” gibi isimler de alır [22][24].

Şekil 2.2.'de bronz ve pirinç alaşımlarının işleniş şekillerine göre gruplandırılması verilmiştir. Bu tabloya göre bakır alaşımlarının şekilleniş biçimlerine göre sıralayacak olursak pirinç alaşımları sıcak ve soğuk işleme yapılırken, bronz ve alüminyum bronzları döküm ve dövme işlemleriyle şekillendirilmektedir [22][24].

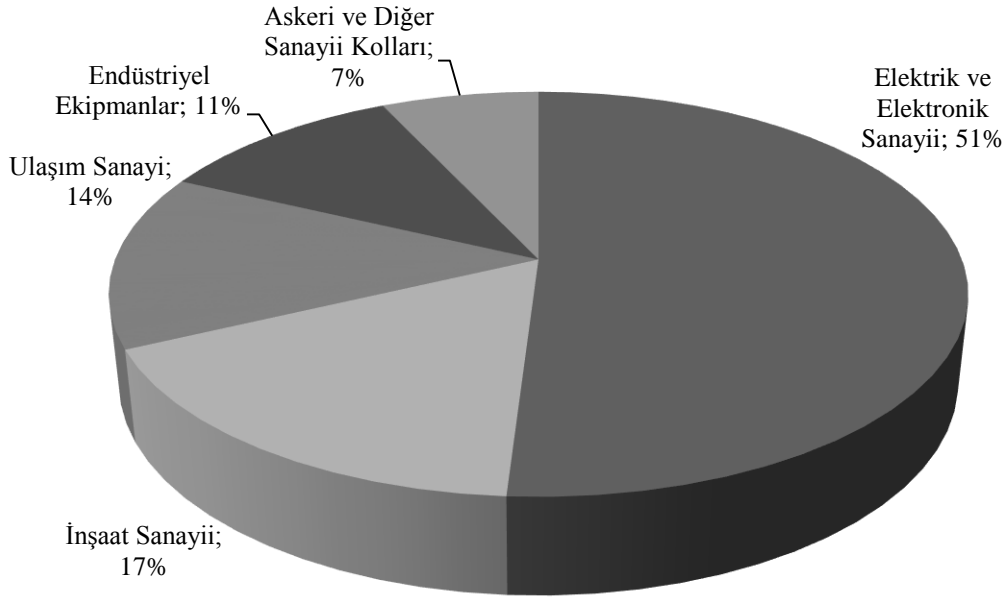


Şekil 2.2. Bakır ve Alaşımlarının sınıflandırılması [23].

## 2.6. Bakırın kullanım Alanları

Bakır yüksek elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliği özelliklerinden dolayı telefon ve elektrik kabloları, izole teller, emaye, boru, çubuk, döküm ürünleri ve lama olarak kullanım alanları vardır. Korozyona karşı direnci ve dekoratif özelliklerinden dolayı süs eşyası olarak da kullanılmaktadır. Bakır ürünleri blister bakır, katot bakır, filmaşın ve diğerleri olarak gruplandırmak mümkündür [3].

Bakır metalürjiden tarıma, kimya ve boya endüstrisinden elektrikli araçlara, otomobil, gemi, tren gibi ulaşım aralarında tüketim ürünü olarak tercih edilmektedir. Ayrıca uzun ömürlü ve kararlı olmasından dolayı mobilya malzemesi olarak pirinç, çatı kaplama malzemesi olarak bakır levhalar sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca bazı boyalarda korozyon önleyici olarak bakır oksit (kuprik oksit) kullanılırken, bazı pigmentlerin üretiminde kuprik klorür ve bakır karbonat, saf bakırın elektrolitik üretiminde ise bakır sülfat bileşiği kullanılmaktadır. Şekil 2.3.'de bakır kullanım alanlarının sektörel dağılımı verilmiştir [22].



Şekil 2.3. Bakır Kullanım Alanları [25].

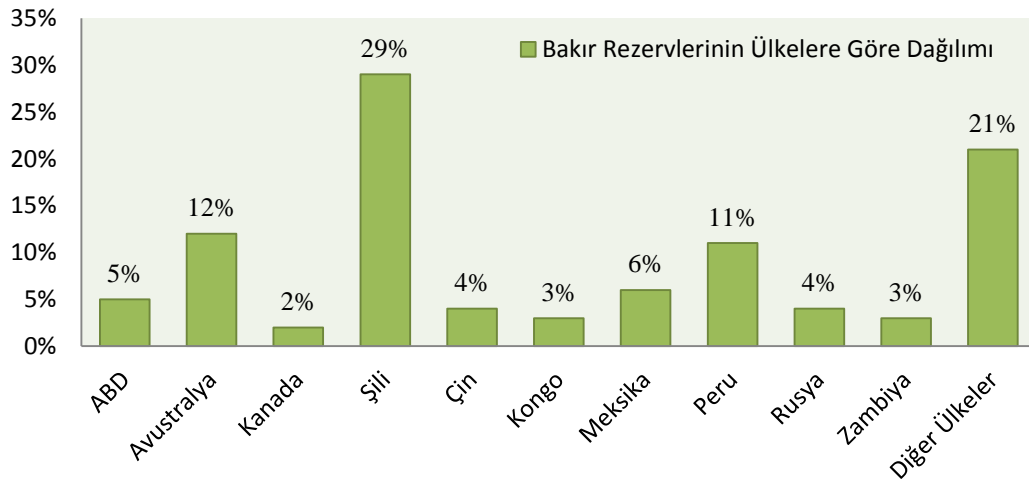
## 2.7. Dünya Madenciliğinde Bakırın Durumu

Bakırda dünya talebinin %75'i birincil kaynaklardan (bakır cevherlerinden) ve %25'i ikincil kaynaklardan (hurda, toz ve atık maddelerden) karşılanmaktadır. Dünya bakır rezervinin yaklaşık 60 yıl kadar talebi karşılayacak durumda olduğu rapor edilmiştir. Dünya üzerindeki işlenebilir bakır rezervleri düşünüldüğünde bakır metali içeriği toplam 690 milyon ton civarındadır. Bu rezervin 190 milyon tonu Şili'de, 90 milyon tonu Peru'da, 86 milyon tonu Avustralya'da, 33 milyon tonu ABD'de, 30 milyon tonu Çin'de, 28 milyon tonu Endonezya'da, 26 milyon tonu ise Polonya'dadır [26].

Jeofizik açısından ekonomik işletilebilirliklerine göre bakır yatakları, sedimanter tip, porfiri tip ve masif sülfid tip yataklar olarak gruplandırılırlar. Bu yataklardan %60'ı porfiri, %25'i sedimanter, %15'i volkanik masif sülfid ile dünya bakır üretimini oluşturmaktadır. Tablo 2.3. ve Şekil 2.4.'de dünya bakır rezervlerinin ülkelere göre dağılımı ve üretim miktarları verilmiştir [26].

Tablo 2.3. Dünya Bakır Rezervleri [25].

Ülke	Üretim (ton)		Rezerv (ton)
	2014	2015	
ABD	1360	1250	33000
Avustralya	970	960	88000
Kanada	696	695	11000
Şili	5750	5700	210000
Çin	1760	1750	30000
Kongo	1030	990	20000
Meksika	515	550	46000
Peru	1380	1600	82000
Rusya	742	740	30000
Zambiya	708	600	20000
Diğer Ülkeler	3600	3900	150000
Dünya Toplamı	18500	18700	720000



Şekil 2.4. Dünya Bakır Rezervleri dağılımı [25].

## 2.8. Türkiye Madenciliğinde Bakırın Durumu

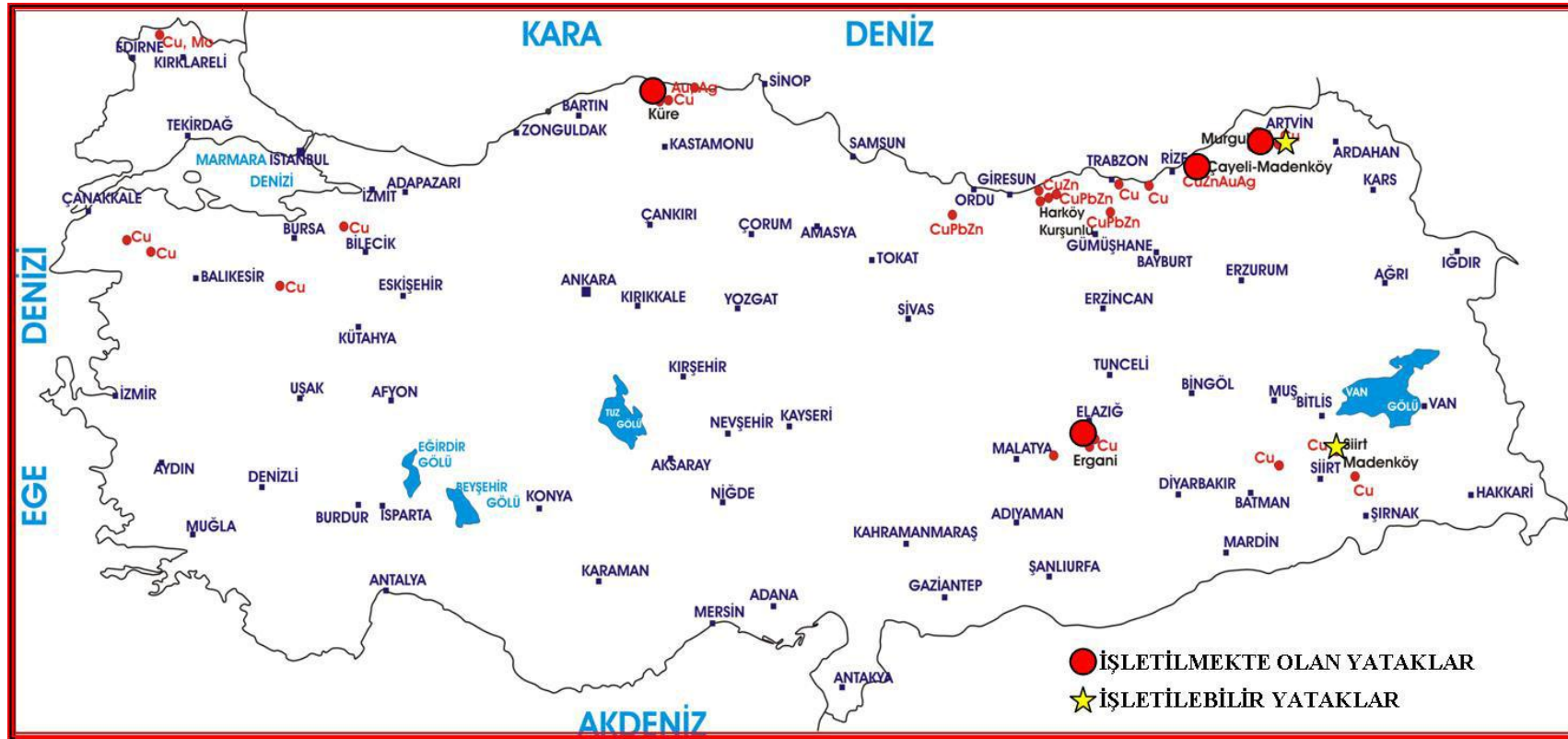
Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen yıllık bakır tüketimi 10 kg iken Türkiye’de bu rakam 3 kg civarındadır. Türkiye’de keşfedilen kaynakların metalik bakırın içeriği 1,7 milyon ton olarak belirlenmiştir. Dünya bakır rezervinin her yıl % 0,24’ü tüketilirken, Türkiye’de bu rakam % 4,4 oranındadır ve bu durum Türkiye bakır

rezervinin 21. yüzyılın başlarında tükeneceği anlamına gelmektedir. Türkiye’de Doğu Toros ve Batı Anadolu’da porfiri bakır yatakları, Çorum-Çankırı illerindeki zuhurlar ile Hazro (Diyarbakır) zuhurunda sedimanter bakır yatakları bulunmaktadır. Ayrıca Türkiye’de faal halde olan beş önemli bakır madeni bulunmaktadır. Bunlar Murgul, Küre, Çayeli, Lahonos ve Siirt-Madenköy bölgeleridir [26]. Tablo 2.4.’te Türkiye’de bulunan muhtemel bakır cevherleri ve bakır içerikleri verilmiştir [25]. Şekil 2.5.’de Türkiye’deki bakır yatakları haritası verilmiştir [27].

Tablo 2.4. Türkiye Bakır Rezervleri [25].

İl	Mevkii	Cu Tenör (%)	Bakır Metal İçeriği (ton) (Görünür + Muhtemel)
Adıyaman	Sincik	0,95	6806
Adıyaman	Merkez	0,35	47022
Artvin	Murgul/Damar	1,24	31137
Artvin	Murgul/Çakmakaya	0,84	47997
Artvin	Murgul/Akarşen	2,24	13000
Artvin	Cerattepe	5,20	202800
Artvin	Seyitler	1,41	34752
Balıkesir	Havran	0,33	79092
Çanakkale	Arapuçuran	1,25	15375
Diyarbakır	Çermik	0,84	1877
Elazığ	Ergani/Anayatak	1,71	12000
Giresun	Espiye/Lahanos+Kızılkaya	2,40	57528
Giresun	Tirebolu/Harköy	1,90	8740
Kahramanmaraş	Elbistan	0,18	1520547
Kastamonu	Küre/Bakibaba+Aşıköy	2,05	252950
Kastamonu	Merkez	0,85	33733
Rize	Çayeli/Madenköy	4,61	502490
Siirt	Şirvan/Madenköy	3,00	435000
Sivas	Koyulhisar/Kan	1,73	16683
Trabzon	Of/Kotarakdere	1,31	12600
Trabzon	Of	0,35	58006
Trabzon	Of	0,40	21541
Trabzon	Yomra/Kanköy	1,11	36741
<b>TOPLAM</b>			<b>3790235</b>





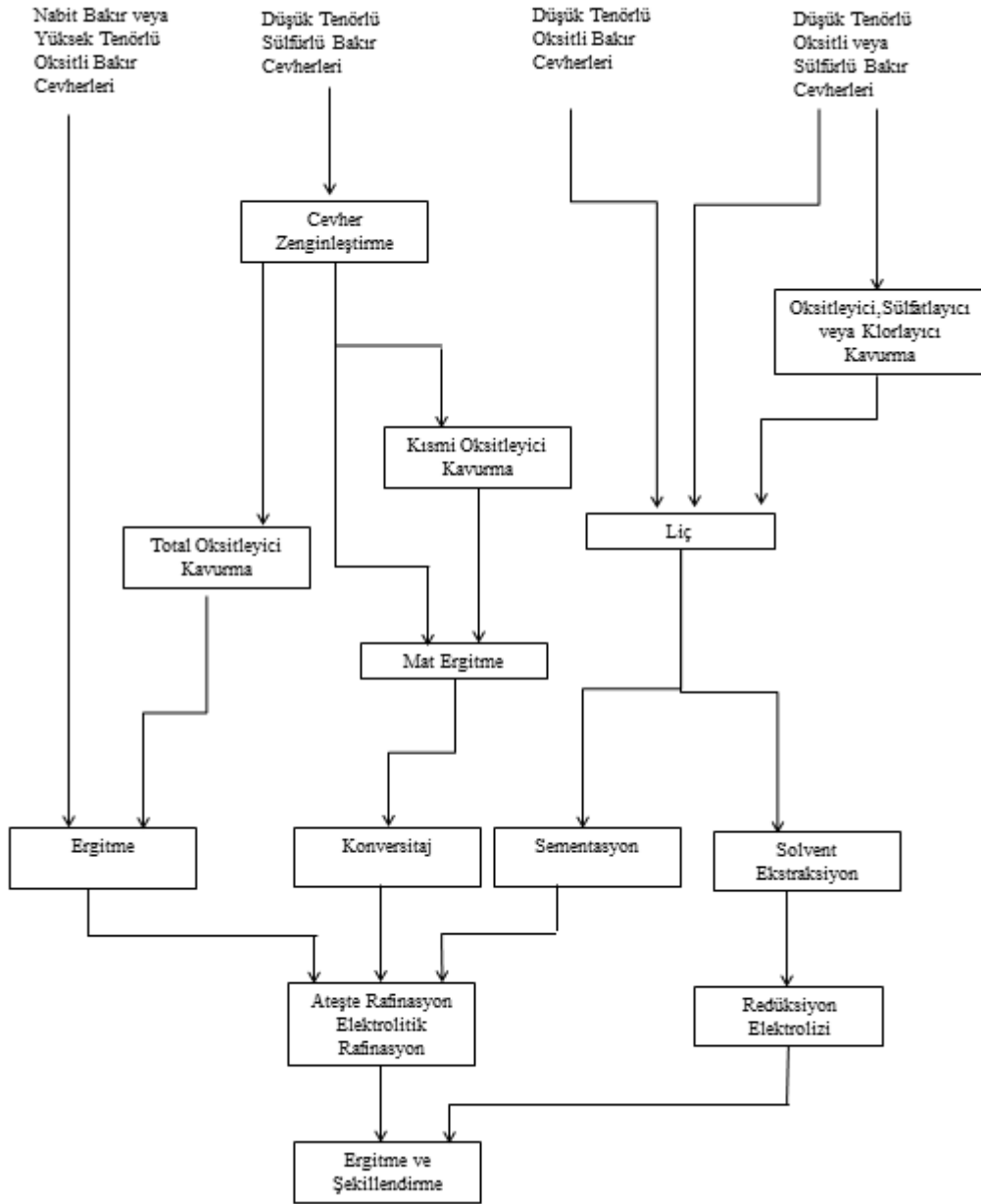
Şekil 2.5. Türkiye'deki bakır yatakları [27].

### **BÖLÜM 3. BAKIR ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Dünyada bakır üretimi sülfürlü ya da oksitli bakır cevherlerinin madenden çıkarılmasıyla başlar. Takiben cevher zenginleştirme işlemlerinin uygulanmasından sonra blister ve rafine bakır üretimi gerçekleştirilir. %0,5 bakır tenörünün üzerindeki verime sahip olan cevherler, genellikle flotasyon yöntemiyle zenginleştirildikten sonra %15-25 bakır içeren konsantreler oluşturulmaktadır. Bakır üretiminde dünyada en çok kullanılan yöntem pirometalurjik (konvansiyonel izabe) yöntemle %99 Cu içeren blister bakır üretmek, ardından elektrometalurji (elektroliz) yöntemiyle rafine bakır üretmek şeklindedir. Bakır işletmelerinde açık işletmeler için %0,5 bakır, kapalı işletmelerde %1 bakır, cevher tenör değeri alt sınır olarak kabul edilmektedir. Sülfürlü bir açık bakır maden yatağında altın, molibden gibi yan ürün kazanımlarının olması durumunda cevher tenör değeri %0,3 bakır olması halinde değerlendirmeye alınabilecek olduğunu gösterir [25].

Bakır cevherlerinden kazanımda en yaygın kullanılan yöntemler pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemlerdir. Pirometalurjik yöntemde en önemli basamak ergitmedir. Belirli miktarda bakır içeriğine sahip cevher bazı pirometalurjik adımlarla ergitilerek yüksek tenörlü mat eldesi sağlanabilir. Hidrometalurjik yöntemlerde ise sadece bakır mineralleri çözülüp, gang minerallerinin etkilenmeyeceğinden dolayı önemli bir avantaja sahiptir [28].

Ekstraktif metalürjinin kısımları cevher hazırlama, pirometalurji, hidrometalurji, elektrometalurji adımlarının bazen hepsi bazense birkaçının kullanılmasından oluşur. Şekil 3.1.'de bakır üretiminde kullanılan genel cevher türleri ve üretim için izlenecek yol şematize edilmiştir [2].



Şekil 3.1. Bakır Üretim Yöntemleri [2].

Bakır üretiminde izlenecek aşamalar kullanılacak hammaddeye, cevherin özelliklerine göre değişim göstermektedir. Bakır cevherleri içerisinde doğal haliyle bakır minerallerinin yanı sıra gang mineralleri de bulundurur. Bu nedenle bu cevherler üzerinde pirometalurjik ya da hidrometalurjik işlemlerden önce ilk iş olarak cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemi yapılmalıdır. Cevher hazırlama yöntemleriyle cevher belirli bir tane boyutuna küçültülmesini takiben pirometalurjik yada hidrometalurjik yöntemle istenilen metaller kazanılabilir. Cevher hazırlama

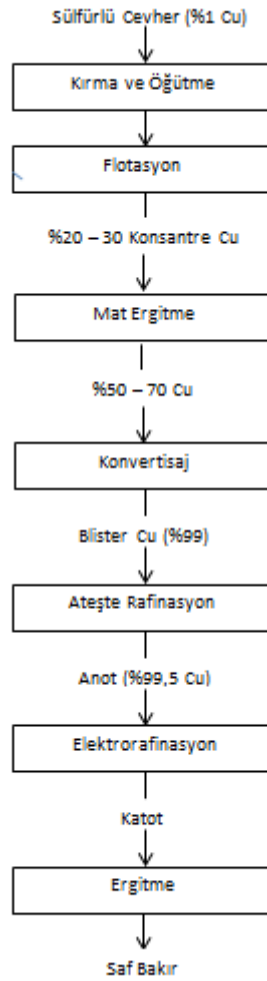
genellikle cevherdeki minerallerin serbest hale geçirilmesi ve minerallerin konsantre edilip atık maddelerden ayrılmasını sağlamak amaçlarıyla yapılır. Cevher hazırlama esnasında yapılan öğütme işlemiyle çözelti-tane temas yüzey alanı artacağından çözünme reaksiyonları için proses süresini kısaltır. Bazı durumlarda toz boyutunun çok küçük olması halinde aglomerasyon işlemleri de uygulanabilir [24][29][30].

### 3.1. Pirometalurjik Yöntemler

Dünya bakır üretiminin %80'inde pirometalurjik yöntemler tercih edilmektedir. Pirometalurji esas olarak yüksek sıcaklıklarda bakır minerallerinin indirgenmesiyle metal eldesine uzanan bir süreçtir. Pirometalurjik yöntem genel olarak flotasyon, ergitme, konvertisaj ve elektorafinasyon gibi adımlar içermektedir. Bu adımlar sırasında kurutma, kalsinasyon, kavurma, sinterleme, ergitme, konvertisaj, destilasyon, ateşle tasviye ve döküm gibi uygulamalar söz konusu olabilmektedir [2][29].

Cevher hazırlama işleminde en önemli adımlardan biri flotasyon işlemidir. Bu işlemde cevher zenginleştirilerek bir sonraki prosese hazırlanmaktadır. Bakır konsantrelerine uygulanan pirometalurjik yöntemlerde konsantre cevher cüruf yapıcılar ile birlikte ergitilip emprüte bileşiklerin cürufla birlikte sistemden dışarı alınması ve bakırca zengin mat üretimiyle başlar [24][25].

Takriben bu mat fazı oksijen ile yükseltgenir ve % 98-99 saflığa sahip blister bakır eldesi sağlanır. Ergitme aşamasına geçilmeden önce sistemden kükürdün uzaklaştırılması için kavrulmakta yada sinterlenmektedir. Bu işlemleri takiben önce ateşte rafinasyon işlemi, daha sonra elektrolitik rafinasyon işlemleri yapılarak rafine bakır elde edilmektedir. Şekil 3.2.'de pirometalurjik yöntem ile bakır üretimi şematik olarak gösterilmiştir [24][25].

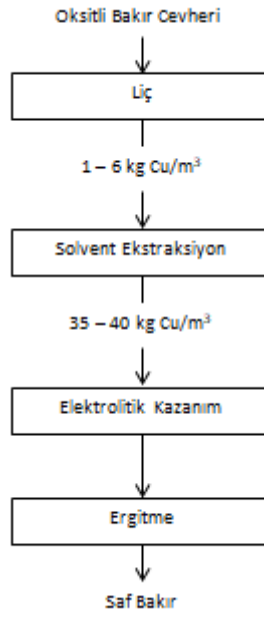


Şekil 3.2. Pirometalurjik Yöntemiyle Bakır Üretimi İşlem Basamakları [2].

### 3.2. Hidrometalurjik Yöntemler

Hidrometalurji yöntemi, çeşitli sulu çözelti ortamlarında cevherdeki metalik bileşimlerinden metali iyonları halinde bir kazanım yöntemidir. Hidrometalurjinin yapıldığı ortam asit, baz ya da tuz ortamı olabilir. Hidrometalurjik yöntemlere direk başlanılabileceği gibi ön işlem olarak pirometalurjinin kullanıldığı durumlar da uygulanabilir [31].

Hidrometalurjik proseslerde uygun çözelti ortamları kullanılarak mineral içindeki metal çözünürken kıymetli metal içeriğine sahip olmayan yantaş mineralleri filtrasyon yardımıyla çözülden ayrılarak metal eldesi sağlanmaktadır [29]. Şekil 3.3.'de hidrometalurjik proseslerde temel basamaklar gösterilmiştir [2].



Şekil 3.3. Hidrometalurji Yöntemiyle Bakır Üretimi İşlem Basamakları [2].

### 3.2.1. Liç Prosesi

Cevhere uygulanan özel işlemler sonucunda uygun bir çözelti içerisinde kıymetli mineralin seçici olarak çözüldürülmesi liç olarak adlandırılmaktadır. Dünya cevherden bakır üretiminin %15-20'sinde hidrometalurjik prosesler kullanılmaktadır. Pirometalurjik yöntemlerin yüksek sıcaklıklar nedeniyle çevreye SO<sub>2</sub> gazı yaymalarından, cevherin belirli bir konsantrasyona kadar yükseltilmesinin gerekmesinden ve yan ürün kayıplarının fazla olmasından dolayı pirometalurjik yöntemler yerini hidrometalurjik yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Ayrıca yüksek oranda gang mineralleri içeren cevherlerdeki yüksek enerji kayıpları da pirometalurjik proseslerin yerine bir alternatifin oluşmasına neden olmuştur [32][33]. Bu açılarından hidrometalurjik prosesler birçok avantaja sahip olup, kompleks cevherlerde ve düşük tenöre sahip cevherlerdeki metallerin kazanımının yüksek olması, çözeltinin liç atığından kolayca ayrılabilmesi, reaksiyonların hızlı ve homojen olması, çevreye zararlı pirometalurjik yöntemlere göre daha çevreye duyarlı olması, genellikle oda sıcaklığı ya da düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi ve dolayısıyla da ekonomik bir yöntem olmasıdır [22].

Hidrometalurji prosesi cevher seçici çözüldürme (liç), çözelti temizleme, çöktürme ve çözelti kazanımı olarak dört basamaktan oluşmaktadır. Liç işlemi uygun çözücü yardımıyla cevherdeki metalik kıymetli bileşiğin çözeltiye alınmasıdır. Bakır cevherlerinin liçinde sülfürik asit, klorür asit, sodyum hidroksit, sodyum siyanür, ferritik sülfat, ferritik klorür, amonyum tuzları, amonyak bileşimleri, nitrat çözeltileri, klorür sülfat çözeltileri ve mikroorganizma bulunan çözeltiler kullanılabilir. En yaygın kullanılan çözelti sülfürik asit çözeltisi olup, başlıca nedeni sülfürik asitin kolay temin edilebilmesi, ucuzluğu ve iyi bir çözücü olmasıdır. Liç işleminden sonra metal kazanımının yapılabilmesi için çözünmeyen cevherin (katı kısmın) sıvıdan ayrımı için katı sıvı ayrımı yapılır. Sıvı fazda istenmeyen çözülmüş iyonik kıymetsiz metal iyonları yada çözünmeyen bileşiklerin sistemden uzaklaştırılması çözelti temizleme işleminde yapılarak bu maddelerin uzaklaştırılması sağlanır. Akabinde çözeltideki bazı metaller çöktürülürken bazıları da çözeltiden çeşitli yöntemlerle kazanımı sağlanır [22][29][32][33].

Hidrometalurjik prosesler oksitli bakır cevherleri için geçmişten beri uygulanan bir yöntem olup son zamanlarda kompleks cevherler de hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirme yapılabilir. Liç işlemleri kesikli, yarı kesikli ve sürekli prosesler olarak yapılabilir. Katı üzerine damlatılan sıvı çözelti oluşumu ya da sıvı içerisinde katı cevherin tamamen doldurulması şeklinde de yapılmaktadır [22][30].

Liç işlemlerinden verimlilik sağlanabilmesi için bazı kriterler gerekmektedir. Öncelikle cevher içerisinde bulunan değerli metallerin gang minerallerinden seçimli olarak ayrılması istenmektedir. Yapılan liç işleminin bu özelliği sağlaması beklenir. Bu sayede reaktif maliyetlerini en aza indirmek ve daha temiz değerli metal içeren çözelti eldesi sağlanmış olur. Aynı zaman da bir liç işleminin hızlı olması beklenir. Liç prosesinin hızlı olması cevherin tesiste kalma süresini azaltacağından üretimsel açıdan faydalar sağlayacak tesis kapasitesinin sorunlara yol açmasını önleyecektir. Ayrıca kazanımı mümkün değerli metallerin en yüksek randımanla elde edilmesi için etkin bir yol izlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde kazanılan değerli metaller ekonomik açıdan yeterli olmayacaktır [33].

### 3.2.2. Liç Proseslerini etkileyen Faktörler

Liç işlemini etkileyen faktörlerden bazıları katı/sıvı oranı, tane boyutu, karıştırma hızı, reaktif cinsi ve derişimi, sıcaklık, liç süresi, çözelti yoğunluğu ve viskozitesidir. [22][30].

Tane boyutu, temas yüzeyinin değişiminden dolayı liç hızını ve süresini en çok etkileyen faktördür. İnce tane boyutuna indirgenmiş bir cevher üzerinde yapılan liç işlemleri elde edilen metal miktarını arttıracığından daha yüksek verim olanağı sağlar. Liç işleminden kazanımı beklenen cevhere göre kazanılacak maddeden elde edilecek ekonomik değerler göz önünde bulundurulmak şartıyla ve yonteme göre liç yapılacak cevher uygun boyutlara küçültülmelidir. Yani yapılacak liç işlemleri tane boyutunu belirleyen önemli bir faktördür ve yapılan işlemlerin ekonomik olmaları istenmektedir. Örneğin, ajitasyon(karıştırmalı) liçinde cevherin ince tane boyutuna sahip olması istenir. Zenginleştirilmiş cevherin çok ince öğütülmesine gerek kalmaz [30][32].

Sıcaklık liç hızını artırır. Bu nedenle liç işlemlerinin yüksek sıcaklıklarda yapılması beklenir. Fakat bu durumda bir miktar istenmeyen madde de çözeltiye geçeceğinden her zaman tercih edilmeyebilir. Difüzyon kontrollü liç proseslerinde sıcaklık artışı tepkime hızını lineer ya da lineere yakın oranda artırır [30][32].

Liç proseslerine etki eden önemli bir faktör de çözelti cinsi ve derişimidir. Çözelti uygun çözücülerde çözüldüğünde yeterli verim alınarak ekonomik gelir sağlanabilmektedir. Bu nedenle çözücü cinsi önemlidir. Ayrıca çözelti derişimindeki artış liç prosesindeki tepkime hızını arttıracığından dolayı derişim liç işlemlerinde önemli bir parametredir. Ancak kullanılan çözeltiler liç proseslerinde önemli bir maliyet kısmını oluşturduğundan mümkün olduğunca daha az çözücü kullanımı önemlidir. Ayrıca çok yüksek çözelti derişimleri her zaman reaksiyon hızını artırıcı yönde etkilemez. Bazı durumlarda reaksiyon hızını düşürmektedir. Bunun yanı sıra artan çözücü derişimi, liç ekipmanlarını korozyona uğratarak tahrip edeceğinden çözücü miktarı dikkatle ayarlanmalıdır. Çözücü tarafından oluşturulan bu etkiler göz



önünde bulundurulduğunda, uygun bir çözücü, maksimum düzeyde verim alınacak fakat maliyeti negatife düşürmeyecek ve ekipmanları tahrip etmeyecek şekilde seçilmelidir [30][32].

Karıştırma hızı da liç proseslerini etkileyen bir diğer faktördür. Difüzyon kontrolüne sahip bir tepkimede karışma hızının artması liç hızını yükseltir. Karıştırma hızının artması difüzyon sınır katmanını arttırmaktadır. Karıştırma hızının etkisi çözelti cevher karışımındaki tane-çözelti arasındaki bağıl harekete ve partikül gözenekleri arasındaki difüzyonun partikül yüzeyindeki çözelti hareketine bağlı olmadığından karıştırma hızı ile difüzyon sınır katmanının kalınlığının ortadan kalkacağı kadar artış liç hızını arttırır. Bunun üzerindeki karıştırma hızları liç hızını artırmaz [32].

Karıştırmalı liç sisteminde liç parametresini etkileyen bir faktör de katı/sıvı oranıdır. Katı cevherin türü, partikül boyutu, proses özellikleri, çözücü miktarı gibi faktörler göz önüne alınarak katı/sıvı oranı belirlenmelidir. Bu oranın artması viskoziteyi arttıracığından difüzyon azalmaktadır [32].

Liç işlemlerine etki eden bir diğer faktörde mineralojik faktör olup, karbonlu killer, kalsiyumlu mineraller, biotit, dolomit gibi minerallerin cevherdeki varlığı liç işlemini zorlaştırır. Cevherde pirit bulunması durumu asit üretimini arttırır. Klorlu mineraller solvent ekstrasyonu sırasında problemlere sebep olur. Demirli mineraller çok fazla probleme yol açmazken okside demir liç parametrelerini etkiler. Bunun sebebi liç işleminde demir iyonlarının yer değiştirme görevi yapmasıdır [25].

### **3.2.3. Liç İşlemlerinde Kullanılan çözücüler**

Liç işlemlerinde kullanılan çözücülerden istenen, katı cevherdeki kıymetli bileşiği kolayca ve hızlıca çözeltilmeye alabilmesi, maliyetinin düşük olmasıdır. Genellikle liç işlemlerinde kullanılan çözücüler asidik çözücülerdir. Ekipman ve cevher korunumu açısından asit çözeltileri tercih edilmektedir. En yaygın kullanılan asidik çözücüler sülfürik, hidroklorik, nitrik ve hidroflorik asittir. Çok miktarda asit gerektiren liç uygulamalarında ise bazik çözücüler tercih edilmektedir. Bazik çözücülerde daha

düşük liç verimi elde edilmektedir. En sık kullanılan bazik çözücüler sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, amonyum hidroksit, kalsiyum hidroksit, amonyum karbonat, sodyum karbonat ve sodyum sülfittir. Çözücü olarak kullanılan bir başka materyal ise “thiobacillus ferrooxidans” ismiyle bilinen bir bakteridir. Düşük sınıftaki cevherlerin değerlendirilmesi esnasında kullanılır, ancak işlem daha uzun sürmektedir. Kalsine edilmiş ürünlerin liçinde su kullanılabilir. Ayrıca sulandırılmış tuz çözeltileri, ferrik sülfat, sodyum siyanür, klorlu su da kullanılabilir [30].

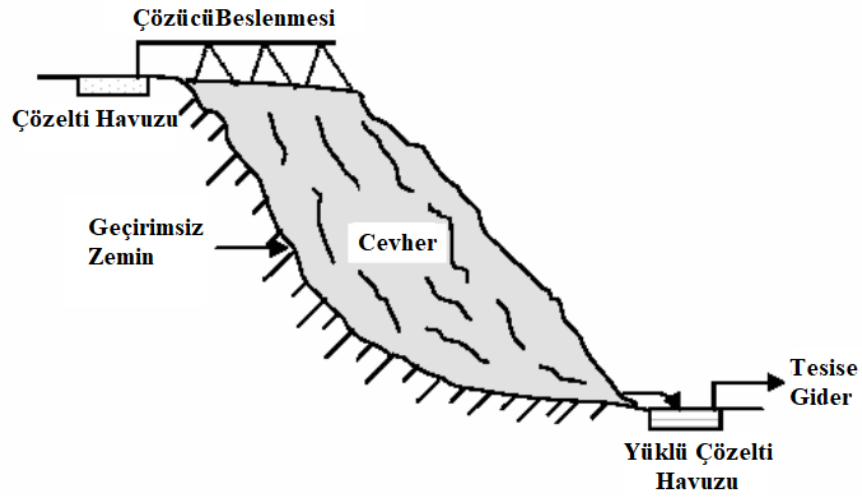
### **3.2.4. Liç Yöntemleri**

Liç yöntemleri uygulanış biçimlerine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılacak liç yöntemi cevher tenörüne, tonajına, cinsine, içerdiği gang minerallerinin tüketileceği aside ve yan ürünlerin kazanımına göre değerlendirilmektedir.

#### **3.2.4.1. Yerinde Liç**

Yerinde liç işlemi, taşıma ve maden işletme maliyetlerini karşılayamayacak kadar düşük tenörlü cevherler için kullanılan bir yöntemdir. Cevher, ocakta çözücü kimyasallarla reaksiyona sokularak kazanım yapılmaktadır. Bu yöntemler çok uzun süre (yıllar) almaktadır. Bu yöntem çoğunlukla terkedilmiş ya da kullanımı bırakılmış maden yataklarında kullanılır [33].

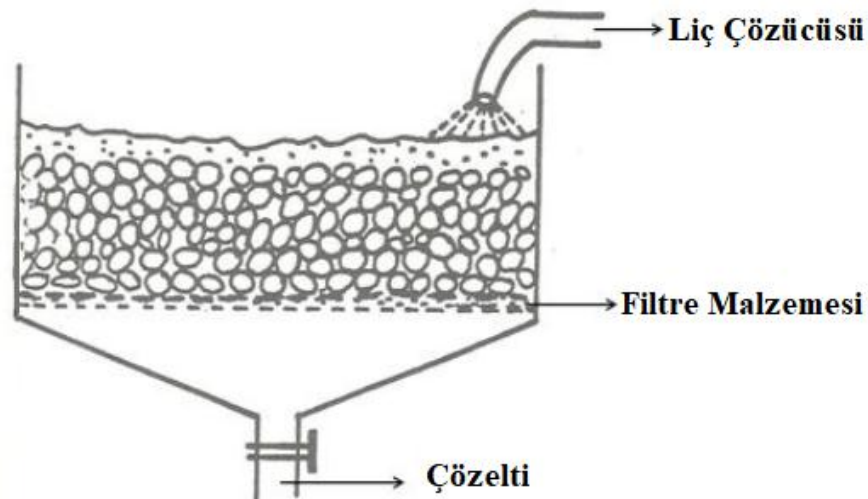
Bu yöntemde cevher yatağında parçalanır ve hidrostatik basınç ortamında oksijen takviyesi yapılarak çözücüyle muamele edilir. Yaygın olarak kullanılan çözücü sülfürik asittir. Bu yöntemde verim alınabilmesi yaklaşık 5-10 yıl arası sürmektedir. Yeterli zaman geçtikten sonra kuyularda biriken çözelti kuyulardan dışarıya pompalanır. Bu kuyularda çözücülerin sızması ve çözeltinin oluşabilmesi için gang içeren kayaçların geçirimsiz olması istenir. Şekil 3.4.'te yerinde liç örneğinin şematik görünümü verilmiştir [33].



Şekil 3.4. Yerinde Liç Şematik Görünüşü [33].

### 3.2.4.2. Süzülme Liçi

Süzülme liçi tabanı süzgeç görevi gören geçirgen bir malzeme ile kaplanmış, genellikle prizmatik geometriye sahip beton tanklarda yapılan bir liç işlemidir. Tank içine yüklenecek cevherin en az %1-2 tenör oranına sahip ve 1 cm'lik partikül boyutuna sahip olması istenir. Tanka cevher ve çözücünün ilave edilmesiyle liç işlemine başlanılır. Çözücü ya alttan verilip üstten alınır ya da üstten çözücü verilip alttan çözelti alınır. Genellikle altın, bakır, uranyum gibi madenlerin kazanımında kullanılır. Şekil 3.5.'te süzme liç örneği verilmiştir [24].



Şekil 3.5. Süzülme Liçi Şematik Gösterimi [24].

### 3.2.4.3. Yığın Liçi

Yığın liçi, geçirimsiz bir zemin üzerinde, atmosferik şartlar altında bir yığın haline getirilmiş özellikle oksitli bakır cevherinin üzerine sülfürik asit su karışımının akıtılarak liç işleminin yapılmasını içeren bir prosestir. Bu prosesle yığın halinde bulunan bakır cevherindeki bakır çözeltiye geçer. Yığın liçinin yapılabilmesi için çözücünün engelsiz bir şekilde akıtılacağı bir polimer boru sistemi kurulmalıdır. Yığınlardan elde edilen çözeltinin alınabilmesi için eğimli bir ortam tasarlanmalıdır. Yığından alınan çözeltinin kurtarılması için yakın bir yere bir tank sistemi kurulmalıdır. Elektrolitik kazanım için uygun sistem hazırlanmalıdır. Bu işlem basamakları takip edildiğinde yığın liçi ile kazanım yapmak mümkündür [2][24].

### 3.2.4.4. Basınç Liçi

Basınç liçi hem asidik hem bazik ortamlarda yapılabilen ve yüksek basıncın yanı sıra yüksek sıcaklık ve oksitleyici gazların da kullanımını teşvik eden bir yöntemdir. Atmosferik ortamda yapılan liç işlemlerine göre daha avantajlı sayılan bu yöntem sayesinde yüksek sıcaklıklarda çözünmeyen bakır sülfürler, oksijen basıncı yardımıyla liç işlemine tabi tutulduklarında kolayca çözülürler. Bu liç yönteminde pH ve sıcaklık etkisi önemlidir. Kullanılacak otoklavın iç yüzeyinin korozyon, yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı olması gerekmektedir [32].

### 3.2.4.5. Bakteri liçi

Mikrobiyolojik liç yöntemleri son yıllarda önem kazanan, klasik liç yöntemleri ile çözünmeyen düşük tenörlü cevherleri bazı bakteriler kullanarak ekonomik biçimde geri kazandıran bir yöntemdir. Bu yöntem ile bakteriler suda çözünmeyen mineralleri suda çözerek kazanıma yardımcı olmaktadır. Özellikle endüstriyel ölçekte uranyum ve bakır kazanımında bu yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca bazı sülfürlü cevherlerden Ni, Co, Zn, Cd gibi pek çok maddenin kazanımı yapılabilmektedir. İşlemin gerçekleştirilmesi için ortamda C'a ihtiyaç vardır. Bu karbon ihtiyacını CO<sub>2</sub>'den karşılayan bakteriler enerji açısından zayıf durumdayken karbon teminiyle zengin

hale gelmiş olur. Bu sayede aktarılan enerjiyle cevherde indirgeme işlemi gerçekleştirilmiş olur [32].

Bakteri liçinde en sık kullanılan ve en önemli mikroorganizmalar;

- Termofilik,
- Acidithiobacillus thiooxidans,
- Leptospirillum ferrooxidans
- Acidithiobacillus ferrooxidans bakterilerdir [32].

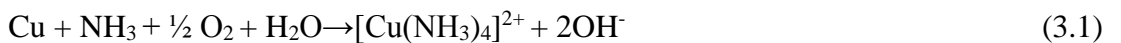
### 3.2.4.6. Karıştırma Liçi

0,5 mm partikül boyutunun altına düşürülmüş bir cevherde %40-70 arası katı partikül oranı içerecek şekilde hazırlanmasıyla başlatılan ve yeterli çözünme sağlanıncaya kadar karıştırılan liç sistemine karıştırma liçi adı verilir. Karıştırma işlemi mekanik, pnömatik ve mekanik-pnömatik olarak üç farklı şekilde yapılabilir. Bu yöntemde kullanılan en önemli liç sistemleri Dorr Ajitatorü, Denver Ajitatorü ve Pachuca tankıdır. Karıştırma sistemi atmosfer basıncında, atmosfer basıncı altında ve atmosfer basıncının üzerindeki basınçlarda ve orta ve yüksek sıcaklık şartları altında kesikli, paralel ve ters akım modellerinde de çalışmamıza olanak sağlar [32].

## 3.3. Bakır Liç Prosesleri

### 3.3.1. Nabit Bakırın Liçi

Saf bakırın, endüstriyel atıkların, hurdaların ve kaplama ürünlerinin kazanımı amacıyla yapılan liç işlemidir. Oluşacak kompleksin türü açısından ortamda serbest amonyak ve hava oksijeninin varlığı ve miktarı önemli olduğundan bu işlemlerde çeşitli amin kompleksleri oluşabileceği gibi genelde bakır tetramin kompleksi oluşmaktadır. Saf bakır için liç reaksiyonları (denklem 3.1)'de belirtildiği gibidir [32].



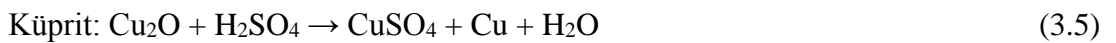
### 3.3.2. Oksitli Cevherlerin Liçi

Yüksek safsızlık içeren cevherlerde pirometalurjik proseslerinin yüksek enerji harcamasından dolayı, bu tür oksitli cevherlerin hidrometalurjik yöntemlerle kazanımı daha tercih edilebilir bir yöntemdir. Cevher tenörü düştükçe gang miktarı artar. Bu nedenle gang minerallerinin tepkimeye giriş hızı, gang minerallerinin kompozisyonu önem arz etmektedir [32][34].

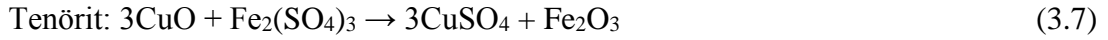
Aşağıda oksitli, hidratlı bakır ve karbonatlı cevherlerinin çeşitli çözücülerle yapılan liçi ve bu cevherlerin çözünmeleri esnasındaki örnek kimyasal tepkimeler verilmiştir [32][34].

#### - Sülfürik asit liçi

Sülfürik asit ile yapılan liç işlemlerinde hem metalik madde kolay çözülür hem de oluşan bu çözeltiden metal kazanımı daha kolay ve kullanıma uygundur. Sülfürik asit liçi hem iyi bir çözücü hem ekonomik olması hem de kolay ulaşılabilir olmasında dolayı oksitli bakır cevherlerinde tercih edilmektedir. Aşağıda bazı oksitli bakır minerallerinin çözünme tepkimeleri verilmiştir [32][34].

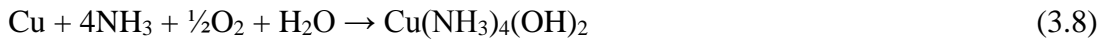


- Demir(III) Sülfat Liçi



- Amonyak liçi

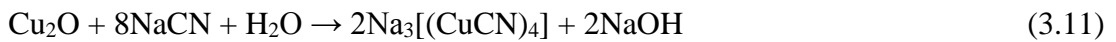
Oksitli bakır cevherlerinde birlikte kireç taşı ya da dolomit bulunuyorsa bu cevherler amonyak liçi yardımıyla kazanılır. Bazik bir ortamda amonyak ve oksijen varlığıyla gerçekleşen tepkimeler ile bakır oksit çözünerek çeşitli kompleks bakır tuzlarını oluşturur. Bu bakır tuzları süzülüp safsızlıklardan arandıktan sonra çeşitli elektroliz ve diğer yöntemler ile kazanımı sağlanır. Bakır oksidin bakır tuzuna dönüşümündeki tepkimeler aşağıda verilmiştir [32][34].



- Kostik-soda liçi



- Sodyum siyanür liçi



- Bileşik metot (LPF) ile liç

LPF yönteminde pulp liç tanklarında, pH = 1,5-2 değerine ulaşmaya kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile karıştırılarak işleme tabii tutulur. Liç tankından alınan çözeltideki bakır iyonları demir ile çöktürülür. Çöken bakır flotasyon işlemi ile kazanılır [32][34].

### 3.3.3. Sülfürlü Cevherlerin Liçi

- Sülfürik asit liçi

Sülfürlü bakır minerallerinden bazılarının sülfürik asit ortamındaki liç reaksiyonları aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir [32][34].



- Hidrojen peroksit liçi

Kalkopirit, kalkosin, kovellin ve bornit gibi sülfürlü bakır minerallerinin çözünmesinde hidrojen peroksit kullanılabilir. Kalkopiritin hidrojen peroksitli ortamda liç edilmesi aşağıdaki tepkimelere göre meydana gelmektedir [32][34].



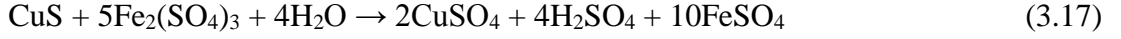
- Rio-Tinto metodu

Rio-Tinto (İspanya) madenlerinde kalkopirit ( $2\text{CuFeS}$ ) ile kalkosit ( $\text{CuS}_2$ ) minerallerini birlikte bulunduran cevherin çoğunluğunu demir piriti oluşturmaktadır. Cevher gözenekli bir yapıya sahip olduğu için havanın oksijeni ve rutubetin etkisiyle aşağıdaki reaksiyon meydana gelmektedir [32][34].



Bu denkleme göre açığa çıkan sülfürik asitle ortam asitleşirken meydana gelen demir-3 sülfat kalkosite etki ederek bakır sülfatı oluşturur.





$\text{FeSO}_4$  havanın etkisiyle yeniden  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  haline geçerek reaksiyonlar devam eder [32][34].

#### - Kavurma liçi

Cevher kavurma işlemi sonucunda sülfat haline dönüşmektedir. Piritin demir oksit vermesi  $500-600^\circ\text{C}$ 'lerde sağlanmaktadır. Cevherde bulunan kalkosit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) aşağıdaki tepkimelerle sülfata dönüşmektedir [32][34].



Buradaki  $\text{SO}_2$  yi kavurma sırasında cevher ile karıştırılan pirit oluşturmaktadır.



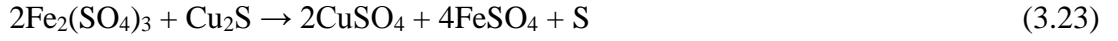
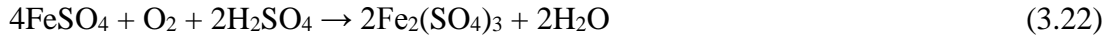
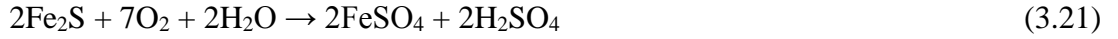
Bakır oksit veya karbonatın da kükürt dioksitli bir atmosferde kavrulması ile sülfat oluşturduğundan dolayı, bu işlem oksitli cevherlere de uygulanabilir [32][34].



Kavurma sonrasında sülfatlaştırılmış bakır cevheri, karıştırmalı liç tanklarında su ya da diğer çözücülerle işleme tabii tutularak liç edilebilmektedir.

#### - Bakteri liçi

Bakteri liçi çevreci, ekonomik, etkili ve yeni bir yöntem olmasından dolayı tercih edilen özellikle ağır metallerin çözünmesinde başarılı sonuçlar veren bir liç prosesidir. Sülfürlü bakır cevherlerinin biyoliç işleminde mineral  $\text{Fe}^{3+}$  iyonları tarafından liç edilmektedir [32][34]. Bakteriyel aktivitenin sonucunda ortaya çıkan tepkimeler aşağıda verilmiştir:



- Anodik oksidasyon

Bakır cevherlerinden bakır üretimi için iki farklı elektrometalurjik yöntem kullanılmaktadır. Birincisi cevherden çözündürme yoluyla katot bakır üretimi, ikincisi ise üretilmiş fakat saf olmayan bakırın saflaştırılmasıdır. Cevher çözündürme işlemi için yapılan elektrometalurjik çalışmalar anodik oksidasyon adını almaktadır [34].

### 3.4. Bakır Liç Çözeltilerinin Değerlendirilmesi

Liç işlemleri sonrasında çözeltilere geçirilip atıklarından ayrıştırılan berrak ve metalce zengin çözeltiden metal eldesinin sağlanabilmesi için özel bazı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle kıymetli metallerin çözeltiden ayrılması için aşağıdaki metotlar tercih edilmektedir [32][34].

- İyonik çöktürme
  - a. İndirgeme ile çöktürme
  - b. Klorür ile çöktürme
  - c. Siyanür ile çöktürme
  - d. Sülfürler ile çöktürme
- Sementasyon ile çöktürme
- Gazlar ile çöktürme
- Elektrolitik kazanım [32][34].

## **BÖLÜM 4. KATILARIN MEKANİK AKTİVASYONU**

### **4.1. Mekanik Aktivasyon**

Cevherden metal kazanım yöntemleri içinde bu yöntem de ön yada ara işlem olarak kullanılmakta olup, yeterli verim kazanılacağı durumlarda tercih edilir. Kazanım sürecinin hızlanması maliyeti azaltacağından tesisler buna uygun yöntemleri tercih etmektedirler. Kolay çözünmeyen pek çok mineral özel ve karmaşık işlem şemaları gerektirmektedir. Düşük çözülebilirlik gösteren bazı minerallerin çözeltiye alınması işleminde yaşanan bazı sorunlar mekanik aktivasyon olarak bilinen özel öğütme işlemleri ile çözülebilmektedir. Mekanik olarak aktive edilen katılar yüzey aktivasyonunun bir sonucu olarak daha reaktif ürünler haline gelmektedir. Son yıllarda özellikle titreşimli değirmenlerin kullanımıyla çok ince partikül boyutlarına ulaşılabilmesi sağlanmıştır. Dairesel titreşim hareketlerine sahip ve içinde bilya bulunan sistemlerde öğütücü ortam(bilya), değirmen cidarı-bilya veya bilya-bilya arasına çarparak, makaslama kuvvetlerinin etkisiyle öğütülür [35].

Düşük reaksiyon sıcaklıkları, çözünme hızının artması, suda çözünebilen bileşiklerin hazır hale getirilmesi, reaksiyon sürelerinin kısaltılması gibi faktörler mekanik aktivasyonun bazı temel avantajlarıdır [35].

Ekstraktif metalurji alanında büyük öneme sahip olan mekanik aktivasyon, mekanokimyanın proseslerinden biridir. Öğütme esnasında yapıda oluşan her hangi bir kompozisyon değişimi bu olayı mekanokimyasal bir proses haline getirir. Mekanik aktivasyon terimi ilk olarak Smekal isimli bir bilim insanı tarafından ortaya koyulmuş bir konudur. Mekanik aktivasyon değirmen dibinde kalan bir katı maddenin reaksiyon kabiliyetinin artması olarak ifade edilmiştir [33].

Mekanik aktivasyon işleminde öğütücü tipi, öğütme haznesi, öğütücü(bilye) şekli, boyutu ve malzemesi, bilye-partikül oranı, öğütme hızı, öğütme atmosferi ve öğütme sıcaklığı gibi bazı parametreler mekanik aktivasyonu etkilemektedir. Bu parametrelerin hepsi birbirine yakın ilişkilerle bağlıdır [33].

#### 4.2. Mekanik Aktivasyonun Minerallerin Çözünmesi Üzerine Etkileri

Mekanik aktivasyonun artan spesifik yüzey alanına ilave olarak arttırılan diğer etkileri ifade edilmektedir. Mekanik aktivasyona uğrayan bir cevherin çözünürlüğü artar. Bu artışın başlıca sebepleri arasında ise yapısal düzensizliklerin artması, mineral partiküllerinin amorflaşması, tercihli çözünmeye uygun kristal yüzey alanlarının ortaya çıkarılması ve uzayan öğütme sırasında artan sıcaklıkla oluşan yüzey oksidasyonu vb söylenebilir. Şekil 4.1.'de mekanik aktivasyona bağlı olarak artan kusurların yoğunlaştığı bölgeler şematik olarak gösterilmiştir [34].



Şekil 4.1. Mekanik aktivasyon sonrası artan kusurlar [34].

Hidrometalurjik proseslerden önce ön işlem olarak kullanılan mekanik aktivasyonun reaksiyon sıcaklığının düşürülmesi, çözünürlüğün ve tepkime hızının arttırılması, dolayısıyla tepkime sürelerindeki düşüş nedeniyle proses süresinin kısılması gibi pek çok avantajı mevcuttur [33].

Endüstriyel anlamda mekanik aktivasyonun beş uygulama yöntemi vardır. Lurgi-Mitterberg prosesi, Activox<sup>tm</sup> prosesi, Irigetmet prosesi, Sunshine prosesi ve

Metprotech prosesidir. Lurgi-mitterberg prosesi kalkopirit cevheri üzerinde uygulanmıştır ve aktivasyon yapılmamış cevher/konsantreler için %20'lerde olan liç verimini %96 civarında bir bakır verimine yükseltmiştir. Activox™ prosesinde çok ince öğütme şeklinde aktivasyon yapılması ve otoklav içerisinde basınçlı oksidasyon söz konusudur. İki operasyon ünitesi içeren bu sistemde mekanik aktivasyon ilk basamakta gerçekleşir. Irigetmet prosesinde altın içeren sülfürlü minerallerin liçindeki mekanik aktivasyon çalışmalarının aktivasyon sonrası siyanürleşme süresini azalttığı, altın kazanımını arttırdığı ve siyanür tüketiminin azaldığı kaydedilmiştir. Sunshine prosesinde ise sülfürlü kompleks cevherlerden antimuan, bakır ve gümüşün kazanımının mümkün olduğunu ileri sürmüştür. Metprotech prosesinde ise altın içerikli bir cevherdeki altının öğütme aşamasında kazanımını sağlayan bir proses tasarlanmıştır. Bu proseste mekanik aktivasyon sırasında sisteme eklenen siyanür yardımıyla mekanik aktivasyon sırasında doğrudan kazanım sağlanmıştır. Bu da altın kazanım maliyetinde büyük avantaj sağlamıştır [33].

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE METOT**

### **5.1. Kullanılan Cevher**

Kullanılan konsantre bakır cevheri Eti-Maden şirketinden temin edilmiş olup Küre Bölgesine ait sülfürlü kompleks bakır cevheridir. İşletmeden alınan konsantre bakır cevheri analiz sonuçlarının daha doğru olması için homojen hale getirilmiştir. Cevherin homojen hale getirilmesi için cevher uzun süre değirmen yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra cevher içeriğinin belirlenmesi amacıyla BRUKER AXS in S8 Tiger dalga boyu dağılımlı XRF analiz cihazı ile elementel analizi yapılmıştır.

### **5.2. Aktivasyon Çalışmaları**

Mekanik aktivasyon çalışmaları Fritch marka gezegensel bilyeli değirmen yardımıyla yapılmıştır. Öğütme için kullanılan mekanik aktivasyon cihazına ait haznenin iç cidarı ve bilyeler aşınmaya dayanıklı wolfram karbür esaslı malzemelerden yapılmıştır ve kullanılan bilyeler 10 mm çapa sahiptir.

### **5.3. XRD Çalışmaları**

Farklı hız, süre ve katı/bilye oranlarında yapılan mekanik aktivasyon çalışmaları sonrasında XRD çalışmaları yapılmıştır. Mekanik aktivasyon sonrası oluşan yapısal düzensizliklere göre mekanik aktivasyon parametreleri belirlenmiş olup devamında yapılacak liç çalışmaları için bu aşama çok önemlidir. XRD analizleri sonrasında optimum aktivasyon şartlarına karar verilmiştir. Mekanik aktivasyon sonrasında meydana gelen faz değişimleri Rigaku D/MAX 2000 marka XRD cihazı ile tespit edilmiştir. X-ışınları kaynağı olarak bakır tüp ( $\lambda=1,5418$  Å) kullanılarak X-ışınları taraması  $10^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında  $2^\circ/\text{dk}$ 'lık hızla gerçekleştirilmiştir.

#### 5.4. SEM-EDS Analiz Çalışmaları

Aktive edilmiş ve edilmemiş cevhere ait SEM görüntüleri, mapping çalışmaları ve EDS analizleri Jeol JSM 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ile analiz edilmiştir.

#### 5.5. Liç Çalışmaları

Hidrometalurjik yöntemlerle bakır kazanımında klasik liç yönteminin mekanokimyasal aktivasyon işlemlerine tabii tutulmuş cevher ve aktive edilmemiş cevher arasındaki farkların karşılaştırılabilmesi için direkt liç çalışmaları yapılmıştır. Liç çalışmaları aktive edilmiş ve aktive edilmemiş cevherler kullanılarak hiçbir termal ön işlem (kavurma, kalsinasyon vb) uygulanmaksızın sülfürik asit çözeltisinde yapılmıştır. Bu çalışmalarda liç süresi, hidrojen peroksit miktarı, katı/sıvı oranı gibi parametreler incelenmiştir. 3 M sülfürik asit çözeltisi, 300 devir/dk karıştırma hızı ve 25 °C sıcaklık parametreleri sabit tutulmuştur. Hidrojen peroksit ilavesi vb farklı parametrelerin etkilerinin liç verimine etkileri karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır.

Liç deneyleri sonrası elde edilen çözeltiler atomik absorpsiyon spektroskopisiyle analiz edilmiştir. Cihazdan ppm olarak alınan değerlerden, metal çözünme verimleri aşağıdaki (5.1) eşitliğine göre hesaplanmıştır:

$$\text{Metal Çözünme Verimi \%} = \frac{K \times T \times L}{(Z \times M / 100)} \times 100 \quad (5.1)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada;

K : ICP'de ölçülen Cu veya Fe değeri (mg/L)

T : Kullanılan çözelti hacmi (L)

L : Seyreltme faktörü [Ana çözelti hacmi (L)/Analiz için alınan çözelti hacmi (L)]

Z : Liç deneylerinde kullanılan numune miktarı (mg)

M : Liç deneylerinde kullanılan numunenin Cu veya Fe tenörü (%)

## BÖLÜM 6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Cevher Kimyasal Analizi

Küre bölgesine ait konsantre bakır cevherine yapılan mekanik aktivasyon sonrası XRF analiz sonuçları Tablo 6.1.'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bakır cevherine ait bakır içeriği %17,92 olarak bulunmuştur.

Tablo 6.1. Küre Bölgesi Bakır Cevherine ait kimyasal analiz sonuçları.

% S	% Fe	% Cu	% Zn	% Co	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Ca	%Mg	% As	% K
43,29	32,855	17,92	2,672	0,232	1,99	0,59	0,203	0,168	0,051	0,028

### 6.2. Mekanik Aktivasyon Çalışmaları

Mekanik aktivasyon şartlarının belirlenmesi amacıyla farklı devir hızı, süre ve katı/bilye oranlarında mekanik aktivasyon çalışmaları yapılmıştır. Mekanik aktivasyonun temel amacı toz partiküller üzerinde yapısal düzensizlikler oluşturmaktır. Bu nedenle mekanik olarak aktive edilen tozlara XRD çalışmaları yapıp en çok düzensizliğe sahip toz için aktivasyon parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda ilk önce devir hızı çalışılmış olup 400, 500, 600 devir/dk hızları çalışılmıştır. Devir hızının çalışıldığı mekanik aktivasyon işlemlerinde diğer parametreler 2 saat süre boyunca, 1/30 katı/bilye oranındadır. Devir hızının belirlenmesinden sonra sabit katı/bilye oranında farklı süreler (60 dk, 120 dk, 180 dk, 300 dk) çalışılmıştır. Uygun süre olarak 2 belirlendiğinden bu süre ve hız oranları sabit tutularak farklı katı/bilye oranında çalışmalar yapılmıştır. Yapılan mekanik aktivasyon sonucu cevherlerin XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 6.1.'de mekanik aktivasyonda kullanılan gezegensel öğütme cihazının dış görünümü ve cihaz içi hazne görünümü verilmiştir.



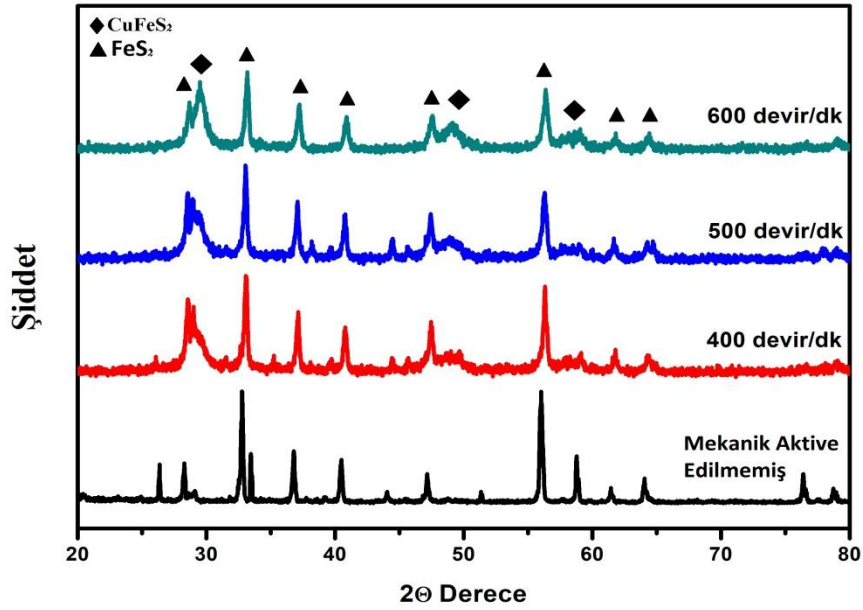


Şekil 6.1. Mekanik Aktivasyon cihazı a) Dış görünümü, b) Hazne görünümü.

### 6.3. XRD Analiz Sonuçları

Farklı parametrelerde mekanik aktivasyon yapılmış cevher üzerinde XRD analiz çalışmaları yapılmıştır. En düzensiz yapının belirlenmesi için XRD şiddetleri karşılaştırılmış olup bu doğrultuda direk liç çalışmaları için kullanılacak parametreler belirlenmiştir. Şekil 6.2.'da 400, 500, 600 devir/dk hızında 120 dk süreyle mekanik aktive edilmiş cevhere ait XRD analizleri verilmiştir.

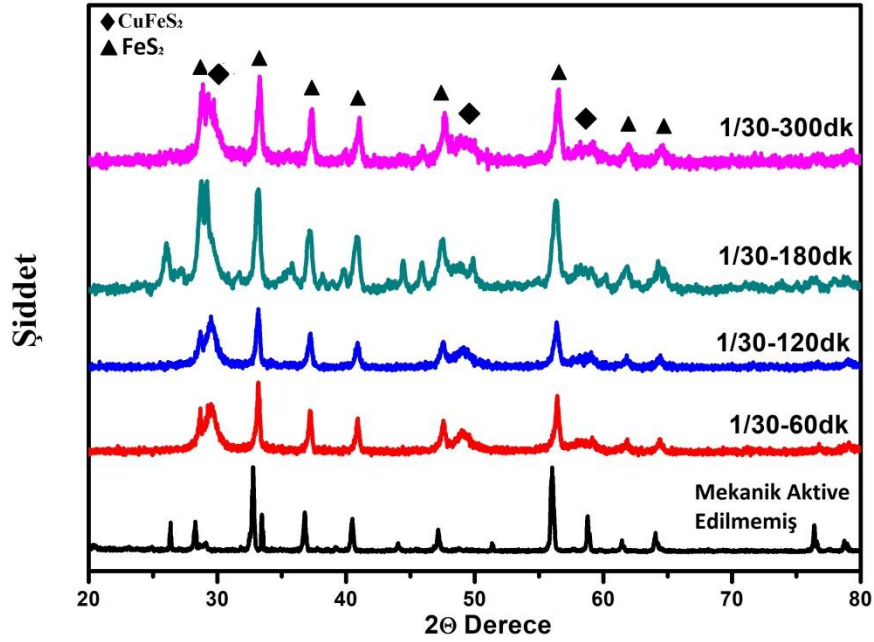
Şekil 6.2. incelendiğinde mekanik aktivasyon sonrası XRD sonuçları incelendiğinde 400, 500 ve 600 devir/dk hızında yapılan aktivasyon çalışmalarında (28, 33, 42, 47, 57  $2\Phi$  değerlerinde) pik şiddetlerinin devir hızının artmasıyla azaldığı, daha fazla amorflaşma eğilimi gösterdiği yani daha düzensiz bir yapının oluştuğu görülmüştür. Bu nedenle buradan sonraki mekanik aktivasyon çalışmalarına 600 devir/dk mekanik aktivasyon şartında devam edilmiştir.



Şekil 6.2. Farklı hızlarda mekanik aktivasyon yapılan cevhere ait XRD paternleri.

Sürenin mekanik aktivasyon üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla 60 dk, 120 dk, 180 dk ve 300 dk boyunca mekanik aktivasyon yapılmış cevherlere XRD analizi yapılmıştır. Bu numunelere ait XRD analizleri Şekil 6.3.'de verilmiştir.

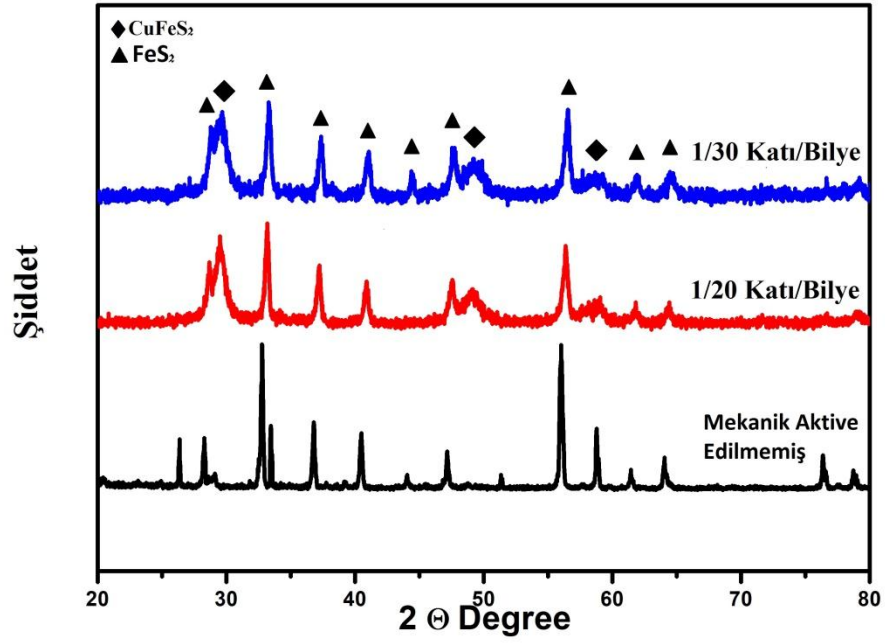
Şekil 6.3.'deki XRD analizleri incelendiğinde 60 dk süreyle aktivasyon yapılmış çalışmaya göre 120 dk da pik şiddetleri azalmıştır. Bu durum artan süre ile ufalan partiküllerin, yüksek enerjili bilya çarpışmaları arasında kalmasıyla kristal yapılarının hasarlanmasıyla, aynı dereceden ışınım alınan kristallerin sayısının azaldığı, konsantre yapısındaki kristalin yapılarının zayıfladığını göstermektedir. 120 dk üzerinde mekanik aktivasyon süresinin daha fazla artmasıyla (180, 300 dk) ise kristalin fazların daha yüksek şiddetli görüldükleri belirlenmiştir. Artan sürede partiküllerin aglomere olması, pirit kristalin fazlarının artmış olması nedenleriyle sonraki yapılacak çalışmalarda mekanik aktivasyon süresi olarak 120 dk seçilmiştir.



Şekil 6.3. Farklı sürelerde mekanik aktivasyon yapılan cevhere ait XRD.

Katı/bilye oranının belirlenmesi amacıyla iki farklı oranda (1/20 ve 1/30 katı/bilye oranında) aktivasyon çalışması yapılmış olup, numunelerin XRD analizleri karşılaştırılmalı olarak aşağıda Şekil 6.4.'te verilmiştir.

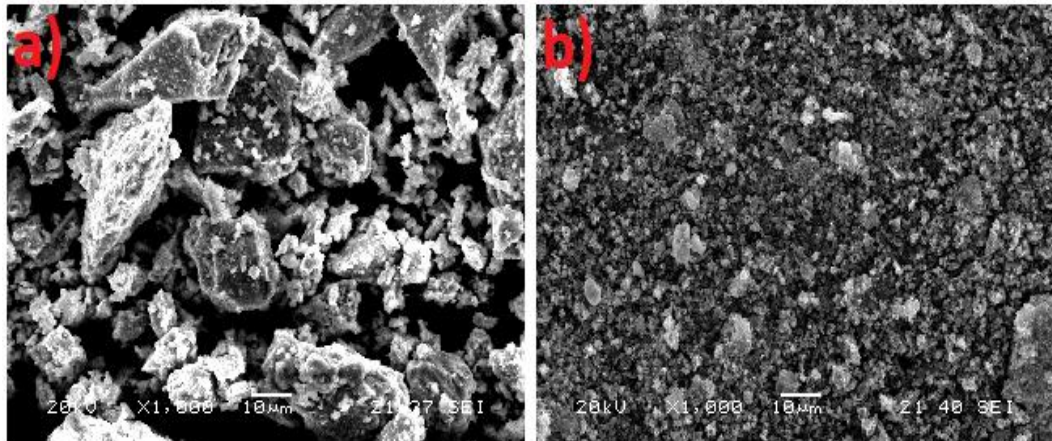
Şekil 6.4. incelendiğinde katı/bilye oranındaki değişimin düzensizliği etkilediği görülmüştür. Her iki katı bilye oranı da incelendiğinde 1/30 katı/bilye oranının daha düşük şiddetlerde pik verdiği görülmüştür. Amorflaşan kalkopirit fazlarının yanı sıra pirit fazlarının da daha düşük pik vermesi nedeniyle katı oranındaki artışın daha fazla çarpışma oluşması ve daha düzensiz partiküllerin oluşumuna neden olmuştur. Mekanik aktivasyonun amacına ulaşabilmesi için ihtiyaç duyulan daha düzensiz, amorf yapılar 1/30 katı/bilye oranında, 120 dk süre boyunca ve 600 devir/dk hızında yapılması gerektiği sonucuna varılabilir.



Şekil 6.4. Farklı oranlarda mekanik aktive edilmiş cevhere ait XRD paternleri.

#### 6.4. SEM-EDS Çalışmaları

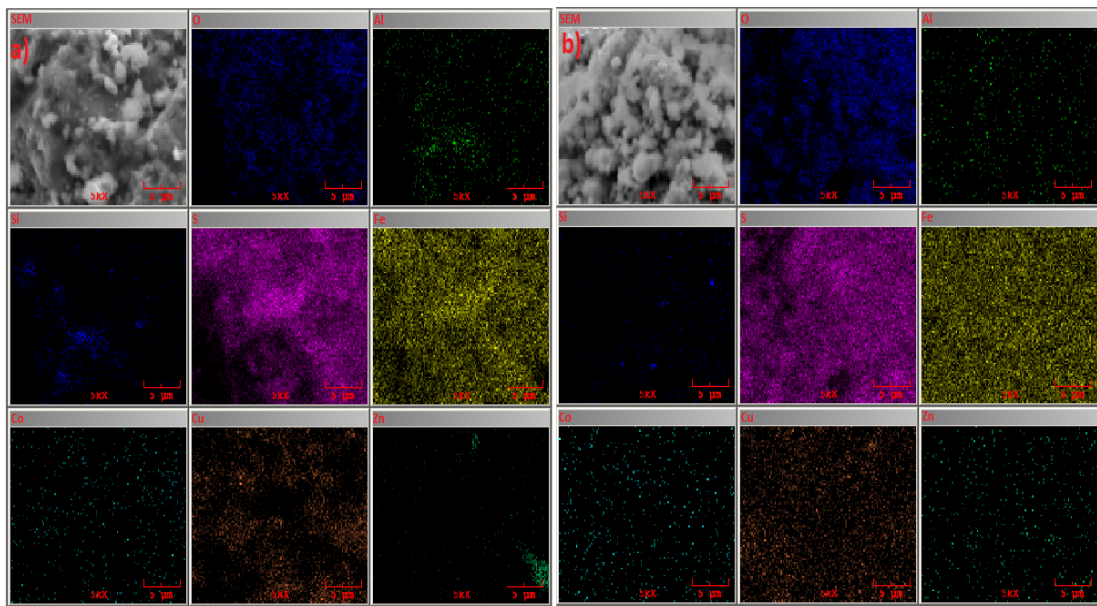
Mekanik Aktivasyonun toz partikülleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla aktive edilmiş ve edilmemiş cevherler üzerinde SEM incelemeleri yapılmıştır. Şekil 6.5.'te cevherlere ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.5. Küre Bölgesi Sülfürlü cevherlere ait SEM görüntüleri a)Mekanik aktivasyon yapılmamış cevher, b)Mekanik aktivasyon yapılmış cevher.

Şekil 6.5. incelendiğinde mekanik aktivasyonun toz boyutunun değişimi hakkında yorum yapabilmek mümkündür. Başlangıçta 74 µm altı elekte elenen ve partikül boyu 74 µm altında olan toz boyutu mekanik aktivasyonun ardından daha ince taneli bir yapıya dönüşmüştür.

Aktive edilmiş ve edilmemiş cevherler üzerinde elementel analizin cevher üzerindeki dağılımını görmek amacıyla mapping analizi yapılmıştır. Yapılan mapping çalışmaları Şekil 6.6.'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Cevher Mapping Analizleri a) aktive edilmemiş, b) aktive edilmiş.

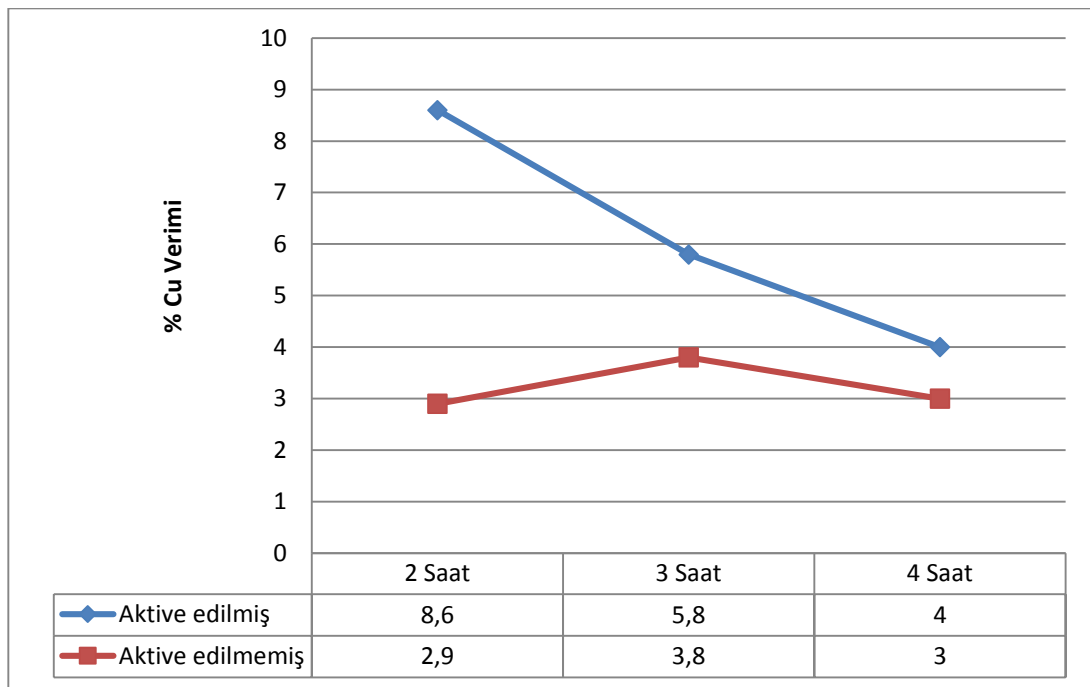
Şekil 6.6.'daki elementel haritalamalar incelendiğinde mekanik aktivasyon sonrasında elementlerin daha homojen yayıldığı görülmüştür.

### 6.5. Direkt Liç Çalışmaları

Mekanik aktive edilmemiş ve edilmiş cevherler, sülfürik asit ve su ile 3M konsantrasyonun da hazırlanmış sülfat asidi çözeltisinde oda sıcaklığında liç edilip, çalışmalar sonunda elde edilen pulp içindeki çözünmemiş katı atığından ayrılmıştır. Ayrılan berrak sıvı çözeltiler analiz edilerek liç verimlilik analizleri yapılmıştır.

### 6.5.1. Mekanik Aktivasyon ve sürenin liç verimine etkisi

Aktive edilmiş ve aktive edilmemiş cevherlerin direkt liç çalışmaları 120, 180 ve 240 dk boyunca 3M sülfürik asit çözeltisi içerisinde, 1/30 katı/sıvı oranında, 300 devir/dk karıştırma hızıyla, 25<sup>0</sup>C sıcaklıkta yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.7.'deki gibidir.



Şekil 6.7. Aktivasyon ve sürenin sülfürlü bakır cevherinin liç verimine etkisi.

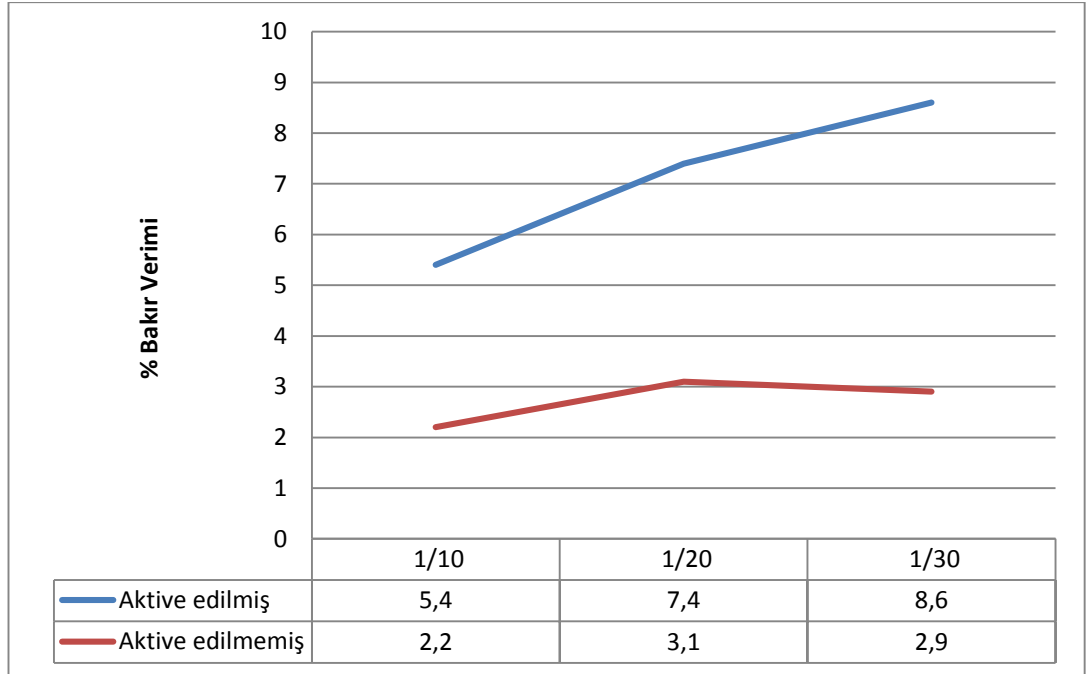
Şekil 6.7.'deki grafikte görüldüğü gibi 120 dk boyunca liç yapılmış aktive edilmiş ve edilmemiş cevherin liç verimi arasında yaklaşık 3 kat fark bulunmaktadır. Süre çalışmaları için yapılan çalışmalarda aktive edilmiş cevherlerin liç verimlerinin daha yüksek olmasının nedeni X-ray çalışmalarında da gösterildiği gibi, aktive numunelerin kristal yapılarının hasarlanması, kusurlanması gibi sebeplerle reaksiyona girme eğiliminin artmasıdır. Yukarıdaki grafikte ifade edildiği gibi liç süresinin artışı liç veriminde olumsuz yönde gelişme göstermektedir. Liç verimlerinin genel anlamda düşük olması ise, sülfürlü yapıların herşeye rağmen kristalin yapılarının kararlı olması, çözünme için yükseltgen ve yüksek sıcaklık ortamlarına ihtiyaç duyması gibi sebeplerden dolayıdır. Yukarıdaki çalışmalar en



uygun sürenin 2 saat olduğunu da göstermiştir. Bu yüzden sonraki liç çalışmalarında bu süre baz alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

### 6.5.2. Mekanik aktivasyon ve katı-sıvı oranının liç verimine etkisi

Katı/sıvı oranının bakır verimine etkilerini belirlemek için 25<sup>0</sup>C sıcaklıkta, 3M'lık sülfürik asit çözeltisinde, 2 saat boyunca, 300 devir/dk karıştırma hızında 1/10, 1/20 ve 1/30 katı/sıvı oranlarında aktive edilmiş ve aktive edilmemiş cevherlere liç çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalara ait verim grafikleri Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Katı-Sıvı oranı değişiminin liç verimine etkisi.

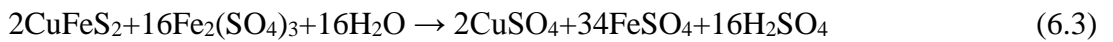
Katı-sıvı oranının liç verimine etkisi Şekil 6.8.'de verilmiştir. Bu çalışmada yüksek sıcaklık ve yükseltgen ortam koşulları olmaksızın katı/sıvı oranının aktive edilmemiş ve edilmiş numuneler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Liç çalışması sırasında orijinal sülfürlü konsantreler kullanılmış olup, liç çözeltisine herhangi bir yükseltgen madde ilave edilmemiştir. Bu verilere göre sırasıyla 1/10, 1/20, 1/30 katı/sıvı oranlarında aktive edilmiş cevherde verim %5,4, %7,4, %8,6 iken aktive edilmemiş cevherde verim %2,2, %3,1, %2,9 elde edilmiştir. Verimlerin düşük olmasının sebepleri arasında sülfürlerin kolay çözünmemesi, yüksek sıcaklık ve yükseltgen istemeleridir.

Aktive edilmiş numunelerde liç verimleri, aktive edilmemiş numunelere göre yaklaşık 2,5 kat daha fazla çıkmıştır [38].

### 6.5.3. Mekanik aktivasyon ve Hidrojen peroksit ilavesinin liç verimine etkisi

Bir önceki çalışmalar yükseltgen ortamlara da ihtiyaç duyulduğunu gösterdiğinden, liç çözeltilerine yükseltgen özelliğe sahip hidrojen peroksit ilave edilerek, etkisi incelenmiştir. Bunun için aktive edilmiş konsantre 120 dk boyunca, 25<sup>0</sup>C sıcaklıkta, 3M sülfürik asit içerisinde, 1/30 katı/sıvı oranında, 300 devir/dk karıştırma hızında liç çalışmaları yapılmıştır. Liç çalışmalarında çözücü içersine hacimce %5, %10, %20 oranında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> olacak şekilde ilave edilmiştir.

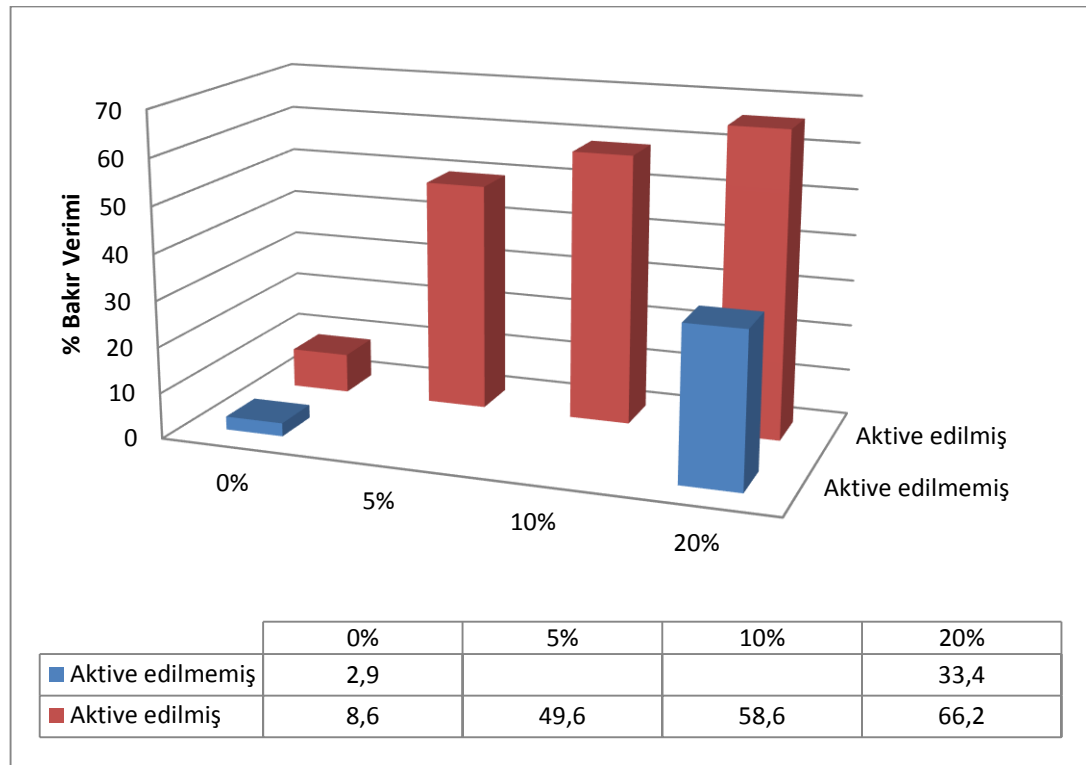
Aşağıdaki reaksiyonlarda da belirtildiği gibi oksijen varlığı ve yüksek sıcaklık şartları altında kalkopirite uygulanan liç işleminde kükürdün sülfata kadar yükseltgenebildiği ayrıca düşük sıcaklıklarda kükürdün % 80-90'ının (6.5) ve (6.6) reaksiyonu gereği elementel kükürde yükseltgendiği belirtilmektedir [36].



Daha yüksek bir bakır çözünme oranı elde edebilmek için liç çalışmalarında bilinen en iyi oksitleyicilerden biri olan hidrojen peroksit kullanılmıştır. Hidrojen peroksit asidik çözeltilerde en güçlü oksitleyicilerden biri olarak bilinmektedir [37]. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



ilavesinin aktive edilmiş ve aktive edilmemiş cevherlerde bakır çözündürme oranı üzerindeki Şekil 6.9.'da görülmektedir.



Şekil 6.9. Hidrojen peroksit ilavesinin liç verimine etkisi.

Şekil 6.9.'da görüldüğü gibi hacimce %20'lik  $H_2O_2$  ilavesi sonucunda bakır verimi  $25^{\circ}C$  sıcaklıkta %66,2'ye kadar artmıştır. Mekanik aktivasyonla birlikte  $H_2O_2$  ilavesi bakır çözünme oranını yaklaşık 23 kat arttırdığı görülmektedir. Düşük sıcaklık koşullarında (6.5) ve (6.6) nolu reaksiyonlar gereği oluşan kükürdün de yükseltgen ortamda yükselttiği, reaksiyonları engelleme eğiliminin azaldığı görülmüştür.

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Sülfürlü cevherlerin termal bir ön işleme uğratılmadan direkt olarak asidik liçi işlemlerinde bakır verimlerinin oldukça düşük kaldığı tespit edilmiştir.

Aktivasyon işleminin liç işlemine pozitif katkı yaptığı, bakır verimlerini aktive edilmemiş cevhere göre 2,5 kata varan oranda artırdığı tespit edilmiştir.

Yükseltgen olmadan ve düşük sıcaklıkta sülfürlü cevherlere yapılan liç çalışmalarında sürenin etkisi son derece sınırlı kalmıştır.

Katı/sıvı oranının liç verimine etkisinin incelendiği çalışmada 1/10, 1/20, 1/30 katı/sıvı oranlarında yükseltgen olmadan ve düşük sıcaklıkta liç sonucu aktive edilmiş ve edilmemiş cevherde verimler çok düşük kalmıştır (yaklaşık %2-8 arası). Ancak aktive edilmiş çalışma verimleri daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Düşük sıcaklıkta liç sırasında yükseltgeyici etkisinin ( $H_2O_2$  ilavesi ile) incelendiği çalışmada, aktive edilmiş cevherde en yüksek verime 3M sülfürik asit çözeltisi içerisinde, 1/30 katı/sıvı oranında, 300 devir/dk karıştırma hızıyla, 25°C sıcaklıkta 2 saat sürede %20  $H_2O_2$  ilavesi yapılmış çalışmada %66,2 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma daha önce farklı bölge cevherlerine göre yapılan tez çalışmalarına da paralel sonuçlar verdiğini göstermektedir. Pirometalurjik prosesler yüksek sıcaklık prosesleri olduğundan yüksek ısı tüketen proseslerdir. Bu nedenle çevre açısından çevrenin entropisini artırmaktadır. Bu çalışma, düşük sıcaklıklarda kompleks bakır cevherlerinin ciddi oranda çözündürülebileceğine, çevresel ısı yükünü bu yolla

azaltılması ve entropi artışının daha düşük seviyelerde tutulmasının mümkün olabileceğine ışık tutmaktadır. Endüstriyel olarak sülfürlü cevherlerin değerlendirilmesinin Türkiye’de hemen hemen sadece pirometalurjik proseslerle yapıldığı düşünüldüğünde, bu çalışma daha az enerji gerektiren, pirometalurjik proseslerde olduğu gibi SO<sub>2</sub> gazı vermediğinden çevreye daha duyarlı bir proses olabileceğini de göstermektedir [39].

## 7.2.Öneriler

Bu çalışma kapsamında olmayan fakat cevher içeriğinde bulunmasından dolayı Zn, Co gibi elementlerin de liç verimleri araştırılabilir.

Farklı çözücülerin kullanıldığı liç sistemleri araştırılabilir.

Daha yüksek liç sıcaklığı proses verimini artırılabilir. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda liç çalışmaları yapılabilir.

Sisteme H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yerine farklı yükseltgen kimyasallar eklenerek de araştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Harman, H., Hidrometalurjik Yöntemlerle Bakır Kimyasalları Üreten Tesislerden Çıkan Bakır içerikli Atık Suların İyon Değişimi Metodu ile Temizlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [2] Akkaş, C., Oksitli Bakır Cevherlerinden Bakır Kazanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [3] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Demirdışı Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT: 2537 ÖİK: 553, Ankara, 2000.
- [4] Akdoğan, Eker, A., Bakır ve Bakır Alaşımları ders notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notları.
- [5] Jain, V., V., Microstructure And Properties Of Copper Thin Films On Silicon Substrates, 2007.
- [6] [isolution3.wordpress.com/2010/10/25/kalkopirit-and-kalkosit-mineral-dari-papua/](http://isolution3.wordpress.com/2010/10/25/kalkopirit-and-kalkosit-mineral-dari-papua/)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [7] <https://nettenyazar.blogspot.com/2014/10/bakr-mineralleri.html>  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [8] [e-rocks.com/minerals/3272/brochantite](http://e-rocks.com/minerals/3272/brochantite)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [9] [isolution3.wordpress.com/2010/10/25/kalkopirit-and-kalkosit-mineral-dari-papua/](http://isolution3.wordpress.com/2010/10/25/kalkopirit-and-kalkosit-mineral-dari-papua/)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [10] [ybm.comu.edu.tr/v4/koleksiyon/1051/Kalkopirit](http://ybm.comu.edu.tr/v4/koleksiyon/1051/Kalkopirit)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [11] [ybm.comu.edu.tr/v4/koleksiyon/838/Kalkantit](http://ybm.comu.edu.tr/v4/koleksiyon/838/Kalkantit)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.

- [12] [www.jsjgeology.net/Tenorite.htm](http://www.jsjgeology.net/Tenorite.htm)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [13] [www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/Azurit](http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/Azurit)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [14] [www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/malahit](http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/malahit)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [15] [www.mineralagat.com/mineraller-ve-kayaclar/krizokol](http://www.mineralagat.com/mineraller-ve-kayaclar/krizokol)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [16] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/enarjit>  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [17] <https://www.degerlidogaltas.com/atakamit-tasi/>  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [18] [www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Tetrahedrit](http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Tetrahedrit)  
Erişim Tarihi:16.10.2018.
- [19] [www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kalkopirit](http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kalkopirit)  
Erişim Tarihi:17.10.2018.
- [20] [www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bornit](http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bornit)  
Erişim Tarihi:17.10.2018.
- [21] [www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuprit](http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuprit)  
Erişim Tarihi: 17.10.2018.
- [22] Erek, F, Demir Cevherlerinde Bulunan Bakırın Kazanımı, Dicle Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [23] Koçak, H., Bakır alaşımları el kitabı, Yayın no : 6 Sağlam Metal San Tic. A.Ş.
- [24] Kökeş, H., Oksitli Bakır Cevherlerinden Hidrometalurjik Yöntemle Bakır Sülfat Kristalleri Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [25] Ünal, İ., Tuncel S., Yücel M. B., Yoleri B., Arslan M, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye ve Dünyada Bakır, 2016.
- [26] T.C. Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018, Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2015.
- [27] [http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b\\_h/bakir.jpg](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/bakir.jpg)  
Erişim Tarihi: 09.11.2018.

- [28] T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, Dokuzuncu kalkınma planı, Özel ihtisas komisyonu raporu, Ana metal sanayii, Ankara, 2007.
- [29] Arık, H., Ekstraktif Metalurji Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2009.
- [30] Çakır, M., Bakır Atıklarından Bakır Kazanımına Mekanik Aktivasyonun Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [31] Özer, M., Renkli Metal İçeren Kompleks Sülfürlü Yapıdaki Hammaddelerin Kavrulma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora tezi, 2012.
- [32] Özboz, F., Rize Bölgesi Kompleks Sülfürlü Bakır Cevherlerinin Anodik Oksitleme Yöntemi İle Liçi Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [33] Uçar, G., Bazı Metal Sülfidlerin Mekanokimyasal Yöntemle Çözündürülmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2010.
- [34] Demirel, S., Rize Bölgesi Bakır Cevherlerinden Bakır Kazanımına Mekanik Aktivasyonun Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [35] Türkmen, Y., Sülfürlü Bakır Flotasyon Konsantrelerinden Hidrometalurjik Yöntemlerle Bakır Kazanımının Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2011.
- [36] Sital, B., Keskin, E., Turan, M.D., Altundoğan, H.S., Sülfürik Asit Varlığında Hava Oksijeni Kullanarak Küre Kalkopirit Konsantresinden Bakırın Ekstraksiyonu. Fırat Üniversitesi.
- [37] Kilicarslan A., Saridede, M. N., Stopic, S., Friedrich, B., Use of ionic liquid in leaching process of brass wastes for copper and zinc recovery, International Journal of Minerals, 21, 138, 014.
- [38] Ulu, S., Özboz, F., Uysal, M., Gül, H., Alp, A., Aydın A. O., Küre Bölgesi Sülfürlü Bakır Cevherlerinin Hidrometalurjik Yöntemle Kazanımında Mekanik Aktivasyon ve Hidrojenperoksit İlavesinin Etkisi, 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 2017
- [39] Özboz, F., Kartal, M., Alp, A., Karadeniz Rize Bölgesi Bakır Sülfür Cevherlerinin Anodik Oksidasyon Prosesi İle Liçi Ve Çevre Açısından Önemi, Isem 2016, 3rd International Symposium On Environment And Morality, 685-693, 2016.

## ÖZGEÇMİŞ

Seda ULU, 26/11/1991 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümündeki eğitimine başladı. 2015 yılında mezuniyetinin hemen ardından Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ve Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İmalat Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Sakarya üniversitesi ve Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitelerinde yüksek lisans eğitimi devam etmektedir.