

SAMSUN KONVERTER CURUF  
FLOTASYONU ARTIKLARINDAN  
AMONYAK LIÇI İLE BAKIR KAZANIMI  
ARAŞTIRMALARI

Tuna CANBOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
SİVAS 2006

SAMSUN KONVERTER CURUF FLOTASYONU ARTIKLARINDAN  
AMONYAK LİÇİ İLE BAKIR KAZANIMI ARAŞTIRMALARI

Tuna CANBOLAT  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Yakup CEBECİ

Üye : Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU

Üye : Doç. Dr. Hasan Hüseyin DURMAZUÇAR

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../2006

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Halil GÜRSOY

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bana bilimsel tutumuyla destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans dersleri boyunca araştırma yöntem ve türleri konusunda beni aydınlatan Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih YÜKSEK hocama ve diğer bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde gerekli desteği sağlayan MTA Genel Müdürlüğüne ve deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Metalurji Servisi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince desteklerini gördüğüm Sayın Mad.Yük. Müh. Hakan ARSLANDAŞ' a ve Sayın Arş. Gör. Hatice YILDIZ' a da teşekkür ederim.

Ayrıca tezin her aşamasında yanımda olan, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen anneme minnetlerimi sunarım.

Tuna CANBOLAT

Sivas, 2006

**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**SAMSUN KONVERTER CURUF FLOTASYONU ARTIKLARINDAN  
AMONYAK LIÇİ İLE BAKIR KAZANIMI ARAŞTIRMALARI**

Tuna CANBOLAT

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU

Bu çalışma kapsamında, konverter curuf flotasyon artıklarının amonyak liçingi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeler Karadeniz bakır İşletmelerinden sağlanmıştır. Liçing çalışmaları iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda, atıklara amonyak liçingi karışımı 5M NH<sub>4</sub>OH ve 0,3M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> uygulanmıştır. Liçing süresi, katı/sıvı oranı, sıcaklığın, karıştırma hızı ve tane boyu parametreleri incelenmiştir. İkinci adımda ise numune kavrulmaya tabi tutulmuş ve elde edilen kavurma ürününe yine aynı amonyak liçingi karışımı 5M NH<sub>4</sub>OH ve 0,3M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> uygulanmıştır.

Çalışmaların sonucunda %1,69 Cu içeren artıklardan, amonyak liçi uygulanmasıyla bakır, %41,42 oranında çözüldürülmüştür. Kavrulmuş ürünlerin su liçingi ile bakır kazanma verimi %25,74, amonyak ile liçinginde ise % 49,70 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakır, Konverter curuf, Liçing, Kavurma.

**SUMMARY****MsC Thesis****COPPER RECOVERY FROM THE SAMSUN CONVERTER SLAG  
FLOTATION TAILINGSS BY AMMONIUM LEACHİNG****Tuna CANBOLAT****Cumhuriyet University****Graduate School of Natural and Applied Science****Department of Mining Engineering****Supervisor : Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU**

**In this study, ammonium leaching of converter slag flotation tailings was investigated. Materials which were used in the experiments were supplied from the Blacksea Copper Work. Leaching was done by two step. At the first step, ammonium leaching mixture 5M NH<sub>4</sub>OH and 0,3M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> was applied to the tailings. Effects of leaching time, solid/liquid ratio, temperature, stirring speed and particle size was investigated. At the second step sample was roasted and the same ammonium leaching mixture 5M NH<sub>4</sub>OH and 0,3 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> was applied to this roasted product.**

**At the end of study, by the ammonium leaching %41,42 was solved from the tailings which were contain %1,69 Cu. Copper recovery from roasted product is reached %25,74 and % 49,70 by water leaching and ammonium leaching respectively.**

**KEY WORDS: Copper, Converter Slag, Leaching, Roasting**

1.GİRİŞ.....	1
1.1. Bakır Üretim Yöntemleri.....	2
1.1.1. Pirometalurjik Yöntemler.....	2
1.1.2. Hidrometalurjik Yöntemler .....	4
1.1.2.1. Bakır Üretim Prosesleri .....	4
1.1.2.2. Uygulamalar .....	5
1.2. Bakır Curuflarının Zenginleştirilmesi.....	13
1.2.1. Bakır Curufları.....	13
1.2.1.1. Flotasyonla Değerlendirme Yöntemleri.....	15
1.2.1.2. Asit Liçingi.....	17
1.2.1.3. Amonyak liçingi.....	17
1.2.2. Kavrulmuş Ürünlerin Amonyak Liçingi.....	18
1.2.2.1. Kavurma.....	18
1.2.2.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi.....	19
1.3. Amonyak Liçi Koşullarının Saptanması Çalışmaları.....	19
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
2.1. Malzeme.....	22
2.1.1. Mineralojik Bileşimi.....	22
2.1.2. Kimyasal Bileşimi.....	22
2.1.3. Deneylere Malzemenin Hazırlanması.....	22
2.2. Yöntem.....	23
3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	26
3.1. Amonyak Liçi.....	26
3.1.1. Liçing Süresinin Belirlenmesi .....	26
3.1.2. Karıştırma Hızının Etkisi.....	28
3.1.3. Sıvı/Katı Oranının Etkisi.....	29
3.1.4. Sıcaklığın Etkisi.....	30
3.1.5. Tane Boyunun Etkisi.....	31
3.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi.....	33
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	36
4.1. Sonuçlar.....	36
4.1.1. Amonyak liçi.....	37
4.1.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi.....	37
4.2. Öneriler.....	38
5. KAYNAKLAR.....	39
6. ÖZGEÇMİŞ.....	41



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Bakır üretimi akım şeması.....	3
Şekil 2. Cymet Prosesi akım şeması .....	7
Şekil 3. Bakır ve çinko konsantresinin amonyakla liçi .....	9
Şekil 4. Ni-Co-Cu sülfürlü konsantrelerinin basınç altında liç edilmesi (Sherritt-Gordon Prosesi).....	11
Şekil 5. Arbiter Prosesinin basitleştirilmiş akım şeması .....	13
Şekil 6. KBİ.- Samsun curuf flotasyon devresi.....	16
Şekil 7. NH <sub>4</sub> OH derişiminin bakır kazanımı ve PH üzerine etkisi .....	20
Şekil 8. pH'ın bakır kazanım üzerine etkisi .....	21
Şekil 9. Su banyosu kullanılarak yapılan çalışmaların deney düzeneği.....	24
Şekil 10. Liç süresinin bakır kazanımına etkisi.....	27
Şekil 11. Karıştırma hızının bakır kazanımına etkisi.....	28
Şekil 12. Sıvı/katı oranının bakır kazanma verimine etkisi.....	29
Şekil 13. Liçing Sıcaklığının bakır kazanımına etkisi.....	31
Şekil 14. Tane boyunun bakır kazanma verimine etkisi.....	32
Şekil 15. Kavrulmuş ürünlerin liçing deneylerinde kavurma sıcaklığının Cu verimine ve kavurma sıcaklığının % ağırlık kaybına etkisi.....	34

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 1. Bazı Önemli Bakır Mineralleri .....	2
Çizelge 2. Sülfürlü Konsantrelerden Bakır Üretimi ve Temel Tepkimeler.....	5
Çizelge 3. Bakır Curuflarının Kimyasal Bileşenleri .....	14
Çizelge 4. Elek Analizi Sonuçları .....	23
Çizelge 5. Liçing Süresinin Bakır Kazanımına Etkisi.....	26
Çizelge 6. Karıştırma Hızının Bakır Kazanımına Etkisi .....	28
Çizelge 7. Sıvı/Katı Oranının Bakır Kazanımına Etkisi.....	29
Çizelge 8. Liçing Sıcaklığının Bakır Kazanımına Etkisi .....	30
Çizelge 9. Tane Boyunun Bakır Kazanımına Etkisi .....	32
Çizelge 10. Kavrulmuş Ürünlerin Liçinginde Su Ve Amonyak Karışımı Liçingin Bakır Kazanma Verimine Ve Toplam Ağırlık Kaybına Etkisi.....	33

## 1.GİRİŞ

Dünyada yeraltı kaynaklarının tarih boyunca iletimi ve kullanımı insanların talepleri doğrultusunda artmıştır. Bazı metallerin; mutfak malzemeleri, süs eşyaları, savaş ve nakil araçlarının yapımındaki oynadığı rol arttıkça yer altı kaynaklarının işletilmesi hızlanmıştır. Doğal olarak geçmiş dönemlerde kullanılan yöntem ve teknolojiler günümüz yöntem ve teknolojilerinden daha geridir. Bu nedenle geçmişte yapılan ergitme (izabe) çalışmalarında doğal olarak değerli elementlerin bir kısmının curufta kaybedildiği bilinmektedir. Diğer bir ifadeyle, ilkel koşullarda yapılmış olan izabe işlemlerinde tepkimeler tam olarak kontrol edilmemekte ve izabe verimleri düşük olmaktadır. Ancak, curufta bakır kayıpları sadece geçmişe özgü bir olgu olmayıp izabede kullanılan yöntemle bağlı olarak günümüzde meydana gelmektedir (Aydoğan, 2000).

Ülkemizde Blister bakır ihtiyacının yaklaşık 30-35 bin tonu Karadeniz Bakır İşletmeleri A.Ş. (KBİ) tarafından üretilmekteydi. Halen özel bir kuruluş şirketin faaliyetleri devam etmektedir. Ülkemizin ihtiyacı olan diğer blister bakır ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır. KBİ özelleştirilmiş olmakla birlikte halen miktarı binlerce tona varan konverter bakır curufu ve flotasyon tesisi artıkları bulunmaktadır. Bu artıklar önemli oranda bakır içermektedir.

Bakırın 250'ye yakın minerali bilinmektedir. Ancak 10-15 kadarı ekonomik önem taşımaktadır. Bazı önemli bakır mineralleri Çizelge 1'de verilmiştir (Canbazoglu, 1993).

Çizelge 1. Bazı Önemli Bakır Mineralleri (Canbazoglu, 1993)

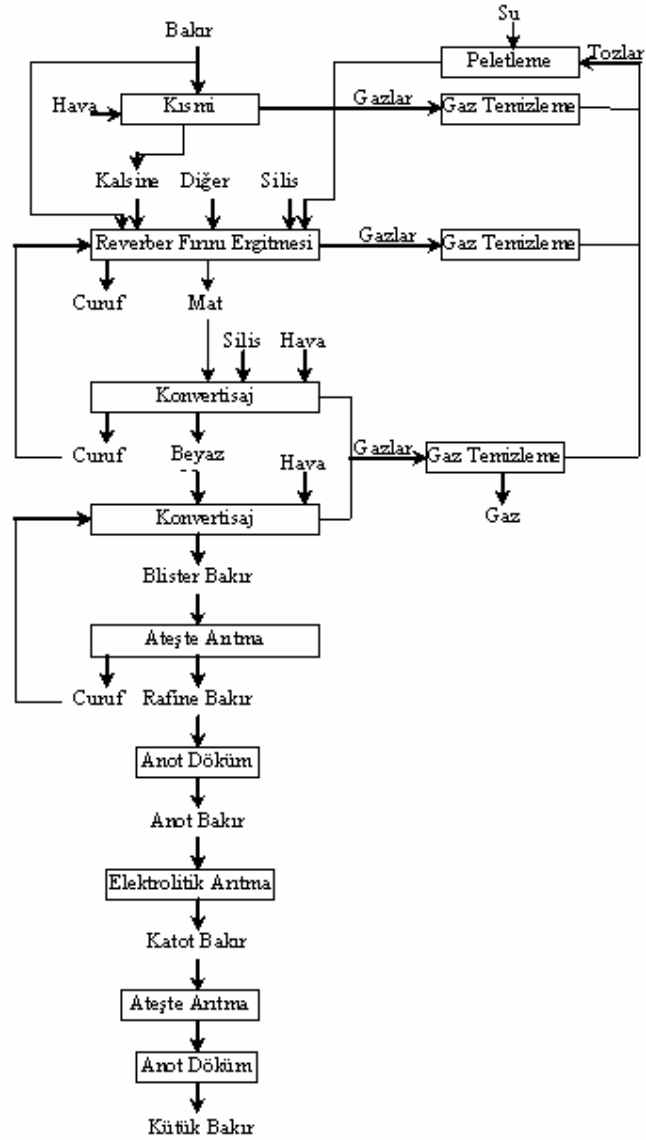
Mineralin Adı	Kimyasal Formülü	Kimyasal Analiz (%)				
		Cu	Fe	S	As	Sb
I. Nabit Bakır	Cu	99,9				
II. Sülfürlü Mineraller						
1. Kalkozin	Cu <sub>2</sub> S	79,9		20,1		
2. Kovellin	CuS	66,5		33,5		
3. Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	34,6	30,5	34,9		
4. Bornit	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	63,3				
III. Oksitli Mineraller						
1. Kuprit	Cu <sub>2</sub> O	88,8				
2. Tenorit	CuO	79,9				
3. Malakit	CuCO <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub>	57,5				
4. Azuruit	2CuCO <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub>	55,3				
5. Krikozol	CuSiO <sub>3</sub> 2H <sub>2</sub> O	26,3				
6. Kalkantit	CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	25,5				
7. Bokantit	CuSO <sub>4</sub> 3Cu(OH) <sub>2</sub>	56,2				
8. Atakamit	CuCl <sub>2</sub> 3Cu(OH) <sub>2</sub>	59,5				
9. Krontit	CuSO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3Cu(OH) <sub>2</sub>	42,8				
IV. Kompleks Mineraller						
1. Enarjit	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	48,4		32,6	19,0	
2. Fematinit	Cu <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub>	73,3		29,1		27,6
3. Tetrahedrit	CuSbS <sub>3</sub>	46,7		23,5		29,0

## 1.2. Bakır Üretim Yöntemleri

### 1.1.1. Pirometalurjik Yöntemler

Günümüzde bakır üretiminin çoğunluğu pirometalurjik yöntemlerle yapılmaktadır. Pirometalurjik yöntemlerle üretimde temel olan, cevheri fırında curuf yapıcılarla birlikte ergitip, önce bakırca zengin bir mat fazı üretilip curufu dışarı almak, sonra bu mat fazından bakırı havanın oksijeni ile yükseltgeyerek %98-%99 saflıkta blister bakır üretmektir. Blister üretimi akım şeması Şekil 1' de verilmiştir. (Canbazoglu, 2003).

Ergitme işlemlerine geçmeden önce, cevher veya konsantre ya önce fazla kükürdünün atılması için kavrulmakta ya da sinterlenmektedir. Kavrulan malzeme ile birlikte flotasyon konsantresi, reverber fırında ergitilmektedir. Ergitme işlemi sırasında bakır mat fazında toplanmaktadır. Reverberden ergimiş olarak gelen mat, konverterlerde yükseltgeyici bir işlemle blister bakır haline dönüştürülmekte, blister bakır ise önce ateşte arıtma ve daha sonra elektrolitik saflaştırma işlemlerine tabi tutularak rafine bakır elde edilmektedir (Canbazoğlu, 2003).



Şekil 1. Bakır üretimi akım şeması (Canbazoğlu, 2003)

### 1.1.2. Hidrometalurjik Yöntemler

Dünya bakır üretiminin yaklaşık %10-15'i hidrometalurjik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, birincil ve ikincil bakır mineralleri yanında bakır ve bakır alaşımları da değerlendirilmektedir. Oksitli bakır mineralleri asidik ortamda kolaylıkla çözüldükleri için yükseltgen olmayan bir ortamda bile kolaylıkla çözeltilmeye alınabilirken, sülfürlü ve metalik formdaki bakırın çözeltilmeye alınabilmesi için mutlaka yükseltgen bir ortama gereksinim duyulmaktadır. Bakır liçine yönelik uygulamalarda; oksijen, demir (III) tuzları, bakır (II) tuzları, bakteriler ve anodik oksidasyondan doğrudan ve/veya dolaylı olarak yararlanılmaktadır. Malzemenin özelliklerine bağlı olarak bakır üretiminde hazırlıklı ve hazırlıksız yığın liçi, yerinde liç, tank liçi ve karıştırmalı liç olmak üzere her türlü yöntemden yararlanılmaktadır (Girgin ve Canbazoglu, 2001).

#### 1.1.2.1. Bakır Üretim Prosesleri

Sülfürlü konsantrelerden bakır üretimi proseslerinin temel tepkimeleri, çözünme kimyası açısından değerlendirilme yapılabilmesi için, Çizelge 2'de kıyaslamalı olarak verilmektedir (Girgin ve Canbazoglu, 2001).

Çizelge 2. Sülfürlü Konsantrelerden Bakır Üretimi ve Temel Tepkimeler (Girgin ve Canbazoğlu, 2001)

Proses Adı	Temel Tepkimeler
Cymet	$\text{CuFeS}_2 + 3\text{FeCl}_3 \leftrightarrow \text{CuCl} + 4\text{FeCl}_2 + 2\text{S}$ (İlk çözünme tepkimesi) $\text{CuFeS}_2 + 3\text{HCl} \leftrightarrow \text{CuCl} + 4\text{FeCl}_2 + 2\text{S} + 3\text{H}^+ + 3\text{e}^-$ (Anodik çözünme) $\text{CuCl} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Cu} + 2\text{Cl}^-$ (Katodik tepkime) $\text{FeCl}_2 + \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{FeCl}_3 + \text{e}^-$ (Anodik rejenerasyon)
CLEAR	$+ 3\text{CuCl}^+ + 11\text{Cl}^- \leftrightarrow 4\text{CuCl}_3^{-2} + \text{FeCl}_2 + 2\text{S}$ (Birinci adım indirgeme) $\text{Cu} + \text{CuCl}^+ + 5\text{Cl}^- \leftrightarrow 2\text{CuCl}_3^{-2}$ (İkinci adım indirgeme) $\text{CuFeS}_2 + \text{FeCl}_2 + 3/2 \text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CuCl}_2 + 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{S}$ (Basınç liçi tepkimesi) $\text{CuCl}_3^{-2} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Cu} + 3\text{Cl}^-$ (Katotta bakır kazanımı) $\text{CuCl}_3^{-2} \leftrightarrow \text{CuCl}^+ + \text{e}^-$ (Anodik rejenerasyon)
Sherritt Gordon Cominco	$5\text{CuFeS}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 4\text{FeS} + 2\text{SO}_2$ (Kavurma, fırının üst kısmındaki tepkime) $5\text{CuFeS}_2 + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 4\text{FeS} + 2\text{H}_2\text{S}$ (Kavurma, fırının üst kısmındaki tepkime) $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$ (Birinci adım liç) $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 + \text{CuSO}_4 \leftrightarrow 2\text{Cu}_2\text{S} + \text{CuS} + \text{FeSO}_4$ (İkinci adım liç) $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ (Üçüncü adım liç)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -O <sub>2</sub> Basınç Liçi	$+ 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ $2\text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 15/2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
Amonyak - O <sub>2</sub> Basınç Liçi	$\text{CuS} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$ $\text{Cu}_2\text{S} + 6 \text{NH}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 5/2 \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{CuFeS}_2 + 16 \text{NH}_3 + 17/2 \text{O}_2 + (n+2)\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 + 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

### 1.1.2.2. Uygulamalar

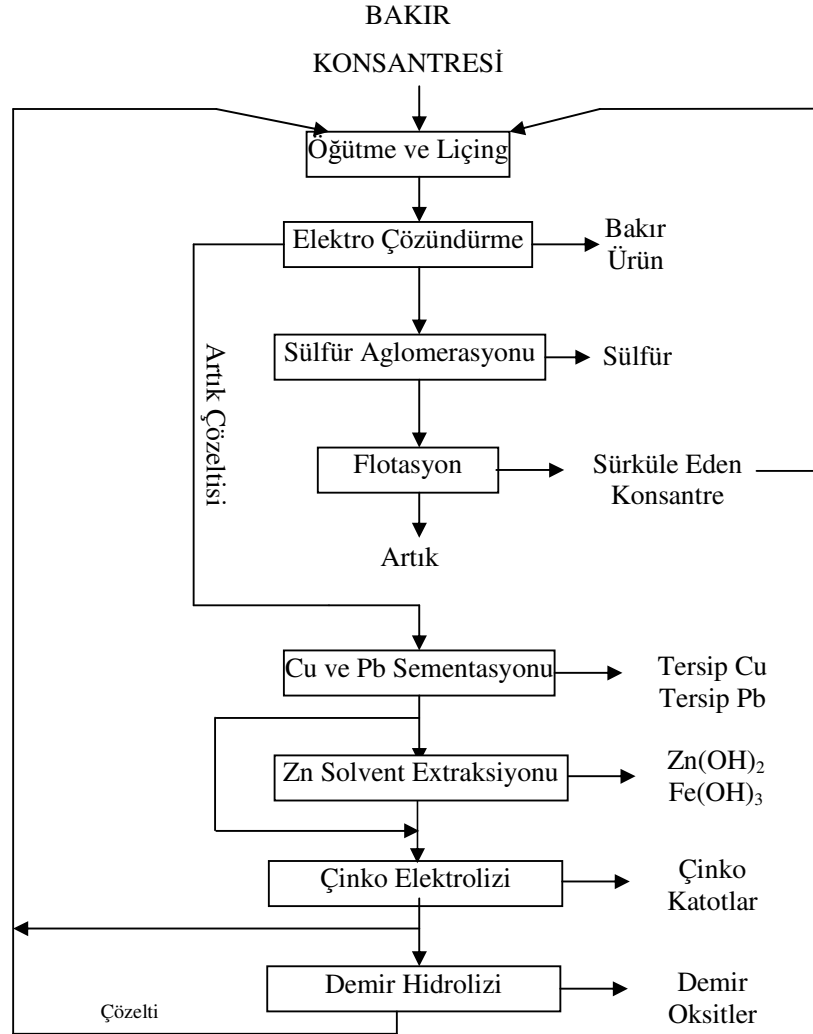
Sülfürlü bakır ve cevher konsantrelerinden bakır üretiminde halen yaygın bir şekilde pirometalurjik prosesler kullanılmaktadır. Ancak pirometalurjik proseslerde SO<sub>2</sub> gazı çıkışına bağlı olarak karşılaşılan çevre sorunları, bu sorun çözümüne yönelik olarak sülfirik asit üretimi tesisi için ilk yatırım giderlerinin maliyeti ve üretilen asidin depolanması ile pazarlanması konusunda karşılaşılan zorluklar alternatif hidrometalurjik prosesler geliştirilmesi konusunda yoğun araştırmalar yapılmasına neden olmuştur. Söz konusu araştırma sonuçlarına dayalı

olarak geliştirilmiş proseslerin başlıcaları Cymet, CLEAR, Sherritt Gordon Cominco, oksijen ortamında  $H_2SO_4$  – basınç ve oksijen ortamında amonyak – basınç liçleri olarak sıralanabilir (Girgin ve Canbazoğlu, 2001).

a. Cymet prosesi

Cymet prosesinde kalkopirit konsantresi çok adımda asidik demir (III) klorür liçine tabi tutulmakta, çözünmeyen sülfürler anodik tepkime ile çözeltilmeye alınmakta ve yükseltgeme amacı ile tüketilmekte olan demir (III) klorür de elektrolitik olarak rejenere edilerek tekrar kullanılmaktadır. Çözelti fazına alınan bakır ise katotta toz halde biriktirilerek kazanılmaktadır (Canbazoğlu, 2001). Cymet prosesi akım şeması Şekil 2’de verilmiştir (Karahana, 1978).





Şekil 2. Cymet Prosesi akım şeması (Karahan, 1978)

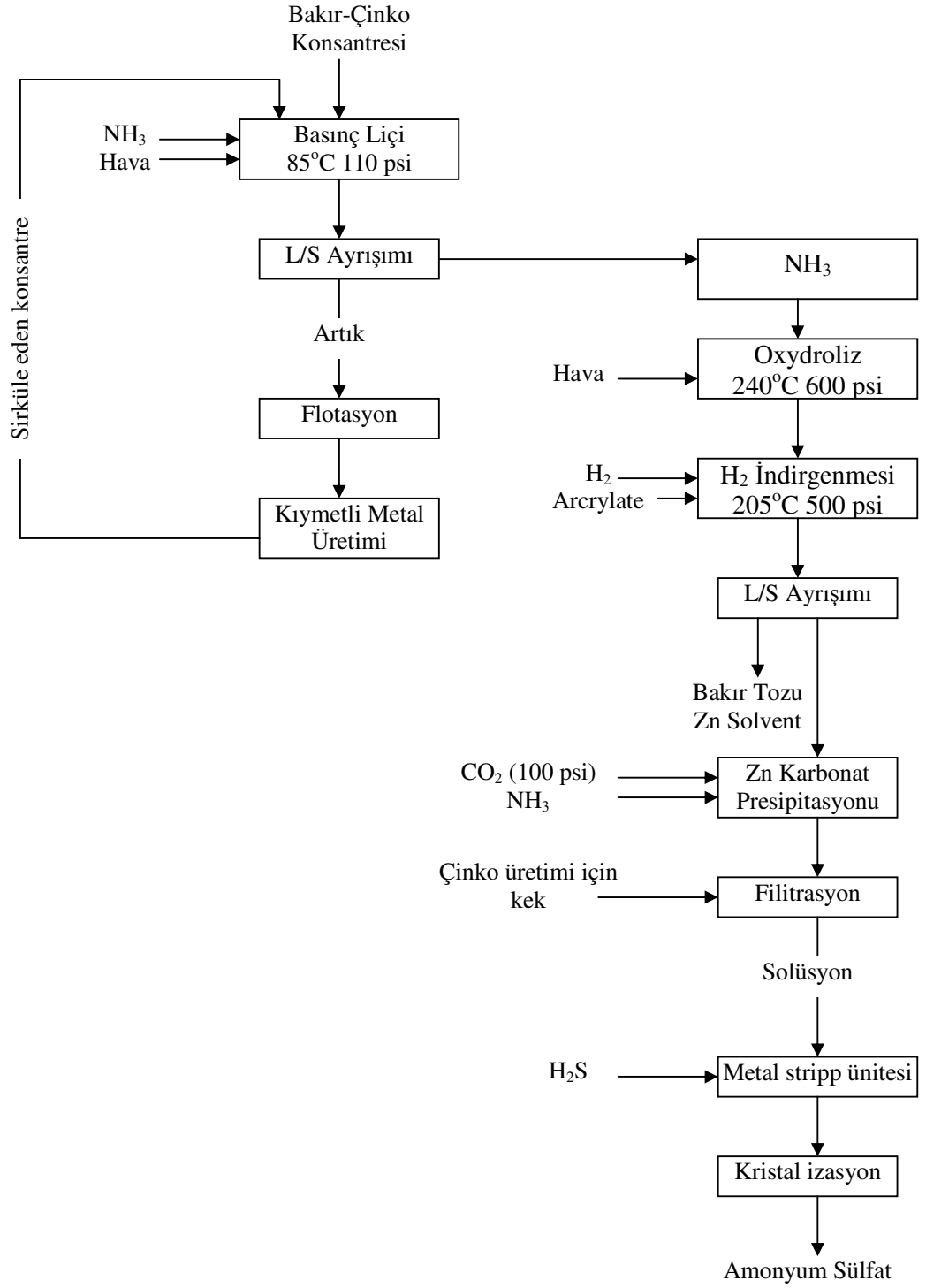
b. CLEAR prosesi:

CLEAR prosesinde kalkopirit konsantresi 107°C sıcaklıkta asidik bakır(II) klorür ve demir(III) klorür çözeltisi kullanılarak çözeltilmektedir. İki indirgeme adımı içeren bu proseste; birinci adımda kalkopirit kısmen çözeltilmektedir.

alınmakta, ikinci adımda çözelti fazındaki +2 değerlikli bakır sement bakır kullanılarak indirgenmekte ve çözeltilen bakır kazanımı da elektroliz yoluyla gerçekleştirilmektedir. Birinci indirgeme adımında çözeltilen kalkopirit on bölmeli bir reaktörde 150°C sıcaklık ve 344 kPa oksijen kısmi basıncında basınç liğine tabi tutulmaktadır. basınç liçi aşamasında oluşan kükürdün az bir kısmı sülfata dönüşmekte ve potasyum jarosit ( $KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$ ) olarak çökelmektedir. Oluşan kükürt, potasyum jarosit ve diğer katı fazların filtrasyon yoluyla ayrılmasını takiben +2 değerlikli bakır bakımından zengin çözelti birinci adıma gönderilerek tekrar devreye sokulmaktadır (Girgin ve Canbazoglu, 2001).

#### c. Sherritt Gordon Cominco prosesi:

Kalkopirit oldukça zor çözünen bir mineral olduğu için çeşitli aktivasyon işlemleri uygulanarak çözünürlüğünün artırılması yönünde çalışmalar yapılmıştır. bu tür araştırma sonuçlarına bağlı olarak geliştirilmiş proseslerden birisi de Sherritt Gordon Cominco prosesidir. Bu uygulamada kalkopirit konsantresi kavurma işlemine tabi tutularak  $Cu_5FeS_4$  ve FeS bileşiklerine dönüştürülmektedir. Kavurma işlemi sırasında fırının oksijen zengin üst kısmında  $SO_2$  gazı, indirgen özellikteki alt kısmında da  $H_2S$  gazı çıkışı olmakta ve üst akım gazları da elementel kükürde dönüştürülmektedir. Kavrulmuş malzeme üç ayrı adımda sırasıyla sülfirik asit, bakır(II) sülfat çözeltisiyle aktivasyon oksijen ortamında sülfirik asit liğine tabi tutulmaktadır. Birinci liç adımda çözeltilen demir, yükseltgenerek jarosit şeklinde çöktürülmekte ve doymuş liç çözeltisindeki bakır da elektroliz yoluyla kazanılmaktadır (Girgin ve Canbazoglu, 2001). Şekil 3'te bakır-çinko konsantrelerinin işlenmesi için geliştirilen akım şeması verilmiştir (Karahana, 1978).

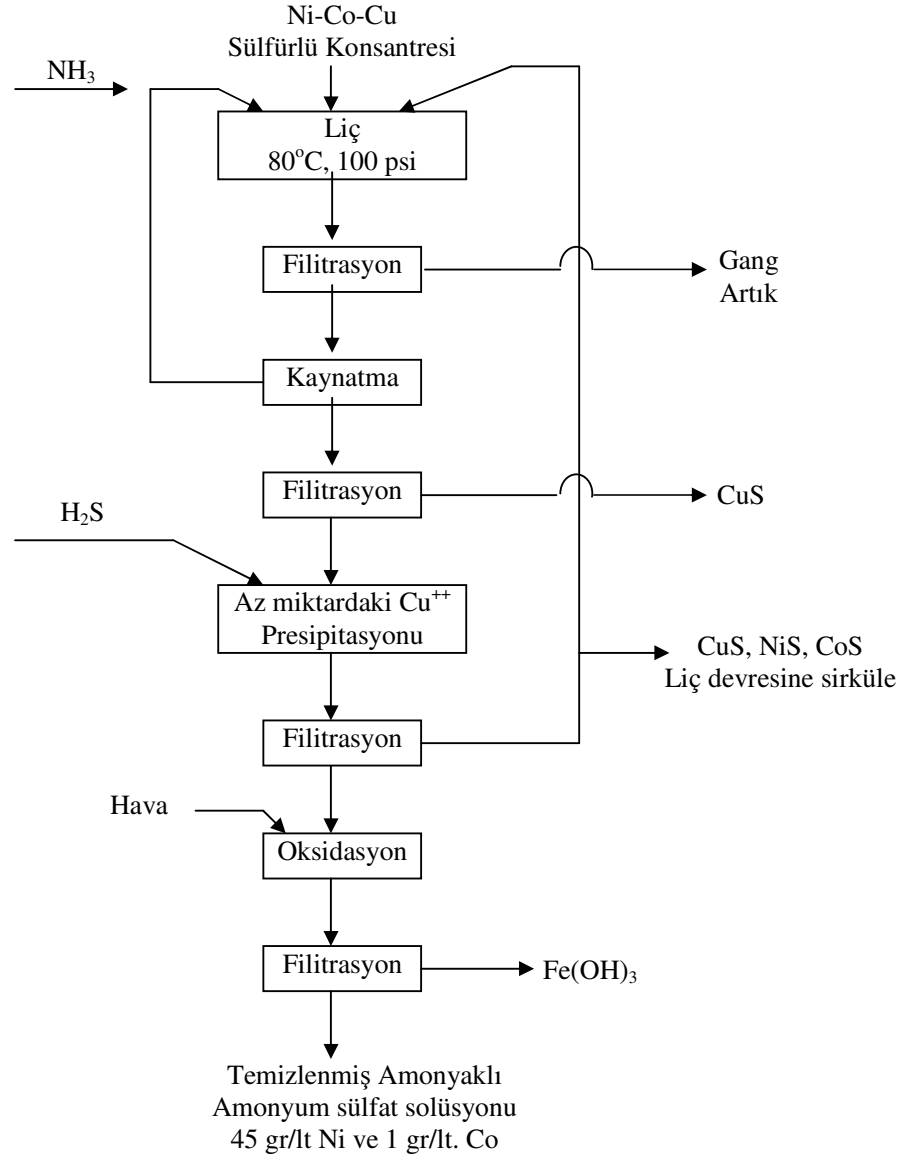


Şekil 3. Bakır ve çinko konsantresinin amonyakla liçi (Karahana, 1978).

Kalkopirit ve kalkozin konsantrelerine, oksijenli ortamda doğrudan basınç liçi uygulamaları da yapılmaktadır. Bu tür prosesler 105-110°C sıcaklık ve 138-172 kPa oksijen kısmi basıncında gerçekleştirilmektedir. Asidik liç çözeltisinin pH'ı 2,8 dolaylarına çıkarılarak demir çöktürülmekte ve çözeltiden metal kazanımı da elektroliz veya hidrojenle indirgeyerek yapılmaktadır (Girgin ve Canbazoglu, 2001).

Sülfürlü bakır konsantrelerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden bir başkası da yükseltgen ortamda amonyakla basınç liçi uygulamalarıdır. Bu prosesler,  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}$  kompleksi oluşumuna dayanmakta ve bu kompleksin en kararlı olduğu koşullarda çalışılması gerekmektedir. Bakır konsantrelerindeki minerallerin cinsine bağlı olarak ortamdaki amonyak derişimi yanında,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  derişimi de önemli olmaktadır. Araştırma sonuçları; kalkopirite kıyasla, diğer sülfürlü minerallerin daha düşük sıcaklık ve oksijen kısmi basıncında çözeltilmeye alınabileceğini göstermekte ve bu farklılık kalkopirit liçi sırasında hematit oluşumuna bağlanmaktadır (Girgin ve Canbazoglu, 2001).

Filtrasyondan sonra kalan bakır (yaklaşık 1gr/lt) otoklavda 130°C de  $\text{H}_2\text{S}$  ile çöktürülmektedir. Bu ikinci aşama çökelek bir miktar NiS de içermekte olup, liçe geri verilmektedir. Bu durum Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ni-Co-Cu sulfürlü konsantrelerinin basınç altında liç edilmesi (Sherritt-Gordon Prosesi) (Karahan, 1978)

#### d. Arbiter Prosesi

Anaconda tarafından geliştirilen Arbiter Prosesi Sherritt – Gordon prosesinin değişimine uğramış bir şeklidir (Şekil 5). Amonyak prosesi kullanılmakla beraber, yüksek basınç sistemde kullanılmamaktadır. Liç

aşamasında hava yerine oksijen kullanılmakta olup, pülp içinde oksijenin iyi bir şekilde dağılmış olması için özel karıştırma tekniği uygulanmakta ve henüz açıklanmayan yöntemlerle tepkime kontrol edilmektedir. Bakır, Solvent ekstraksiyon ve elektroliz yoluyla elde edilmektedir. Bununla beraber yüksek basınç liçinde olduğu gibi burada bakır ekstraksiyonu tam olmayıp, tepkimeye girmeyen bakırın artıktan flotasyon yoluyla elde edilmesi gerekmektedir.

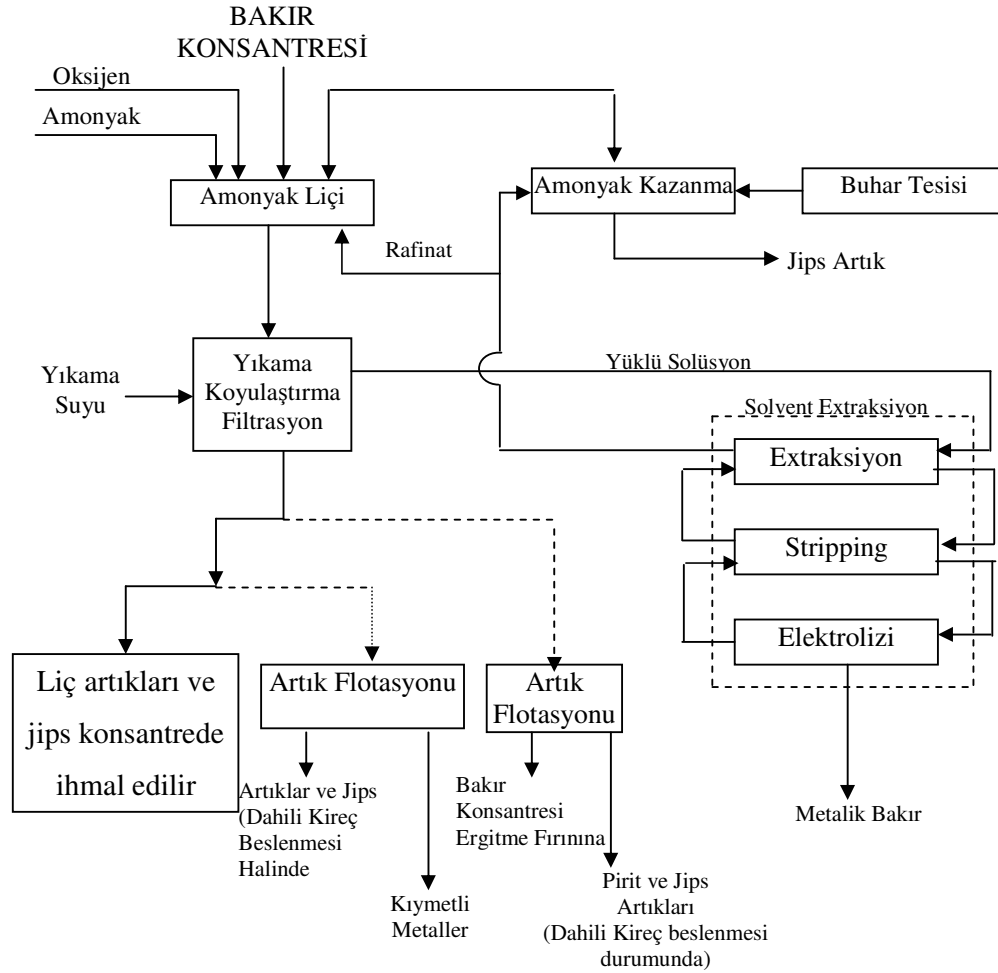
Prosesin en önemli güçlüğü amonyum sülfat veya amonyağın kireç nötralizasyonundan sonra elde edilmesidir.

Çok az sayıda metal amin kompleksleri yaptığından bütün amonyak liç prosesleri seçmeli olma kazancına sahiptirler. Seçme özelliği nedeni ile bakır konsantreleri ile bulunan demir liç çözeltilisine geçemez.

LIX kullanılan sıvı-sıvı ayırımında solvent daha yüksek oranda bakır yüklenebildiğinden amonyaklı ortam asit ortamından kazançlı olmaktadır.

Prosesin ekonomik olması açık bir şekilde ucuz oksijen, kireç ve bol miktarda amonyak bulunmasına bağlıdır.

Diğer bir kazanç da amonyak ortamda bakırın kupros olarak bulunması nedeniyle dolaysız elektroliz yapma olanağının doğmasıdır. Kupros bakırın kazanılmasındaki elektrik tüketimi kuprik bakır kazanılmasındaki elektirik tüketiminin %50 si kadar olmaktadır. Ayrıca sıvı- sıvı ayırma gereksinim olmamaktadır.



Şekil 5. Arbiter Prosesinin Basitleştirilmiş Akım Şeması (Karahan, 1978).

## 1.2. Bakır Curuflarının Zenginleştirilmesi

### 1.2.1. Bakır Curufları

Farklı orijinli bakır cevherlerinin işlenmesi sırasında elde edilen bakır curuflarının kimyasal bileşenleri Çizelge 3'te verilmiştir. Genel olarak, bakır curuflarındaki ana bileşenler %25-%50 oranlarında Fe ve SiO<sub>2</sub>'dir. Hemen bütün bakır curuflarında cevherin tenörüne bağlı olarak % 0,5 - %3,7 arasında bakır bulunmaktadır. Cevher içeriklerine göre curuflar, Co ve/veya Ni içerirken, bazı bakır curufları da toksik elementlerden As ve ağır metallere Pb içermektedir (Kulaksız, 2004).

Çizelge 3. Bakır Curuflarının Kimyasal Bileşenleri (Kulaksız, 2004)

% Element	Curuf 1	Curuf 2	Curuf 3	Curuf 4	Curuf 5	Curuf 6	Curuf 7
Cu	2,6	0,58	3,7	1,22	2,75-3,3	20,7	0,6-3,2
Co	0,36	0,21	Kayıt yok	0,5-0,7	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok
Ni	0,045	0,57	Kayıt yok	Kayıt yok	0,9-1,2	Kayıt yok	Kayıt yok
Ag	Kayıt yok	Kayıt yok	2,0	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok
Pb	Kayıt yok	Kayıt yok	0,18	Kayıt yok	Kayıt yok	1,33	Kayıt yok
Zn	0,425	Kayıt yok	0,44	Kayıt yok	Kayıt yok	11,35	Kayıt yok
Fe	52,0	38,6	49,99	32,24	45,48	Kayıt yok	32,7-37,3
SiO <sub>2</sub>	Kayıt yok	Si:17,40	22,45	Kayıt yok	24,0-26,0	Kayıt yok	32,5-37,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kayıt yok	Al:2,51	1,14	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	2,4-4,0
CaO	Kayıt yok	Ca:1,11	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	1,8-7,5
MgO	Kayıt yok	Mg:1,65	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	1,6-4,0
Mn	Kayıt yok	0,03	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok
Ti	Kayıt yok	0,15	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok
S	4,90	0,93	1,56	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	0,5-1,0
As	Kayıt yok	Kayıt yok	0,05	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok	Kayıt yok

Curuf 1: Konverter curuflar Ergani Bakır İşl. Türkiye (Altındoğan ve Tümen, 1997)

Curuf 2: Sudbury'de INCO flash fırın yavaş soğutmalı curufu, Ontario, Kanada (Gbor ve diğ., 2000)

Curuf 3: Mount Isa konverter bakır curufları, Avusturalya (Barnes ve diğ., 1993)

Curuf 4: Refimet Division reverber curufları, Chile (Herrerros ve diğ., 1998)

Curuf 5: Ghatsila bakır bölgesi konverter curufu, Hindistan (Rao ve Nayak, 1992)

Curuf 6: El Maady İşl. Yüksek fırın curufu, Cairo, Mısır (Basir ve Rabah, 1999)

Curuf 7: Çekoslovakya bakır curufları (Vircikova ve molnar, 1992)

Diğer curuflar, yakma curufları (Inccineration slug) olarak da adlandırılmaktadır. Miktar olarak giderek artış göstermektedir. Kömürün yakılması sırasında, oluşan baca gazlarında bulunan, kıymetli elementler içeren küller, bu sınıflandırmada yer almaktadır (Kulaksız, 2004).



### 1.2.1.1. Flotasyonla Değerlendirme Yöntemleri

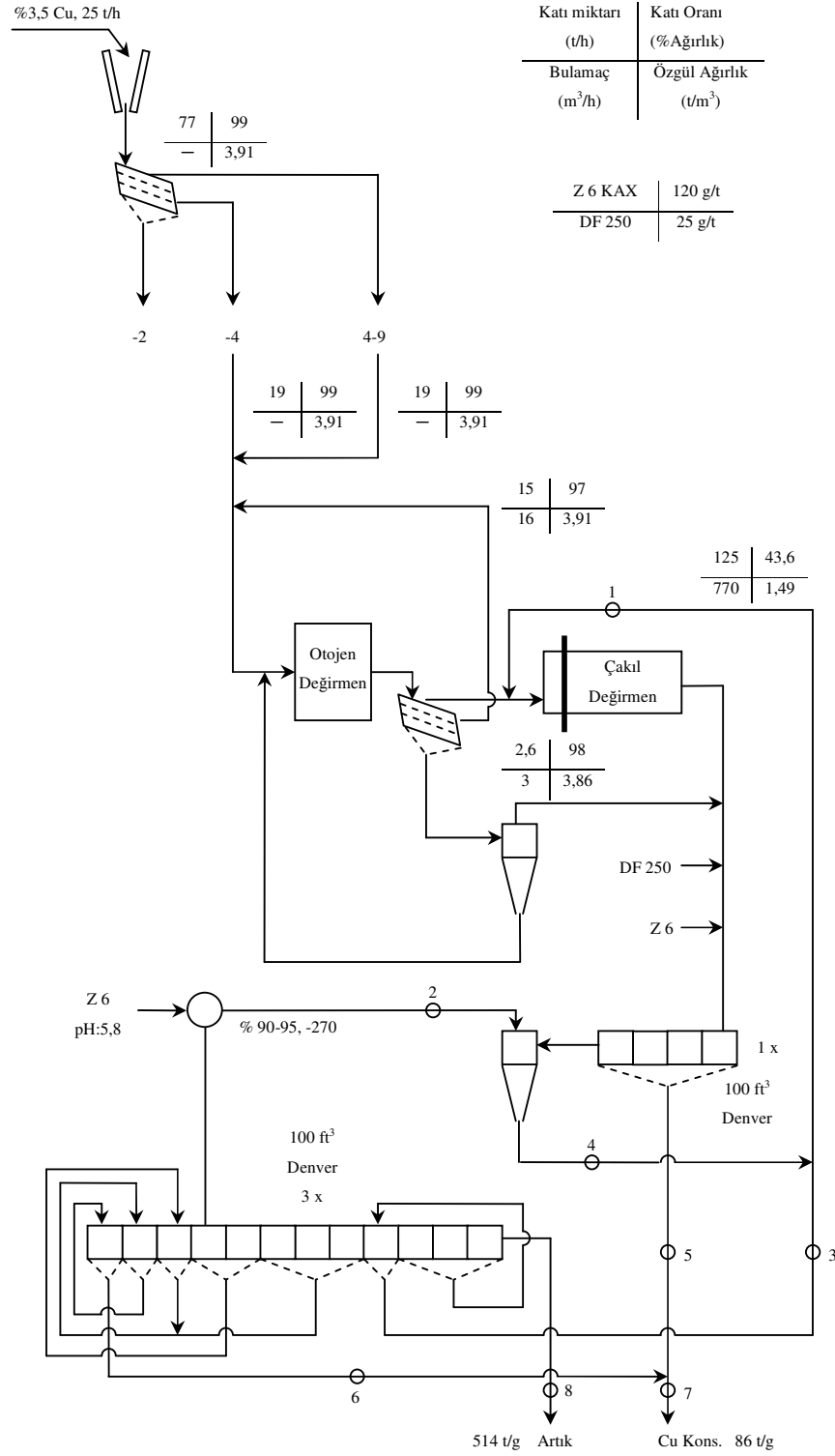
Reverber veya flash ergitme fırınlarında, izabede mat ve curuf oluşumu sırasında bakır kaybı kaçınılmazdır. Curuf soğuduğunda, bünyesindeki tüm bakır, bakır-demir sülfatları şeklindedir. Konverterlerde curufa geçen bakır, reverber fırınlardakine oranla daha fazladır. Bununla beraber, konverter curuflarının sülfür içeriği düşüktür ve neredeyse tüm bakır, metal parçacıkları şeklindedir (Kulaksız, 2004).

Konverter curuflar, bünyesindeki bakırın kazanımını sağlamak amacı ile bir döngü şeklinde reverber fırına gönderilirler. Bakırın curuflarından en iyi kazanımı özel elektrik fırınlarında tekrar ergitilmesiyle veya öğütme sonrası flotasyonla sağlanır. Her iki yöntem de halen curuf temizlenmesinde kullanılmaktadır.

Türkiye Karadeniz Bakır İşletmeleri'nin (KBİ) flash izabe blister bakır üretimi sırasında oluşan curufların flotasyon uygulamaları uzun yıllardır yapılmaktadır (Aytekin, 1984).

KBİ'nde flotasyon tesisine beslenen curuf %3,5 bakır tenörlüdür. Çeneli kırıcıda kırılan ürün çift katlı eleğe verilmekte, yaklaşık 2 inç, 4 inç 4-9 inçlik gruplara ayrılmaktadır. Yataklık olarak tabir edilen 2 inçlik ürün kademeli olarak bilyeli değirmende öğütülmekte ve flotasyona tabi tutulmaktadır. Flotayonda köpürtücü olarak Dam Froth 250 ve kolektör olarak Zet 6 tabir edilen KAX kullanılmaktadır. 3 kademeli flotasyon işlemi sonucunda %18 tenörlü 89 ton bakır konsantresi/gün ve 514 ton/g artık üretilmektedir. Tesisin kapasitesi 25 ton/saat olarak belirlenmiştir (Kulaksız, 2004).

Şekil 6'da görüldüğü gibi yataklık dışı iki ürün birleştirilerek otojen değirmene beslenmektedir. Otojenden çıkan ürün 3 katlı eleğe beslenmekte ve en iri kısım ise çakıllı değirmene beslenmektedir. Çakıllı değirmen ürünü ayrı bir flotasyon selülünde zenginleştirilerek, bakır konsantresi üretilmektedir. Flotasyondaki artık kısım bir siklonlama işlemine tabi tutularak, iri kısım öğütme devresine, ince kısım ayrı bir flotasyon devresine verilmektedir. Değişik flotasyon aşamalarından sonra nihai bakır konsantresi üretilmektedir.



Şekil 6. KBİ- Samsun curuf flotasyon devresi (Aytekin, 1984)

### 1.2.1.2. Asit Liçingi

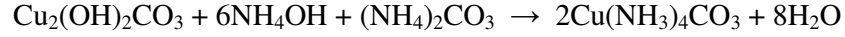
Arslan ve arkadaşları (2002) tarafından Karadeniz Bakır İşletmeleri flotasyon ünitesine beslenen %2,64 Cu tenörlü konverter ve flash fırın bakır curufu karışımı üzerinde kavrulmuş ürünlerin liçingi çalışmaları yapılmıştır (Curuf içerisindeki bakır, bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), ferrit ve metalik formda bulunmaktadır). %80 i 0,1 mm altına geçecek şekilde öğütülen numune değişik oranlarda asitle etkileştirilerek, farklı sıcaklıklarda asidik kavurmaya tabi tutulmuş ve su ile liç edilmişlerdir. En yüksek metal kazanımı  $150^\circ\text{C}$  deki kavurma sıcaklığında sağlanmış 2 saatlik kavurma süresi sonunda Cu %88, Co %87, Zn %93 ve Fe %83 olarak bulunmuştur. Sürenin artırılması Co, Zn, Fe nin çözünürlüğünü düşürürken, 4 saatlik kavurma süresi sonunda bakır çözünürlüğü %95 e çıkmıştır (Kulaksız, 2004).

Ziyadanoğulları (2000), sülfatlayıcı kavurma + su liçi yöntemini kullanmıştır. Bu kapsamda %2,4 Cu, %0,38 Co, %50,3 fe ve %2,92 S içeren konverter curuflarına oldukça düşük bir sıcaklıkta;  $130^\circ\text{C}$  de kapalı bir sistemde 1 saat süreyle sülfürizasyon uygulamıştır. ((6,1 g  $\text{H}_2\text{S}$  + 25 g  $\text{H}_2\text{O}$ )/100 g curuf)). Daha sonra  $600^\circ\text{C}$  de 6 saat süreyle kavurmaya tabi tutarak bakiyeyi suda çözüdülmüştür. Liç verimleri %99,2 Cu ve %98,8 Co olarak belirlenmiştir.

### 1.2.1.3. Amonyak liçingi

Sülfürik asit, oksitli bakır cevherleri için yaygın kullanılan bir liçing reaktifidir. Cevherin özelliklerine bağlı olarak asit tüketiminin, liç edilmiş ton Cu başına 0.4 ile 0.7 ton  $\text{H}_2\text{SO}_4$  aralığında değiştiği bilinmektedir. Sodyum hidroksit, kireç ve amonyak yaygın olarak kullanılan bazik liçing reaktifleri arasındadır. Amonyak liçinginin ilk kez Kennecott Plant-Alaska da kullanılması, kullanılan bakır cevherinin kireçtaşı-dolomit gangli ve asitte çözünebilir karbonatlar içermesi ve dolayısıyla asit liçingde asit tüketiminin oldukça yüksek olması nedeniyledir

Malahit,  $\text{NH}_4\text{OH}/(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  çözeltilisinde kararlı bakır (II) tetra amin kompleksi oluşturarak çözünür. Malahit için amonyak liç tepkimesi aşağıdaki gibi tanımlanır.



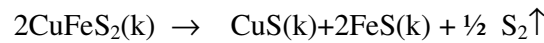
Amonyum hidroksit ve amonyum karbonat karışımı, genellikle hidroksitin iyonlaşmasını azaltmak için kullanılır.  $\text{H}^+$  ve  $\text{OH}^-$  amonyak yada amonyum iyonu ile nötralleşir ve çözeltili pH 1,  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  in kararlı olduğu bölgede tampon etkisinin bir sonucu olarak sabit kalır.

Amonyak çözeltilisi ve diğer liçing reaktifleri bakır oksitlerin liçinginde kullanılabilir. Çeşitli metal iyonları (özellikle geçiş metalleri), kompleksleşme reaktifi ile bakır (II) tetra amin kompleksi gibi kararlı metal-kompleks iyonları oluşturur. Amonyak liçingi, çözünür aminler oluşturan Cu, Ni, Co, Zn ve Cd gibi metaller için özellikle daha fazla kullanılır. Bu metaller, amonyak-amonyum karbonat ya da amonyak-amonyum sülfat çözeltilerinde havanın da varlığında çözünebilirler. Bir oksit yada karbonat çözüldüğü zaman metalin yükseltgenme basamağı normalde değişmediği için oksit/karbonat minerallerinin liçinginde yükseltgenme koşullarına gereksinim bulunmamaktadır. Malahitin amonyakta çözünmesi ise yukarıdaki tepkimede verilmiştir. Burada çözeltili pH'ı, tampon etkisinin bir sonucu olarak  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  nin kararlı olduğu aralıkta tutulmaktadır.

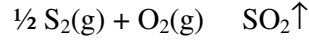
## 1.2.2. Kavrulmuş Ürünlerin Amonyak Liçingi

### 1.2.2.1. Kavurma

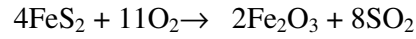
Canbazoğlu (2003), sülfürlerin izabe öncesi kavrulmasını aşağıdaki gibi önermektedir.



Reaksiyonlar sırasında serbest kalan kükürt havanın oksijeni ile yükseltgenerek (SO<sub>2</sub>)'ye dönüşür.



Kavurma yapılırken yanan kükürdün büyük kısmı demir sülfürlere aittir. Pirit ile kalkopiritin tam yükseltgenme reaksiyonları aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Kavurma işlemi ile, kükürdünün bir kısmı uçurulmuş ve bir kısım demiri yükseltgenmiş ürüne kalsin (calcine) denir. Bu üründeki bakırın kükürde oranı matın (xCu<sub>2</sub>S.yFeS) tenörünü belirler. Bilindiği üzere, ergimiş haldeki bakır sülfür ve demir sülfürler birleşerek matı oluştururlar (Canbazoglu, 2003).

#### 1.2.2.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi

Bakır curufların içerisindeki metalleri sahip oldukları kristal yapıdan farklı formlara dönüştürerek curuftan ayrılması kavurma ile sağlanmaktadır.

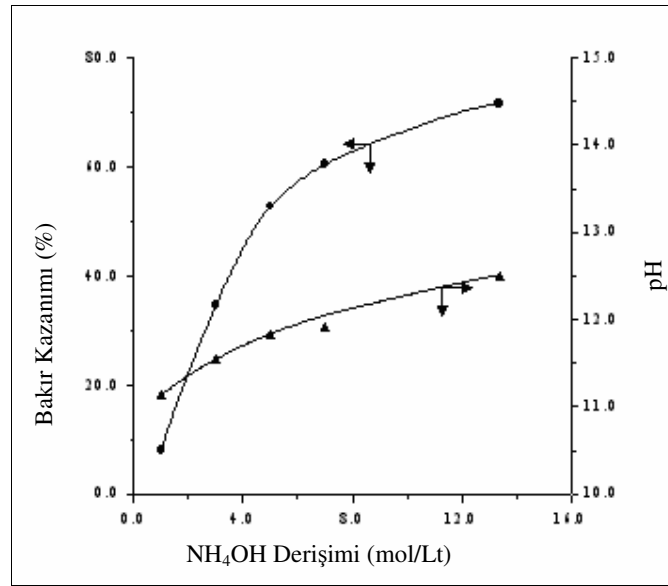
Birinci yol indirgeyici kavurmadır. Curuf içerisinde çeşitli formlardaki metallerin, serbest metallere indirgenmesini sağlayarak flotasyon veya liçing işlemleriyle metallerin curuftan kazanılmasını kolaylaştırmaktadır (Kulaksız, 2004).

Curuflardan bakır kazanımında, sülfürlü yapıyı kavurma işlemi ile parçalayarak oluşan kavrulmuş üründen liçing araştırmaları yapılmıştır.

#### 1.3. Amonyak Liçi Koşullarının Saptanması Çalışmaları

Bakır üretiminde kullanılan başlıca bakır oksit mineralleri (azurit (Cu<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), malahit (Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), tenorit (CuO) and krisokolla (CuSiO<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O)) olup bu mineraller de bakır iki değerliklidir ve oda sıcaklığında hem asit, hem de bazik ortamda liçing ile tamamen çözünür.

Oksitli bakırların liçinginde amonyak liçi detaylı olarak Canbazoğlu ve diğ. (2006) tarafından araştırılmıştır. Bu parametrelerin ışığında amonyak liçing ortamı belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında malahitin çözünmesine amonyum hidroksit derişiminin ve pH etkisi incelenmiştir ve Şekil 7' de verilmiştir.

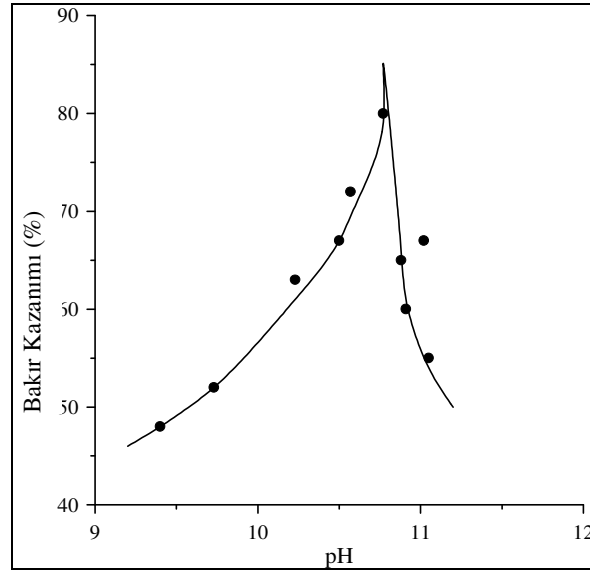


Şekil 7. NH<sub>4</sub>OH derişiminin bakır kazanımı ve pH üzerine etkisi (Canbazoğlu ve diğ., 2006)

Bakır kazanımı, amonyum hidroksit derişiminin ve amonyum karbonat derişiminin etkisi incelendiğinde malahit çözünmesinin, amonyak derişimi ile arttığı görülmektedir. Bu artış 5M NH<sub>4</sub>OH e kadar hızlıdır ve daha sonra azalmaktadır. Bununla birlikte bu artış incelenen aralıkta (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> için süreklidir. Örneğin malahit çözünmesi 1M NH<sub>4</sub>OH ile % 7 iken 13.4M NH<sub>4</sub>OH ile % 72 olmaktadır (Şekil 2). Diğer taraftan bakır kazanımı 0.1M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> da % 2 iken 2M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> için % 36 ya ulaşmaktadır. NH<sub>4</sub>OH derişimi 1 den 13.4 M a arttığında, çözeltinin pH'ı da 11.8 den 12.5 e yükselmektedir. (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişimi 0.1 den 2 M a yükseltildiğinde ise pH, 9 dan 8.5 e düşmektedir. pH,

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  derişiminin artmasıyla düşerken  $\text{NH}_4\text{OH}$  derişiminin artmasıyla yükselmektedir.

Amonyak liçinginde pH ın bakır kazanımına etkisi, değişik  $\text{NH}_4\text{OH}$  +  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  derişimleri için Şekil 8’de verilmiştir. En yüksek bakır kazanımına (% 80) pH 10.8 e ulaşılmaktadır. Bakır kazanımı daha yüksek pH değerlerinde giderek azalmaktadır (Canbazoğlu ve diğ. 2006).



Şekil 8. pH'ın bakır kazanım üzerine etkisi (Canbazoğlu ve diğ., 2006)

Bu çalışmalar sonucunda atmosferik koşullarda oksitli bakır cevherlerinin liçinginde 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  + 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  karışımının uygun amonyak karışımı olduğu belirlenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılmak üzere, Karadeniz Bakır İşletmeleri tarafından sağlanan yaklaşık 40 kg curuf flotasyon tesisi artığı malzeme, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'na getirilmiştir. Gelen malzeme ile ilgili mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları ile bu malzemenin deneylere hazırlanma yöntemi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

#### 2.1.1. Mineralojik Bileşimi

1998 yılında İ.T.Ü Maden Fakültesi'nde yapılan flotasyon tesisi artıklarının mineralojik analizinde oran verilmemekle birlikte aşağıdaki minerallerin varlığı vurgulanmaktadır. Bu mineraller: [Fayalit ( $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ), manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), kovellin ( $\text{CuS}$ ), kalkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ), kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), florit ( $\text{CaF}_2$ ), Kaolen ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), apatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl})(\text{OH})$ ), andezin ( $\text{Na}, \text{Ca}$ )  $\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$ ), elementer bakır ( $\text{Cu}$ ) dur (Kulaksız, 2004)].

Üzerinde çalışılan KBİ flotasyon tesisi artığının da benzer mineralojik özellikler taşıdığı düşünülmüştür. Artıkta başlıca mineraller fayalit, manyetit ve silisyum olduğu varsayılmıştır.

#### 2.1.2. Kimyasal Bileşimi

Flotasyon tesisi artığının belirlenen bakır içerikleri, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile belirlenmiş, bakır tenörü %1,69 Cu olarak bulunmuştur.

#### 2.1.3. Deneylere Malzemenin Hazırlanması

Numune, laboratuvar ortamında kaba nemi uzaklaştırıldıktan sonra, kareleme-dörtleme metoduyla 3,5 - 4 kg a indirilmiştir. Karelaj yöntemiyle 200 g



numune alınmış ve elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde, 200, 150, 125, 106, 75, 45  $\mu\text{m}$  lik elekler kullanılarak kuru eleme yöntemi uygulanmıştır. Elek analizi sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir. Bir diğer 200 g lık numune kimyasal analiz ve XRD analizleri için halkalı öğütücüye verilmiş, -45  $\mu\text{m}$  ye kadar öğütülmüştür. Ana numune, orijinal boyutuyla şişeli bölücü tarafından 25 er gramlık kısımlara ayrılarak poşetlenmiştir. Elek analizi sonuçları, söz konusu flotasyon artığı numunesinin % 80 nin 106 ( $\mu\text{m}$ ) nin altında olduğunu göstermektedir

Çizelge 4. Elek Analizi Sonuçları

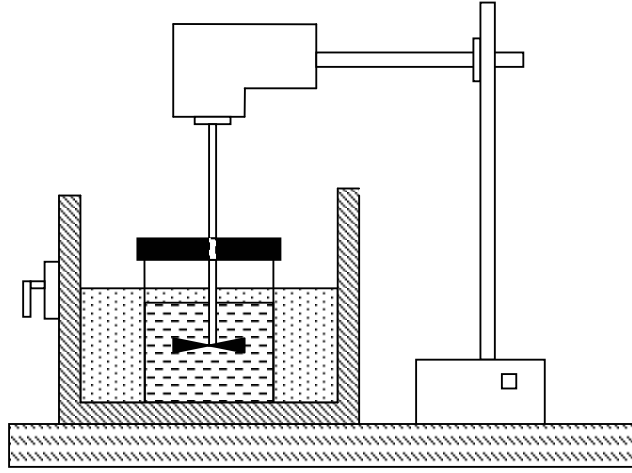
Tane Boyu ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık (%)	% Kümülatif Elek Altı	% Kümülatif Elek Üstü
+200	0,84	100	0,84
-200 + 150	3,14	99,16	3,98
-150 + 125	5,33	96,02	9,31
-125 + 106	9,98	90,69	19,29
-106 + 75	38,19	80,71	57,48
-75 + 45	32,57	42,52	90,05
-45	9,95	9,95	-
	100		

## 2.2. Yöntem

K.B.İ. curuf flotasyonu tesis artıklarında liçing yöntemiyle bakırın kazanılmasına yönelik yapılan bu çalışmada, numunenin elek analizi sonuçlarına göre, tane boyunun % 80’i nin 106 ( $\mu\text{m}$ ) altında olmasından dolayı, liçing parametrelerinin incelendiği deneylerde (tane boyunun etkisinin incelendiği deneyler hariç) daha ince tane iriliğine öğütme düşünülmemiş, orijinal tane boyutunda çalışma uygun görülmüştür.

Liçing işlemi 250 ml ve 500 ml lik beherlerde yapılmıştır. Beher üzerine bir kauçuk kapak yerleştirilerek, termometre, pH metre ve geri soğutucunun girişi için uygun delikler açılmıştır. Karıştırıcı olarak IKA-WERK tipi dijital göstergeli plastik kaplı pervane kullanılmıştır. Karıştırıcının reaksiyon kabına girişi kapağın ortasında açılan delik sayesinde sağlanmıştır. Reaksiyonun gerçekleştiği kabın

ısıtılması, sıcaklığı ayarlanabilir su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzeneği Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Su banyosu kullanılarak yapılan çalışmaların deneysel düzeneği

Çalışma iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde optimum koşulları belirlemek amacıyla doğrudan amonyak karışımı liçi deneyleri yapılmıştır. Deneylerde liç reaktifi olarak daha önce belirlenen 5M  $\text{NH}_4\text{OH}+0,3\text{M} (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  amonyum hidroksit ve amonyum karbonat karışımı kullanılmıştır. Bu kapsamda liç süresi, karıştırma hızı, sıvı/katı oranı, tane boyu ve sıcaklık parametreleri incelenmiştir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar ikinci bölümde optimum koşul olarak kullanılmıştır.

Liç işlemleri sonucunda karışım süzülmüş, süzüntüden alınan örneklerde AAS ile bakır tayini yapılmıştır. Bu işlem iki grup çalışmada da yürütülmüştür. Sadece kavrulmuş ürünlerin liçinginden de liçing sonrası, süzme işlemi yapılarak elde edilen artık, kurutulup tartıldıktan sonra liçing işleminde meydana gelen ağırlık kaybı belirlenmiştir.

İkinci bölümde numuneler kavrulmuş ve kavrurma ürünlerine liç işlemi uygulanmıştır. Kavrurma işlemi, dikdörtgen prizma, seramik potalarda gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan kavrulma işlemi gerçekleştirilmiştir. Liç işlemi ise iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşama

deneylerinde su liç reaktifi olarak kullanılmış, ikinci aşama deneylerinde ise amonyum hidroksit ve amonyum karbonat karışımı liç reaktifi olarak kullanılmıştır. Deney sonunda ulaşılan pH değerleri de takip edilmiştir. Yine bu grup çalışmalarda da AAS ile çözeltiden bakır analizi yapılmıştır.

### 3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

KBİ curuf, flotasyon artıklarından bakır kazanımı amacıyla, birinci işlem olarak  $\text{NH}_4\text{OH}+(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  liçi, ikinci işlem olarak ta doğrudan kavurma işlemi yapılarak kavrulmuş ürün (kalsin) üzerinde su ve  $\text{NH}_4\text{OH}+(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  ile liç işlemleri ayrı ayrı yapılmıştır.

#### 3.1. Amonyak Liçi

5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  karıştırılarak hazırlanan amonyaklı ortamda liçing deneyleri 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}+0,3$  M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  liçi dahilinde optimum koşulların belirlenmesi amacıyla karıştırma hızı, liç süresi, sıvı/katı oranı, sıcaklık, tane boyu parametreleri incelenmiştir.

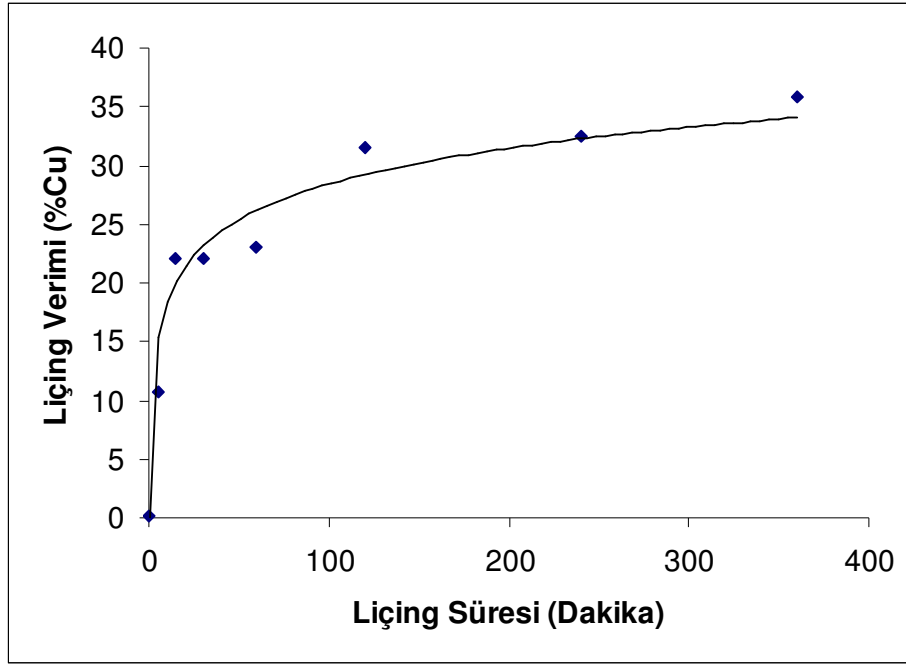
##### 3.1.1. Liçing Süresinin Belirlenmesi

Optimum sürenin belirlenmesi amacı ile 5, 15, 30, 60, 120, 240 ve 360 dakikalık sürelerde liçing deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te ve Şekil 10'da verilmiştir.

#### Çizelge 5. Liçing Süresinin Bakır Kazanımına Etkisi

(Amonyak derişimi: 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  , sıcaklık: 22°C, katı/sıvı:1/5 g/ml, karıştırma hızı:300 dev/dak, numune miktarı:20g)

Liçing süresi (dakika)	Liçing Verimi (% Cu)
5	10,76
15	22,09
30	22,16
60	23,11
120	31,49
240	32,47
360	35,82



Şekil 10. Liç süresinin bakır kazanımına etkisi

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bakır kazanımının liçing süresine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Liçing süresine bağlı olarak çözünen bakır miktarı artmaktadır. 15 dakikalık liçing süresi sonunda çözünen bakır % 22,09 Cu, 120 dakika liçinginde % 23,96 Cu, 360 dakika liçinginde %35,82 Cu dır. 120 dakika diğer parametrelerin incelenmesinde liçing süresi olarak seçilmiştir.

### 3.1.2. Karıştırma Hızının Etkisi

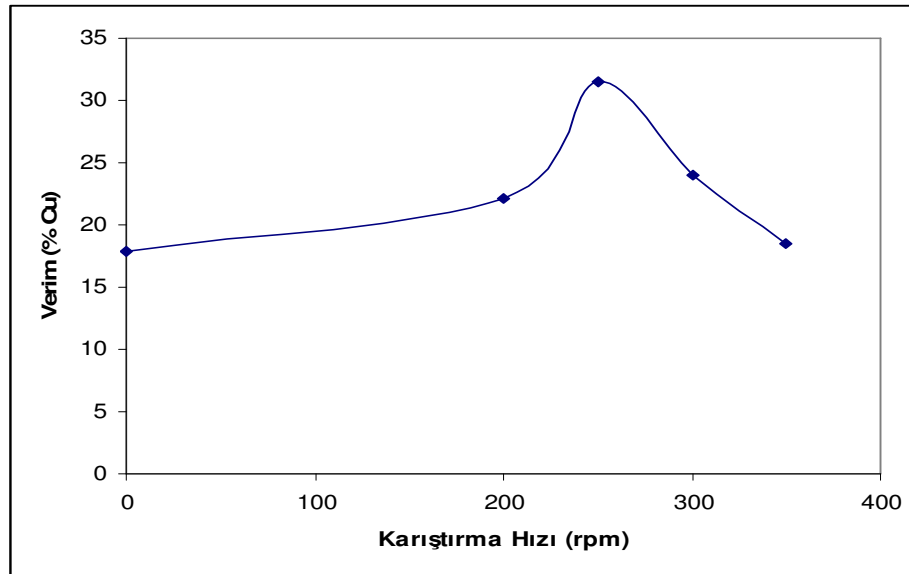
Optimum karıştırma hızı 120 dakika liçing süresinde 0, 200, 250, 300, 350 dev/dak lara ayarlanmış ve ayrı ayrı yapılan deneylerde incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 6'da ve Şekil 11'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi karıştırma hızının 250 dev/dak kadar olan bölümünde bakır kazanım veriminde bir artış gözlenirken, 250 dev/dak dan sonra bir düşüş gerçekleşmiştir. Buna göre hiç karıştırma yapılmadan % 17,89 bakır çözünürken 250 dev/dak'da % 31,49 Cu çözünmesi ile optimum değere ulaşılmaktadır. Daha yüksek karıştırma hızlarında

bakır verimi düşmektedir. (350 dev/dak da % 18,56 Cu verimi) Daha sonra yapılan araştırmalar için karıştırma hızı olarak 250 dev/dak seçilmiştir.

**Çizelge 6. Karıştırma Hızının Bakır Kazanımına Etkisi**

(Amonyak derişimi: 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , sıcaklık: 22°C, karıştırma süresi: 120 dakika, katı/sıvı: 1/5 g/ml, numune miktarı: 20g)

Karıştırma hızı (dev/dak)	Verim (% Cu)
0	17,89
200	22,16
250	31,49
300	23,96
350	18,56



şekil 11. Karıştırma hızının bakır kazanımına etkisi

Düşük karıştırma hızı, cevher taneciklerine çözeltilerin difüzyonunu azaltırken daha yüksek karıştırma hızları ise, ortamda türbülans oluşturarak taneciklerin çözeltilerindeki hareket yeteneğini düşürmekte, dolayısıyla metal kazanımında verim düşüşüne neden olmaktadır (Kulaksız, 2004).

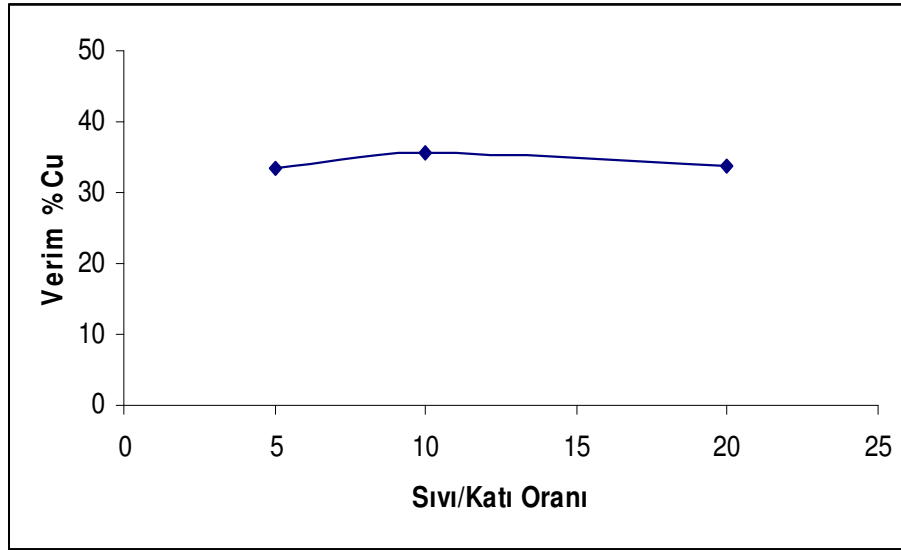
### 3.1.3. Sıvı/Katı Oranının Etkisi

22 °C de 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  derişimde, 250 dev/dak karıştırma hızında, 120 dakika süreyle yapılan 2,5; 5; 10 sıvı/katı oranındaki deneylerde sıvı miktarı sabit tutulmuştur. Katı miktarı ise istenilen orana göre değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 7 ve Şekil 12’de verilmiştir.

Çizelge 7. Sıvı/Katı Oranının Bakır Kazanımına Etkisi

(Amonyak derişimi: 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , sıcaklık: 22°C, süre: 120 dakika, karıştırma hızı: 250 dev/dak, numune miktarı:20g)

Sıvı/Katı oranı	Verim (% Cu)
20/1	33,69
10/1	35,50
5/1	33,49



Şekil 12. Sıvı/katı oranının bakır kazanma verimine etkisi

120 dakikalık liçing süresi sonunda sıvı/katı oranı 5/1 de %31,49 Cu, 10/1 de %35,50 Cu ve 20/1 de %33,69 Cu bakır çözünmesinin gerçekleştiği gözükmektedir. Buna göre sıvı/katı oranı arttıkça kısmi bir artış sağlanmaktadır. Ancak bu artış çok yüksek değildir. Diğer parametrelerde, sıvı/katı oranı olarak 5/1 seçilmiştir.

#### 3.1.4. Sıcaklığın Etkisi

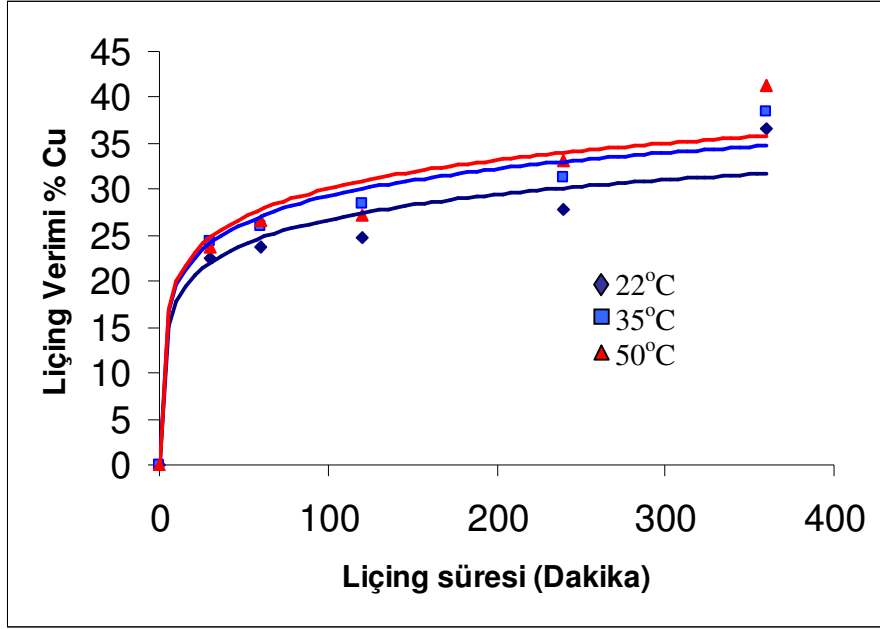
Bu parametrenin incelenmesinde, 22, 35 ve 50 °C lerde 30, 60, 120,240,360 dakikalarda liçing işlemi uygulanmış, bakırın çözeltiliye alınma verimleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8 ve Şekil 13'te gösterilmiştir.

Çizelge 8. Liçing Sıcaklığının Bakır Kazanımına Etkisi

(Amonyak derişimi: 5 M NH<sub>4</sub>OH ve 0,3 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> , karıştırma hızı: 250 dev/dak, katı/sıvı:1/5 g/ml, numune miktarı:20g)

Liçing Sıcaklığı (°C)	Liçing Süresi (Dakika)	Liçing Verimi (%Cu)
22	30	22,49
	60	23,67
	120	23,96
	240	27,81
	360	36,69
35	30	24,26
	60	26,04
	120	28,40
	240	31,36
	360	38,46
50	30	23,67
	60	26,63
	120	27,22
	240	33,14
	360	41,42





Şekil 13. Liçing Sıcaklığının bakır kazanımına etkisi

Liçing sıcaklığı arttıkça bakır çözünmesi artmaktadır. 360 dakika liçing sonunda bakırın 22 °C de % 36,69 Cu; 35 °C de %38,46 Cu ve 50 °C de % 41,42 Cu çözümlenmektedir.

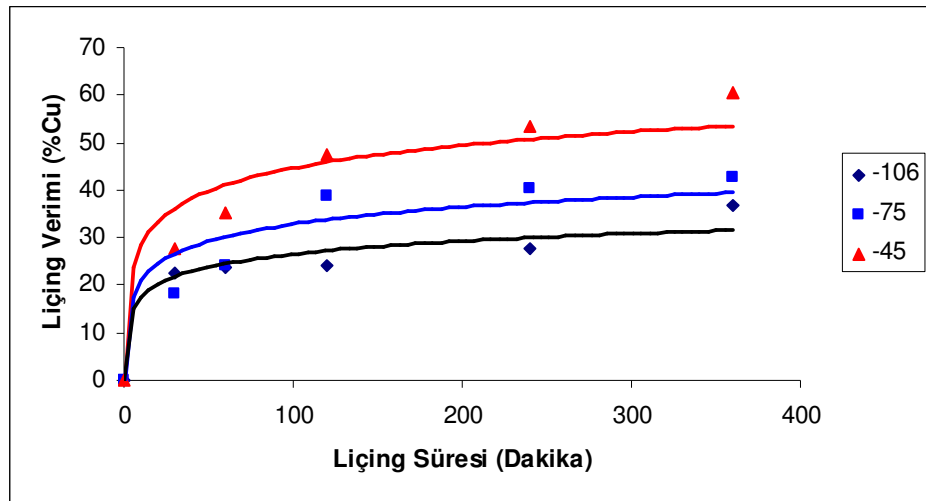
### 3.1.5. Tane Boyunun Etkisi

Elek analizi sonuçları (Çizelge 5) çalışılan malzemenin %80'inin 106µm nin altında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle tane boyunun etkisi incelenirken üç farklı tane boyunun etkisi incelenmiştir. Bunlar -45 µm, -75µm ve orijinal tane boyudur. Deneyler, oda sıcaklığında ve 30, 60, 120, 240, 360 dakika olmak üzere beş farklı sürede incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 9 ve Şekil 14'te verilmiştir.

Çizelge 9. Tane Boyunun Bakır Kazanımına Etkisi

(Amonyak derişimi: 5M NH<sub>4</sub>OH ve 0,3 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> , karıştırma hızı: 250 dev/dak, sıcaklık: 22°C, katı/sıvı:1/5 g/ml, numune miktarı:20g)

Tane Boyu (µm)	Liçing Süresi (Dakika)	Liçing Verimi (%Cu)
Orijinal	30	22,49
	60	23,67
	120	23,96
	240	27,81
	360	36,69
-75	30	18,11
	60	24,18
	120	38,86
	240	40,42
	360	42,82
-45	30	27,74
	60	35,05
	120	47,29
	240	53,33
	360	60,49



Şekil 14. Tane boyunun bakır kazanma verimine etkisi

Deneylerde tane boyunun etkisi oda sıcaklığında 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  ile incelenmiştir. Tane boyutu küçüldükçe çözünen bakır verimi artmaktadır. Buna göre 360 dakika liçing süresi sonunda  $-106 \mu\text{m}$  de % 36,69 olan bakır çözünmesi  $-45 \mu\text{m}$  da % 60,49 a yükselmektedir.

### 3.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi

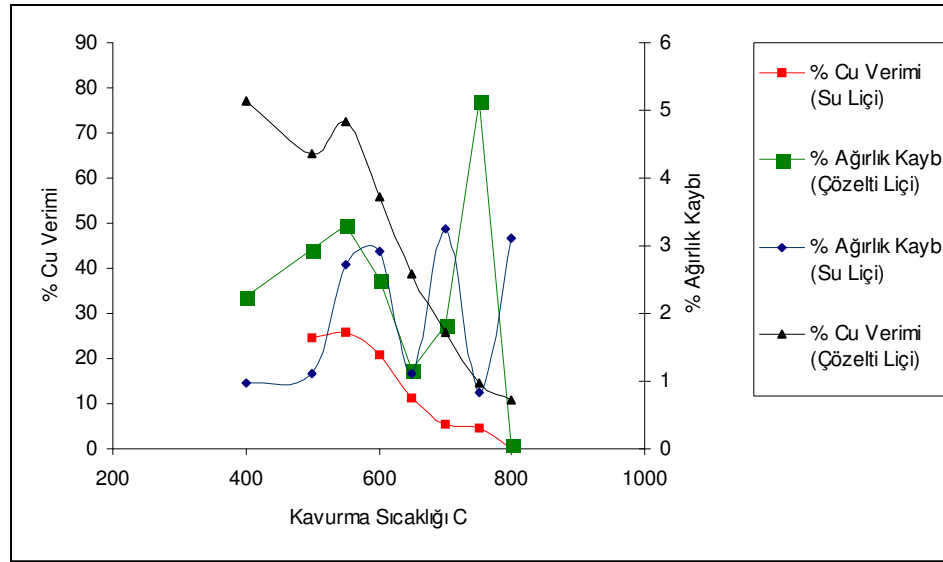
Bu kapsamda, artığın doğrudan kavrulması 400, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Elde edilmiş kavrulmuş ürünlere  $\text{H}_2\text{O}$  ve 5M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  karışımı liçingi uygulanmıştır. Kavurma ve liçing sonuçları Çizelge 10, Şekil 15' da verilmiştir.

Çizelge 10. Kavrulmuş Ürünlerin Liçinginde Su Ve Amonyak Karışımı Liçinginin Bakır Kazanma Verimine Ve Toplam Ağırlık Kaybına Etkisi

(Amonyak derişimi: 5M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  , karıştırma hızı: 250 dev/dak, kavru lan malzeme miktarı: 20 g, liçing süresi: 120 dakika, sıcaklık: 22°C, katı/sıvı:1/5 g/ml)

Kavurma Sıcaklığı °C	Kavurmada Ağırlık Artışı (%)	Su İle Liçing			5 M $\text{NH}_4\text{OH}$ ve 0,3 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ İle Liçing		
		Liç sonrası pH	% Ağırlık Kaybı	Cu verimi	Liç sonrası pH	% Ağırlık Kaybı	Cu verimi
400	0,45	5.4	0,98	-	9.0	5,15	33,58
500	1,55	5.0	1,12	24,43	9.4	4,36	44,26
550	1,40	5.5	2,71	25,74	9.4	4,82	49,70
600	2,75	4.3	2,93	20,92	9.1	3,72	37,48
650	2,6	5.7	1,10	11,37	9.5	2,58	17,46
700	2,65	4.5	3,24	5,32	9.5	1,72	27,66
750	3,42	5.8	0,82	4,44	9.0	0,98	76,92
800	4,03	5.5	3,10	0,15	9.2	0,72	0,80

Kavrulmuş ürünlerin liçingi deneyinde kavurma sonrasında beslenen malzemede, sıcaklığın artması ile ağırlık artışının olduğu görülmektedir. Ağırlıktaki bu artış, sülfürlerin bir kısmının kavurma sırasında sülfata dönüşmesi nedeniyle meydana geldiği ileri sürülmüştür (Kulaksız,2004). Kavurma sıcaklığı olan 400 °C de % 0,45 iken, 800 °C sıcaklığında % 4,03 lere ulaşmaktadır.



Şekil 15. Doğrudan kavurma + liçingi deneylerinde kavurma sıcaklığının Cu verimine ve kavurma sıcaklığının % ağırlık kaybına etkisi

Kavrulmuş ürünlerin su ile liçingi sonuçları aşağıda verilmiştir.

- 1) Kavurma sıcaklığının 400 °C de olduğu durumda su liçi sonundaki ağırlık artışı % 0,45 Cu, 800 °C deki sıcaklık değerinde ise %4,03 Cu değerine ulaşmıştır. Ağırlık kaybının sıcaklığın artması ile arttığı görülmektedir.
- 2) Kavurma sıcaklığının 400 °C de olduğu durumda su liçi sonundaki verim % Cu verimi belirlenemezken, 800 °C deki % Cu verimi % 0,15 Cu verimine ulaştığı gözlenmektedir.
- 3) Liçing sonrası çözelti pH'sının yaklaşık 5 civarında kaldığı gözlenmiştir.

Kavurma sıcaklığının 550 °C olduğu durumda H<sub>2</sub>O liçingde %25.74, amonyak karışımı liçinde ise %49.70, % Cu verimlerine ulaşılmıştır. Kavurma sıcaklığının 550°C den daha yüksek olduğu sıcaklıklarda, H<sub>2</sub>O ve amonyak karışımı liçi sonundaki %Cu verimi düştüğü gözlenmektedir. 800°C deki sıcaklıkta %Cu verimi minimum noktaya ulaşmaktadır. Bu iki şekilde izah edilebilir. Yüksek sıcaklıklarda amonyakta çözünmeyen bileşikler meydana gelmektedir ya da 750°C ve 800°C de kavurma sırasında sinterleşme meydana gelmektedir. Sinterleşme olması durumunda amonyakta çözünebilme özelliği gösteren bazı bakır minerallerinin yüzey alanı daralmaktadır. Bu nedenle de çözünen bakır miktarı azalmaktadır. Sonuç olarak kavrulmuş ürünlere optimum koşullarda yapılan liç işlemi sonunda 550 °C de, % 25,74 Cu çözeltiye alınmıştır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

##### 4.1. Sonuçlar

Ülkemizin bakır ihtiyacı dikkate alındığında Karadeniz Bakır İşletmeleri Samsun İzabe Tesisinde ortaya çıkan curuftan flotasyon tesisinde değerlendirildikten sonraki artıkları da değerlendirilmek durumdadır. Söz konusu artıkların değerlendirilmesi amacı ile, tez kapsamında, amonyak liçi ile doğrudan liçing ve herhangi bir katkı maddesi karıştırılmadan kavrulmuş ürünlerin liçingi ( amonyak liçi) çalışmaları yapılmıştır.

Doğrudan liçing kapsamında incelenen parametreler aşağıdaki gibidir.

- Liçing süresi ( 5, 15, 30,60,120,240,360 dakika).
- Karıştırma hızı ( 0,200,250,300,350 dev/dak ).
- Sıvı/Katı oranı ( 10/1, 5/1, 2.5/1 ).
- Sıcaklığın etkisi (22°C ,35°C, 50°C).
- Tane boyutunun etkisi (106 µm, -75 µm, -45µm).

Doğrudan kavurma + liçing deneyleri 400,500,550,600,650,700, 750,800 °C ve aşağıdaki gibi belirlenen liç koşullarında yapılmıştır:

- Amonyak derişimi : 5 M NH<sub>4</sub>OH ve 0,3 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- Karıştırma hızı : 250 dev/dak
- Sıvı/katı oranı : 5/1
- Liçing sıcaklığı : 50 °C
- Tane boyu : -106 µm
- Liçing süresi : 120 dakika incelenmiştir

#### 4.1.1. Amonyak liçi

İncelenen parametrelerin dikkate alınması durumunda, optimum amonyak liç koşulları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Amonyak derişimi : 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
- Karıştırma hızı : 250dev/dak
- Sıvı/katı oranı : 5/1
- Liçing sıcaklığı : 50 °C
- Tane boyu : -106  $\mu\text{m}$
- Liçing süresi : 120 dakika

Deney sonuçlarındaki elde edilen bulgular, doğrudan amonyak karışımı işlemleri ile atıklardan bakırın teknolojik olarak kazanılabileceğini ortaya çıkarmaktadır.

Amonyak liçi ile optimum liç koşullarında %41,42 bakır çözeltiye alınmıştır.

#### 4.1.2. Kavrulmuş Ürünlerin Liçingi

Kavrulmuş ürünlerin optimum liçing koşulları, kavurma + liçing de incelenen parametrelerin ışığında aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Amonyak derişimi : 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve 0,3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
- Karıştırma hızı : 250dev/dak
- Sıvı/katı oranı : 5/1
- Liçing sıcaklığı : 22 °C
- Tane boyu : -106  $\mu\text{m}$
- Liçing süresi : 120 dakika incelenmiştir.
- Kavurma sıcaklığı 550 °C olan kavurma sıcaklığı optimum sıcaklık olarak seçilmiştir.

Kavurma sıcaklıkları: Su ile işleminde 550 °C de, amonyak karışımı liçinginde ise 550 °C de optimum koşullara ulaşılmıştır. Optimum liç koşullarında H<sub>2</sub>O liçinde % 25,74 Cu, amonyak liçinde ise % 49,70 Cu çözeltiliye alınmıştır.

#### 4.3. Öneriler

Yapılan çalışmaların ışığında aşağıdaki işlemlerin yapılmasında yarar bulunmaktadır.

- Daha yüksek sıcaklıklarda >50 °C lerde atmosferik koşullarda amonyak liçi işlemleri yapılmalıdır.
- Basınç altında ve oksijenin bulunduğu ortamda otoklavda amonyak liçi işlemleri yapılmalıdır.



## 5. KAYNAKLAR

- Altundođan, H. S., ve Tümen, F., 1997, Metal Recovery From Copper Converter Slag by Roasting with Ferric Sulphate, Hydrometallurgy, p44.
- Aydoğan, S., 2000, Hafik Madentepe Bakır Curuflarının Sülfirik Asit asidik Ferrik Sülfat ve Amonyak Liçi Koşullarının Belirlenmesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, C.Ü.
- Aytekin, Y., 1984, Samsun İşletmesi Curuf Flotasyon Tesisleri İnceleme Raporu
- Barnes, C.D., Lumsdaine, J., O'Hare, S.M., 1993, Copper Converter Slag Treatment at Mount Isa, Qld Aus IMM Proceedings, p298.
- Basir, S.M.A., Rabah, M.A., 1999, Hydrometallurgical Recovery of Metal Values from Brass Melting Slag, Hydrometallurgy, p53.
- Canbazoğlu, M., 1993 “ Madencilik Bilim ve Teknolojisi Dergisi” C.Ü. Mühendislik Fak. Yayınları, 1. Cilt. Sivas
- Canbazoğlu, M., Girgin, İ.2001, Cevher Hazırlama El Kitabı, İTÜ Yay., İstanbul.
- Canbazoğlu, M., 2003, Metalurji Ders Notları, Maden Mühendisliği Bölümü Sivas.
- Gbor, Philip, K., Mokri, Valentina, Jia, Charles, Q., 2000, Charecterization of Smelter Slag, Journal of Enviromental Science and Health, Part A: Toxic/ Hazardous Substances and Enviromental Engineerering, p35.
- Habashi, F., 1983. Hydrometallurgy, Journel Chem.Eng. News, p.45-46
- Hereros, O., Quiros, R., Manzano, E., Bou, C. Vinals, J., Copper Extraction from Reverbarotory and Flash Furnace Slags by Chlorine leaching, Hydrometallurgy, p49.
- Jackson, E., 1986, Hydrometallurgical Extraction and Reclamation, John Wiley and Sons, Ellis Horwood Ltd, Newyork, p252.
- Karahan, S., 1978, Bakır Hidrometallurjisi ve Flotasyonu, TMMOD Maden Mühendisleri Odası, Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara, p277.
- Kulaksız, İ., 2004, Konverter Curuf Flotasyon Artıklarından Bakır Kazanımı Araştırmaları, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.

- Roo, G.V., Nayak, B.D., 1992, Flotation of Copper From Converter Slags, *Jornal of Mines Metal&Fuels*, p40.
- Sağdık, U. 1976, Curuflardaki Bakır ve Kobaltın Kimyasal Bileşimlerinin Saptanması ve Ekstraksiyonları Hakkında Araştırma, MTA Enstitüsü Teknoloji Dairesi, Ankara.
- Shen, H., Forsberg, E., 2002, An Overview of Recovery of Metals From Slags, *Waste Manegement*.

## 6. ÖZGEÇMİŞ

29/12/1978 tarihinde Almanya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Vezirköprü'de tamamladı. 1997 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliğini kazandı. 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. 2006 yılında mezun oldu. 2004 yılında işe başladığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nde maden mühendisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.