

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Niyazi ÖZGENCİL

**SICAK KİREÇ PROSESİNİN SİYANÜR LİÇİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA-2016

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SICAK KİREÇ PROSESİNİN SİYANÜR LİÇİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Niyazi ÖZGENCİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 20/12/2016 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Doç.Dr. Hüseyin VAPUR Prof.Dr. Oktay BAYAT Doç.Dr. Ö.Yusuf TORAMAN

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2014-3332

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve
fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat
Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAK KİREÇ PROSESİNİN SİYANÜR LİÇİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Niyazi ÖZGENCİL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
Yıl: 2016, Sayfa: 79
Jüri : Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
: Prof. Dr. Oktay BAYAT
: Doç. Dr. Ö.Yusuf TORAMAN

Bu çalışmada; Gümüştaş Madencilik Tepeköy cevheri incelenmiştir. Sıcak kireç ve liç deneylerinde, farklı NaCN konsantrasyonları ve CaO ile plumbo jarosit minerali içerisindeki değerli metalleri liç çözeltisinde çözmek için çalışmalar yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numunenin tenörleri Au 8,63 g/t, Ag 191 g/t'dur. Tüm deneysel çalışmalar paralel olarak iki deney olarak çalışılmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır. Tüm deneylerde 90 °C sıcaklıkta çalışılmıştır. Öncelikle, 75 µm (d80)'a öğütülmüş cevher, 500 mg/L, 1000 mg/L, 1500 mg/L, 2000 mg/L, 3000 mg/L NaCN konsantrasyonları ve sabit 40 kg/t CaO ile liç işlemi uygulandıktan sonra en yüksek çözünme verimi 1000 mg/L NaCN olarak belirlenmiştir. Sıcak kireç ile ön zenginleştirme uygulanmadan liç işlemi yapıldığında %63,65 Au ve %61,67 Ag liç çözünmeleri elde edilmiştir. Optimum konsantrasyon tespitinden sonra 40 kg/t, 70 kg/t, 100 kg/t, 150 kg/t, 250 kg/t CaO miktarları ile deneyler yapılmış ve en yüksek liç çözünme verimi 250 kg/t CaO koşulunda sağlanmıştır. Optimum deney koşulları, 1000 mg/L NaCN ve 250 kg/t CaO miktarlarında, cevher küçük tane boyutlarına öğütüldükten sonra (75 µm (d80), 44 µm (d80), 30 µm (d80) ve 30 µm (d100)) liç deneyleri yapılmıştır. En iyi çözünme verimlerine, 1000 mg/L NaCN, 250 kg/t CaO ilavesi ile 90 °C'de ve cevher -30 µm (d100) tane boyutuna öğütüldüğünde ulaşılmış ve optimum deney olarak belirlenmiştir. Au için %91, Ag için %82 çözünme verimine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak kireç, liç, altın, gümüş, plumbo jarosite

ABSTRACT

MSc. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HOT LIME PROCESS ON CYANIDE LEACH

Niyazi ÖZGENCİL

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

Year: 2016, Pages: 79

Jury : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

: Prof. Dr. Oktay BAYAT

: Assoc. Prof. Dr. O.Yusuf TORAMAN

In this study, the sample was taken from Gümüştaş Mining Tepeköy Process Plant. Hot lime and leaching tests were applied with different amount of cyanide and CaO in order to dissolve precious materials such as gold and silver in plumbo jarosite ores. Au grade was 8,63 g/t and Ag grade was 191,4 g/t in the samples. All tests were performed twice and the arithmetic mean of the results were accepted as final results. The temperature was 90 °C for all the tests. Firstly, -75 µm ground material was leached with 500 mg/L, 1000 mg/L, 1500 mg/L, 2000 mg/L and 3000 mg/L NaCN concentrations in stable CaO treatment condition (40 kg/t). After tests completed, the best recovery was detected as 1000 mg/L NaCN concentration. Then, sample was leached without CaO pretreatment. Au and Ag extractions in cyanide leaching were calculated as 63.65% and 61.67% respectively. In the next tests, -75 µm samples were leached with different lime amounts by 40 kg/t, 70 kg/t, 100 kg/t, 150 kg/t, 250 kg/t CaO. The optimum amounts of lime feeding determined as 250 kg/t. Later, samples were divided into 4 different size fraction as 75 µm (d80), 44 µm (d80), 30 µm (d80) and 30 µm (d100). -30 µm (d100) samples were dissolved with 1000 mg/L NaCN, 250 kg/t CaO at 90 °C. This test was named as optimum test condition. 91% Au and 82% Ag dissolution recovery were obtained by optimum test parameters.

Keywords: Hot Lime, leaching, gold, silver, plumbo jarosite.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Cevherdeki altının kimyasal çözünme yoluyla sıvı faza özütlenmesine olanak sağlayan amalgamasyon ve siyanürleme ile bakteriyel, tiyoüre ve asit özütleme gibi yöntemlerden yalnız ilk ikisi tarihsel süreç içinde ve günümüzde endüstriyel boyutlu uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde daha çok nabit altın içeren cevherlerin gravite ile zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanan bu yöntem, alternatif olarak siyanürleme yönteminin geliştirilmesi ve civa ile çalışmanın çok daha özel koşullar gerektirmesi gibi nedenlerle terk edilmiştir (Yıldız, 2010).

Genel olarak altın cevherleri metalürjik açıdan serbest altın içeren ve refrakter cevherler olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar (La Brooy vd., 1994). Serbest altın içeren cevherlerden direkt siyanür liçiyile %90'ın üzerinde altın kazanımı elde edilmektedir. Yüksek siyanür ve oksijen tüketimlerine sebep olan ve ekonomik olarak kazanılamayan cevherlere de refrakter cevherler denilmektedir.

Bu çalışmada Gümüştaş Madencilik A.Ş. Tepeköy cevherinden yaklaşık olarak 250 kg alınmış cevher, yine Gümüştaş Madencilik A.Ş.'ye ait laboratuvarında öncelikle çeneli kırıcı kullanılarak 0,5 mm tane boyutuna kırılmıştır. Çeneli kırıcıda kırılmış cevher daha küçük tane boyutuna kırmak için konik kırıcıya beslendikten sonra -0,5 mm'den küçük boyutlara kadar indirilmiştir. Sonrasında standart numune azaltma yöntemleri uygulanarak numune miktarı 125 kg'a kadar indirilmiştir. Geriye kalan numuneler arşivlenmiştir. Numune ayırım işleminden sonra aynı laboratuvarında halkalı değirmenler ve atritör kullanılarak öğütme işlemi yapılmıştır. Halkalı değirmenlerde deney için kullanılacak tane boyutu d80'i 75 µm olacak şekilde öğütme yapılmıştır. Atritör ise zirkon bilyalar ile birlikte tane boyutu 30 µm ve altı boyutuna 2-3-5 mm'lik zirkonyum bilya kullanılarak 15/30/45 dakika sürelerinde 3.14 m/s hız ile öğütülmüştür.

Daha sonra liç işlemlerinde siyanür oranı değıştirilerek analizler yapılmış ve cevherin içerisindeki metallerin çözünme verimleri takibi yapılarak 55 saatlik liç süresi boyunca tüketilen siyanür miktarı hesaplanmıştır. Liç süresi esnasında katı ve sıvı numuneleri alınarak Au ve Ag analizleri yapılmıştır. Ayrıca, liçin başladığı saatten itibaren olmak üzere 55. saate kadar her 4 saatte bir siyanür, hava ve pH kontrolü takibi yapılmıştır. Ayrıca, sadece liç işleminin yapıldığı, cevheri ısıtmanın gerçekleşmediğı bir deney gerçekleştirilmiştir. Cevher öncelikle d80'i 30 µm olacak şekilde atritör değirmen de 2 mm, 3 mm ve 5 mm zirkonyum bilyalar ile öğütülmüştür. Öğütülmüş numune 250 kg/t CaO ile 13 saat, 90 °C'de sıcak kireç uygulamasına tabii tutulmuştur. Daha sonra 1000 mg/L NaCN ile 55 saatlik alkali liçi yapılmış ve liç sonunda Au %91, Ag %82 çözünme verimine ulaşılmış ve katıda kalan tenör Au 0.81 g/t, Ag 34.80 g/t çözünmeden kalmıştır. Yapılan tüm deneylerin sonucunda alkali liç ile birlikte sürekli artan bir çözünme verimi görölmektedir. Cevheri ince boyuta öğütmenin metallerin serbestleşme oranlarını artırdığı görölmekte ve serbest yüzey alanının artması ile siyanür-cevher yüzeyi etkileşimi artırdığı ve bununla orantılı olarak çözünme verimini arttırdığı görölmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan bana her konuda yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin Vapur'a ve çalışmalarımın her aşamasında emeğini geçen Arş. Gör. Soner TOP'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın deney aşamalarında emeği geçen başta deneylerimin yürütülmesi ile ilgilenen Gümüştaş Madencilik A.Ş.'nin Ar-Ge Şefi Hilal ÇİL'e, Laboratuvar Sorumlusu Neslihan YETİKER, Kimyager Fatih İLHAN, Tuğçe İLHAN, Özgen BACAKSIZOĞLU, Medeni DAŞKIRAN, Fatma AYDOĞAN'a, Tamer YILMAZ ve Laboratuvar personeli Serkan ELMAS ve tüm diğer çalışanlarına, ayrıca çalışmalarım esnasında sürekli yanımda olan Proses Mühendisi Coşku SEVİNÇHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteği ile her zaman benimle olan ve beni her zaman teşvikte bulunan Annem Hatice ÖZGENCİL, Babam Ayhan ÖZGENCİL, Ablam Esmâ SARIBULUT ve Serpil KUBAT'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Altının Tanımı ve Özellikleri.....	1
1.1.1. Fiziksel Özellikler	2
1.1.2. Kimyasal Özellikler	2
1.2. Gümüşün Tanımı ve Özellikleri.....	3
1.2.1. Fiziksel Özellikler	4
1.2.2. Kimyasal Özellikler	4
1.3. Altın Mineralleri	4
1.4. Altın Başlıca Kullanım Alanları	5
1.5. Türkiye Altın Madenciliği	6
1.6. Dünya Altın Madenciliği	6
1.7. Altın Üretim Yöntemleri ve Teknolojisi	7
1.7.1. Kimyasal Yöntemler	7
1.7.2. Fiziksel Yöntemler.....	8
1.7.3. Gravite Yöntemleri	8
1.7.3.1. Knelson Gravite Konsantratörü.....	8
1.7.3.2. Falcon Gravite Konsantratörü	9
1.7.3.3. Multi Gravite Seperator (MGS.....	9

1.7.4. Flotasyon Yöntemleri.....	9
1.7.5. Amalgamasyon Yöntemi.....	10
1.7.6. Siyanürleme Yöntemleri	11
1.8. Siyanür ve Altın	11
1.8.1. Siyanür	11
1.8.2. Doğada Bulunma Halleri	12
1.8.3. Siyanür Kullanım Alanları	12
1.8.3.1. Sanayide Kullanımı.....	12
1.8.3.2. Madencilikte Kullanımı	13
1.8.4. Siyanür kullanımının Avantaj ve Dezavantajları	13
1.8.5. Siyanür Liçi İşlemi.....	14
1.8.5.1. Çözündürme Öncesi İşlemler.....	17
1.8.5.2. Cevherin Siyanür ile Temas Ettirilmesi	18
1.8.5.2.(1). Yığın Liçi	19
1.8.5.2.(2). Tank/Karıştırma Liçi	19
1.8.6. Altın Kazanılması	19
1.8.6.1. Aktif Karbon Yöntemi	19
1.8.6.1.(1). Carbon in Leach-Liç İçinde Karbon (CIL).....	20
1.8.6.1.(2). Carbon in Pulp-Pülp İçinde Karbon (CIP)	20
1.8.6.1.(3). Carbon in Column-Kolon İçinde Karbon (CIC).....	20
1.8.6.1.(4). Çinko İle Çöktürme (Merrill Crowe)	20
1.8.7. Serbest Siyanür	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	22
3. MATERYAL ve METOD	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Elek Analizi	28
3.1.2. Zirkonyum Bilya Özellikleri.....	29
3.1.3. Sodyum Siyanür Özellikleri.....	29

3.1.4. Sönmemiş Kireç.....	30
3.2. Metod.....	30
3.2.1. XRF (X-Ray Fluorescence)	30
3.2.2. XRD (X-ray Diffraction)	31
3.2.2.1. Örneklerin stereo polarizan mikroskop özellikleri	31
3.2.2.2. Örneklerin binoküler polarizan mikroskop özellikleri	33
3.2.3. SEM (Scanning Electron Microscope)	34
3.2.4. Numunelendirme ve Örneklemeye Çalışmaları	37
3.2.5. Çeneli Kırıcı.....	38
3.2.6. Konik Kırıcı.....	38
3.2.7. Öğütme	39
3.2.7.1. Halkalı Değirmen	39
3.2.7.2. Atritör	39
3.2.8. Sıcak Kireç Ünitesi	39
3.2.9. Liç Ünitesi	40
3.2.10. Laboratuvar Analizleri.....	41
3.2.10.1 Atomik Adsorpsiyon	42
3.2.10.2. Fire Assay	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1	Elek analizi verileri ve yüzde ağırlıkları	28
Çizelge 3.2	Zirkonyum bilya özellikleri	29
Çizelge 3.3	Sodyum siyanür özellikleri	29
Çizelge 3.4	Sönmemiş kireç özellikleri	30
Çizelge 3.5	Gümüştaş deney numunesinin kimyasal bileşimi	30
Çizelge 4.1	Test 1 parametreleri	45
Çizelge 4.2	Test 2 parametreleri	46
Çizelge 4.3	Test 3 parametreleri	48
Çizelge 4.4	Test 4 parametreleri	50
Çizelge 4.5	Test 5 parametreleri	52
Çizelge 4.6	Test 6 parametreleri	54
Çizelge 4.7	Test 7 parametreleri	56
Çizelge 4.8	Test 8 parametreleri	58
Çizelge 4.9	Test 9 parametreleri	60
Çizelge 4.10	Test 10 parametreleri	62
Çizelge 4.11	Test 11 parametreleri	64
Çizelge 4.12	Test 12 parametreleri	66
Çizelge 4.13	Test 13 parametreleri	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1	İnce altın levhanın çeşitli yükseltgen çözeltiler içindeki çözünme hızı..	3
Şekil 1.2	Türkiye altın ve gümüş cevherleşme sahaları.....	7
Şekil 1.3	Dünya altın üretimi	7
Şekil 1.4	Flotasyonun şematik görünümü.....	9
Şekil 1.5	Altın su oksijen sistemi için pH-Eh diyagramı	11
Şekil 1.6	Ph değişimine bağlı olarak siyanür bileşiği oluşumu	17
Şekil 3.1	Elek altı, elek üstü tane boyutu-ağırlık grafiği.....	28
Şekil 3.2	Kayaç örneğinin stereo mikroskop görüntüsü	31
Şekil 3.3	Gümüştaş deney numunesinin XRD diyagramı.....	32
Şekil 3.4	Örneğe ait mikroskop kalsit kristalleri, demir alterasyonu(Çift Nikol)	33
Şekil 3.5	Gümüştaş cevherinin SEM görüntüsü-1	34
Şekil 3.6	Gümüştaş cevherinin SEM görüntüsü-2	35
Şekil 3.7	Gümüştaş cevherinin SEM görüntüsü-3	35
Şekil 3.8	SEM görüntüsünün enerji KeV grafiği.....	36
Şekil 3.9	Numune hazırlama akım şeması	37
Şekil 4.1	Test 1 sıcak kireçsiz liç deneyi tenör-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.2	Test 2 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.3	Test 2 liç deneyi verim-zaman grafiği	47
Şekil 4.4	Test 3 liç deneyi katıda kalan tenör-süre grafiği.....	49
Şekil 4.5	Test 3 liç deneyi verim-zaman grafiği	49
Şekil 4.6	Test 4 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	51
Şekil 4.7	Test 4 liç deneyi verim-zaman grafiği	51
Şekil 4.8	Test 5 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.9	Test 5 liç deneyi verim-zaman grafiği	53
Şekil 4.10	Test 6 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.11	Test 6 liç deneyi verim-zaman grafiği	55

Şekil 4.12	Test 7 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.13	Test 7 liç deneyi verim-zaman grafiği	57
Şekil 4.14	Test 8 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.15	Test 8 liç deneyi verim-zaman grafiği	59
Şekil 4.16	Test 9 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.17	Test 9 liç deneyi verim-zaman grafiği	61
Şekil 4.18	Test 10 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.19	Test 10 liç deneyi verim-zaman grafiği	63
Şekil 4.20	Test 11 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	65
Şekil 4.21	Test 11 liç deneyi verim-zaman grafiği	65
Şekil 4.22	Test 12 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	67
Şekil 4.23	Test 12 liç deneyi verim-zaman grafiği	67
Şekil 4.24	Test 13 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.25	Test 13 liç deneyi verim-zaman grafiği	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

m/s	: Metre/saniye
mg/l	: Miligram/litre
t/s	: Ton/saat
g/t	: Gram/ton
g/cm ³	: Gram/santimetreküp
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
XRD	: X-Ray Diffraction
XRF	: X-Ray fluorescence
SEM	: Scanning electron microscopy
AAS	: Atomik Adsorpsiyon Spektroskopisi
CIL	: Carbon in Leach
CIP	: Carbon in Pulp
CIC	: Carbon in Column

1. GİRİŞ

Tarihin eski çağlarından beri insanların ilgisini çekmiş, devletlerin gelişmesinin ve zenginliğinin ölçüsü olan altın asırlardır dünya ekonomisine, ticarete önemli katkılarda bulunmuştur ve bulunmaktadır. Günümüz altın madenciliğinde cevherlerden altın–gümüş üretimi, fiziksel, kimyasal ve metalurjik yöntemlere göre gerçekleştirilmekte olup uygulanacak yöntemin belirlenmesinde, cevher yatağının türü, tenörü ve yapısal özellikleri dikkate alınmaktadır. Kompleks ve bazı epitermal cevherlerde olduğu gibi, altının, diğer minerallerin kafes yapılarına dağıldığı veya kuvars kapanımları içinde çok küçük tane iriliğinde bulunduğu cevherler kimyasal ve metalurjik prosesler sonucunda değerlendirilebilmektedir. Üretim, genelde cevherin doğrudan veya flotasyon, kavurma gibi ön hazırlama işlemlerinden geçirildikten sonra uygun çözücüyle muamele edilerek katı fazdaki altının sıvı faza özütlenmesi ve sıvı fazdan geri kazanılması ile mümkündür. Cevherdeki altının kimyasal çözünme ve difüzyon yoluyla sıvı faza özütlenmesine olanak sağlayan amalgamasyon ve siyanürleme ile bakteriyel, tiyoüre ve asit özütleme gibi yöntemlerden yalnız ilk ikisi tarihsel süreç içinde ve günümüzde endüstriyel boyutlu uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde daha çok nabit altın içeren cevherlerin gavite ile zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanan bu yöntem, alternatif olarak siyanürleme yönteminin geliştirilmesi ve civa ile çalışmanın çok daha özel koşullar gerektirmesi gibi nedenlerle terk edilmiştir (Yıldız, 2010).

1.1 Altının Tanımı ve Özellikleri

Altın ‘Au’ sembolüyle gösterilen yumuşak, parlak sarı renkte metalik olan bir elementtir. Doğada serbest halde bulunabilme, asitlere karşı dayanıklı olma, güzel görünüm ve kolay işlenebilme gibi özelliklere sahiptir. Altın kararlı bir elementtir. Bu kararlılığı genellikle havadan ve sudan etkilenmediği için

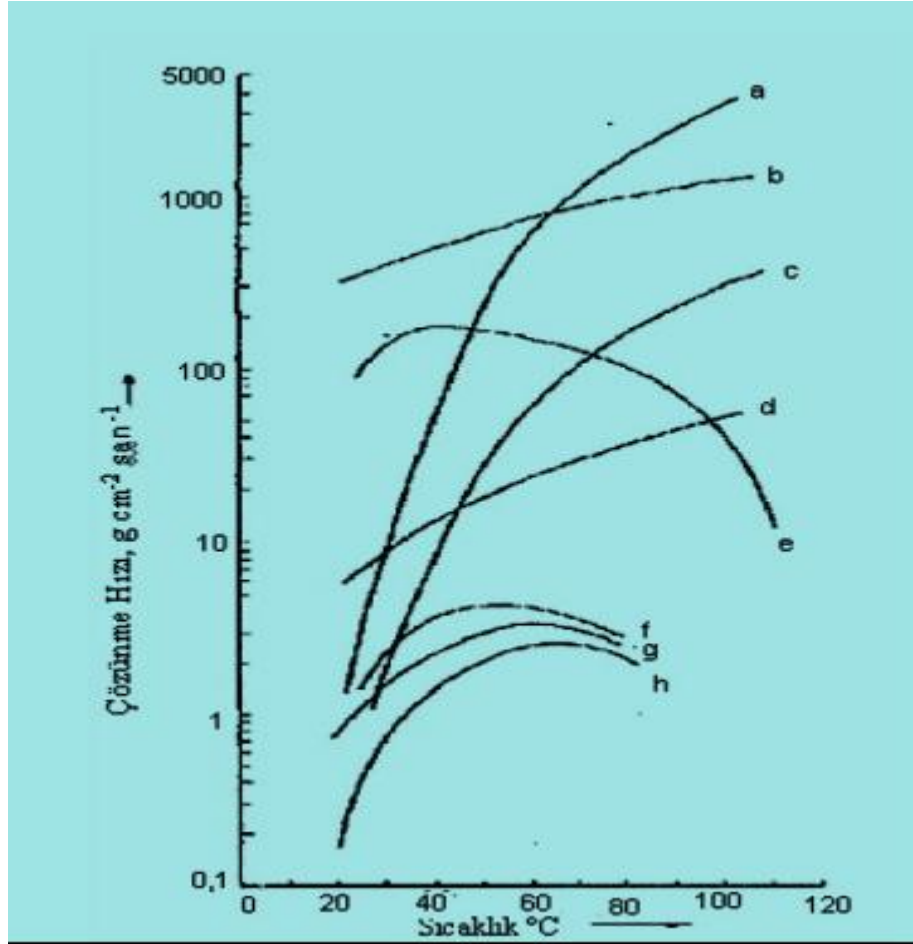
oksitlenmez ve kararmaz özelliğini ön plana çıkartır. Genellikle altın için ağırlık birimi troy ons'dur (1 troy ons = 31,1035 g). Saflık derecelerini ifade etmekte kullanılan milyem ayarı ise ağırlık ölçüsü olarak ve gramın binde biri anlamına gelmektedir. Bir altın ya da gümüş alaşımında bulunan saflık, değerli maden miktarını ölçmekte kullanılmaktadır. Örneğin; %99,5 saf altın 995 milyem, 24 karattır (www.darphane.gov.tr.).

1.1.1 Fiziksel özellikler

Saf altın çok yumuşak, levha haline gelme kabiliyeti en yüksek olan metaldir. 31 g ağırlığındaki altını çekerek 80 km uzunluğunda tel levha haline getirmek mümkündür. 10 g altın dövülerek 12 m² 'lik bir alanı kaplayacak 0,1 µm inceliğinde levha haline getirmek mümkündür. Altın, yumuşaklığından ötürü çok yüksek parlatılabilirliğe sahiptir ve parlak rengi içerdiği alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak az veya çok değiştirilebilir. Saf halde yumuşaklığı yüzünden kullanılamayan altın, bakır ile (kırmızı altın), gümüş ile (yeşil altın) ve birçok elementle alaşım halinde kullanılır. Altının tıp alanında kullanılan en önemli olan izotopu 195 Au'dır (Habashi, 1997).

1.1.2 Kimyasal özellikler

Altın normal koşullarda, su, kuru ve nemli hava, ozon, azot, hidrojen, flor, iyot, kükürt, hidrojen sülfür ve yüksek sıcaklıklarda olması durumunda dahi oksijen ile reaksiyon vermez. Hidrohalojenik asit, nitrik asit, hidrojen peroksit ve kromik asit, serbest halojen gibi bir yükseltgen ile birleştirildiğinde elde edilen çözelti içinde altın çözünür. Kimyasal olarak zor tepkimeye giren altın, yüksek sıcaklıklarda dahi oksijenden etkilenmez. Altın bütün asitlere karşı dayanıklıdır. Ancak kral suyu olarak adlandırılan 3mol HCl + 1mol HNO₃ karışımı, demir III klorürün sıcak çözeltisi, KCN, NaCN, Cl₂, Br₂, altına etki eder. (Habashi, 1997).



Şekil 1.1 İnce altın levhanın çeşitli yükseltgen çözeltiler içindeki çözünme hızı (Habashi, 1997).

1.2 Gümüşün Tanımı ve Özellikleri

Saf gümüş kolaylıkla paslanmaz, ancak atmosfere bırakıldığında parlaklığını kaybederek donuklaşır. Elektrik ve ısıyı çok iyi iletir. Gümüşün en çok kullanıldığı alan gümüş eşya yapımıdır. Gümüşün aşınmaya karşı gösterdiği direnç nedeniyle kimya sanayinde tamamen gümüş veya gümüşle kaplanmış kapların yapımında kullanılır. Gümüş, yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle elektronik sektöründe ve sürtünmeye karşı gösterdiği direnç nedeniyle de uçak motorlarında koruyucu

tabaka olarak kullanılır. Gümüş-altın-bakır alaşımları kuyumculuk sektöründe kullanılır. Gümüş tuzlarının (AgCl_2 , AgBr_2 , AgNO_3) görüntü tanımlama özelliğinden dolayı fotoğrafçılık sektöründe kullanılmaktadır. Gümüşün çeşitli bileşikleri de tıpta kullanılmaktadır (Chatterjee, 2007).

1.2.1 Fiziksel özellikler

Parlak ve beyaz bir metal olan gümüşün, ergime noktası $961,9^\circ\text{C}$, kaynama noktası 1950°C ve özgül ağırlığı ise $10,5 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Çoğu bileşiklerinde +1 değerliklidir. Son derece dövülgen ve telleşebilir bir yapıda olan gümüş, ısıyı ve elektriği çok iyi iletir; bu nedenle elektrikte kullanılır. Gümüş, bakır ve altınla birlikte alaşım, özelliklede sülfür ve klorür olarak bulunur. Kurşun ve çinkonun mineralleriyle bir arada görülür. Merkez yüzlü kübik sistemlere bağlıdır.

1.2.2 Kimyasal özellikler

Gümüş, kimyasal element, yumuşak ve beyaz renkte altından sonra alternatifi bulunmayan değerini de öncelikle buradan alan daha çok süs eşyası olarak kullanılan bir metaldir. Doğada genel olarak altın ile bulunan işlenmesi kolay ve hava ile temas ettiğinde havadaki nemi çekerek oksitlenen bu özelliği ile de antik eşya konumundaki metallere dendir (Gold News, 2004).

1.3 Altın mineralleri

Doğal altın kübik sistemde kristallenir. Kristalleri seyrek olup çoğunlukla levha, tel, pul, tane ve külçe biçimindedir. Doğal altın dışında en önemli altın mineralleri önem sırasıyla;

Nabit Altın	Au ($\pm$ diğer metaller)
Elektrum	Au-Ag alaşımı
Kustelit	Ag ($\pm \text{Au}$)

Aurokuprit	Au_2Cu_3
Aurostibit	AuSb_2
Rodit	$\text{Au}(\text{Pt}, \text{Rh}, \text{Fr}, \text{Pd})$
Kalaverit	$\text{Au}(\text{Ag})\text{Te}_2$
Tetsit	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}$
Petzit	$(\text{Ag}_3\text{Au})\text{Te}_2$

şeklinde sıralanabilir. Ayrıca pirit, kalkopirit, arsenopirit ve pirotin içinde önemli miktarda Au bulunabilmektedir ve Cu, Pb, Zn yataklarından yan ürün olarak kazanılabilmektedir. Diğer yandan Au yataklarından Ag, Pt grubu elementler, U, Cu, W, Bi, Te ve diğer bazı elementler elde edilebilmektedir (Gökçe, 1995)

1.4 Altının Başlıca Kullanım Alanları

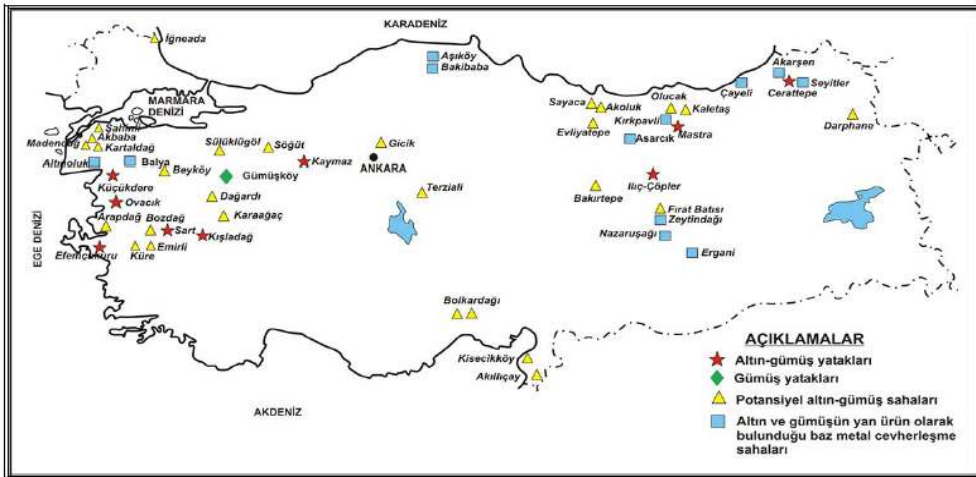
Kendine has kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle altın kullanımı tıp, endüstriyel, elektrik ve nano teknolojileri uygulamalarında önemli bir yer teşkil eder. Bu uygulamaların başlıcaları (Minerals zone, 2005);

- Elektrik ve iletişim (bilgisayar, yarı iletkenler, uzay araçları, telefonlar, tv)
- Lazer ve optik (astronomi, uydu, fotokopi, güvenlik sistemleri)
- Tıp ve sağlık (dişçilik, lazer, araştırma, romatizmal tedavisi, termometreler)
- Endüstri ve havacılık (hava yastıkları, uçak motoru, uçak pencere, motor)

Biyolojik tepkimeye girmemesi nedeniyle altın, tıp ve dişçilik alanında da kullanılmaktadır. Altın yumuşak bir metaldir, üzerine çalışmak ve şekil vermek çok kolaydır. Altın, metaller içinde elektrik iletkenliği en yüksek olanlardandır. (Anonim, 2008).

1.5 Türkiye’de Altın Madenciliği

Dünyada ilk rafineri Anadolu topraklarında kurulmuştur. Son yıllarda altın fiyatındaki artışlar, tüm dünyada altın madenlerine ilgiyi yeniden arttırmıştır. Araştırmalar sonucu toplam görünür rezerv 600 ton Au, potansiyel rezerv 6500 ton olarak bulunmuştur (Anonim, 2008). Ülkemizde Niğde-Ulukışla, Bergama-Ovacık, Gümüşhane-Mastra, Eskişehir Kaymaz, Balıkesir-Küçük dere, Artvin-Cerattepe, İzmir-Efem çukuru, Uşak-Kışla dağ, Erzincan-Çukur dere, Manisa-Sart altın madenleridir. (Anonim, 2008; Yüce, A., Acarkan, Dinçer ve Önal, 2005).

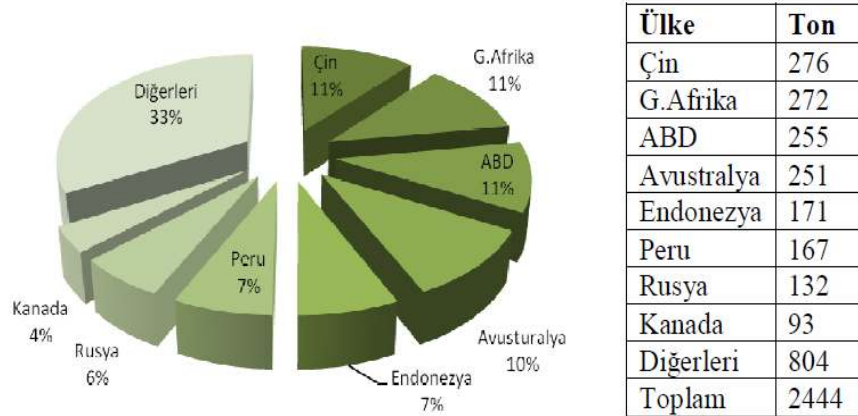


Şekil 1.2 Türkiye altın ve gümüş cevherleşme sahaları (MTA, 2010).

1.6 Dünya Altın Madenciliği

Dünya altın üretimi, son 25 yılda yaklaşık olarak ikiye katlanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda bilinen altın cevherleri işletmeye alınırken, yeni altın yataklarının bulunması için dünyada yoğun arama ve yatırım dönemi başlamıştır. Dünya toplam işletilebilir altın rezervi 56.000 tondur. Rezervin yaklaşık %50'ye yakını dünya altın üretiminde ilk sıralarda yer alan G. Afrika, ABD, Çin, Avustralya, Kanada ve Peru arasında paylaşılmaktadır. Dünya altın üretimi USGS tahminlerine göre 3000 ton civarında (2015) olup bu üretimin %51'i bu altı ülkede yapılmaktadır. Büyük altın üreticisi kuruluşlar, üretimlerini artırmış ve

maliyetlerini düşürmüşlerdir. Üretici kuruluşlar sıralamasında, ilk kez Güney Afrikalılardan daha çok ABD'liler görülmüştür. Meksika, primer gümüş madenlerince oldukça zengin olup uzun zamandır gümüş üreten ülkelerin başını çekmektedir. Meksika'nın 2000 yılı üretim tahminleri Dünya üretiminin % 20 sine karşılık gelen 100 milyon ons civarındadır. Peru ve ABD gümüş üreten ülkeler listesinin üst sıralarında yer almaktadırlar (www.kalkinma.gov.tr).



Şekil 1.3 Dünya altın üretimi (Anonim, 2008)

1.7 Altın Üretim Yöntemleri ve Teknolojisi

1.7.1 Kimyasal Yöntemler

Kompleks ve bazı kuvarslı epitermal cevherlerde olduğu gibi altının diğer minerallerin kafes yapılarına dağılmış olması, kuvars kapanımları içinde ve 5-10 µm tane iriliğinde bulunduğu cevherleşmelerde uygulanmaktadır. Cevher yapısındaki altın uygun bir çözücü ile sıvı faza geçerek hidrometalurjik proseslerle kazanılmaktadır. Cevherdeki altının eldesinde kullanılan amalgamasyon, siyanürleme, bakteri liçi, tiyoüre ve asit liçi gibi kimyasal yöntemlerden yalnız amalgamasyon ve siyanürleme günümüzde endüstriyel boyutlu uygulamalarda kullanılmaktadır. Tiyoüre liçi özütleme kinetiğinin siyanürlemeye oranla daha hızlı ve zehirsiz oluşu avantajlarının olmasına rağmen çok sayıda metalle kompleks oluşturması, kolay oksitlenmesi ile bozunması bu nedenle maliyeti arttırması ve

kazanım oranını düşürmesi uygulama alanını engellemiştir. Asit liçi ise çok fazla asit tüketimi gerektirdiğinden endüstride kullanım alanı bulamamıştır (Yıldız, 2010).

1.7.2 Fiziksel Yöntemler

Öğütme, yıkama, gavite ve flotasyon gibi cevher zenginleştirme proseslerinin olumlu sonuç verdiği 30-40 μm 'dan daha iri tane boyutlarında altın içeren ve öğütlemeyle altının serbestleştirilebildiği cevherlere uygulanmaktadır (Yıldız, 2010).

1.7.3 Gravite Yöntemler

Bu yöntemlerle iri boyutlu altın %40-70 verim aralığında kazanılabilirken ince boyutlu altınların kazanımında oldukça yüksek kayıplar meydana gelmektedir. İri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman almaktadır. Ayrıca altın tanelerinin yüzeyleri siyanür ile çözünmeyi engelleyecek şekilde kirli, demir hidroksit veya organik bileşiklerle doğal olarak kaplanabilmektedir. Bu tip cevherlerde kullanılması ile liç verimini arttıracaktır (Feather ve Koen, 1973).

1.7.3.1 Knelson Gravite Konsantratörü

Serbest taneli cevherlerden 24 -72 saatlik geleneksel siyanür liçiyle %90'lık bir altın kazanımı elde edilmektedir. İnce tanelerin gravite zenginleştirilmesi güç olmaktadır. Bunlar <30 μm boyutunda çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler (Ren vd., 1994). Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi avantajlarını oluşturmaktadır (Alp, 2004; Celep, 2005).

Knelson konsantratörünün ana çalışma parametreleri yıkama suyu akış hızı, besleme pülp yoğunluğu ve konsantre kalma zamanıdır.

1.7.3.2 Falcon Gravite Konsantratörü

Falcon Konsantratör ilk defa 1980 yılında geliştirilmiş ve ilk ticari uygulaması 1986'da yapılmıştır. Falcon Konsantratör aralarında özgül ağırlık farkı olan mineralleri birbirinden yüksek şiddetli bir santrifüj ortamda ayırmaktadır. Falcon Konsantratörün, diğer yoğunluğa göre ayırma yapan cihazlarda (santrifüj kuvvetin kullanılmadığı) şlam olarak artığa giden ince taneli, değerli minerallerin konsantre olarak kazanımı amaçlanmaktadır. Uygulanan “G” kuvvetinin büyüklüğü ile pülپ içinde konsantrasyonu düşük, küçük boyutlu ağır minerallerinin kazanımı sağlanmaktadır (Yıldız 2010).

1.7.3.3 Multi Gravite Seperatör (MGS)

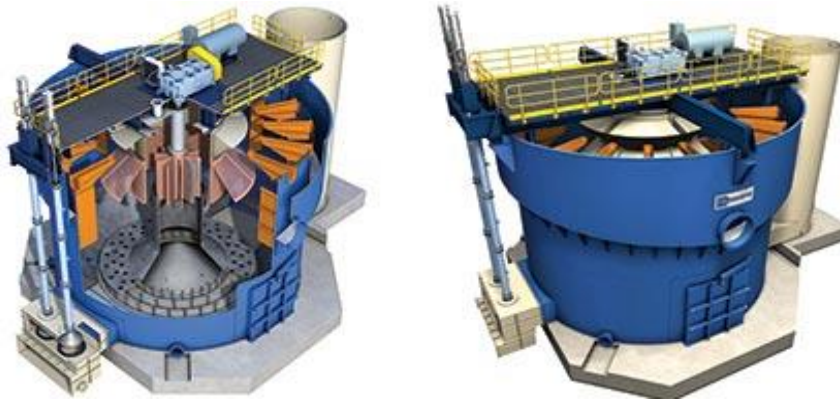
Yüksek yer çekimli ayırıcılar cevher hazırlama tesislerinde çok ince boyuttaki atıkların içerdiği ve ekonomik olarak kazanımı zor olan, %80'i 6 µm altı ve 2 µm'a kadar inebilen kalay, krom, altın, tungsten ve nadir metallerin gravite yöntemiyle kazanımına olanak sağlamaktadır. Taneler üzerinde etkin olan merkezkaç kuvveti klasik sarsıntılı masalar üzerinde etkin yerçekimi kuvvetinden yaklaşık 6-24 kat daha büyüktür. Sonuç olarak ise özgül ağırlıkları farklı tanelerin ayrılma zamanı azalmaktadır (Yıldız, 2010).

1.7.4 Flotasyon Yöntemi

Altın cevherlerinde flotasyon genellikle serbest, ince taneli altının ya da altın içeren sülfürlü, tellürlü minerallerin konsantrelerini elde etmek için uygulanır. Şekil 1.4'de flotasyonun şematik görüntüsü görülmektedir. Bazı özel durumlarda da flotasyon, antımuhan ya da arsenikli sülfürlerin siyanürlemeyi engellediklerinden, atılmaları için uygulanır. Altın ve gümüş cevherleri; pirotin, Cu, As, Sb gibi siyanür tüketen mineraller ve bütümlü karbon ile grafit içeriyorsa bu elementler siyanür liçi işleminde ortamdaki oksijeni ve siyanürü harcarlar. Bu nedenlerden dolayı;

- Siyanürlenecek cevherdeki zararlı elementleri uzaklaştırmak,
- Gravite zenginleştirmesi ve amalgamasyon işlemlerinin artıklarındaki altın gümüş kaçaklarını geri kazanmak,
- Yüksek tenörlü altın ön konsantreleri üretmek için altın, gümüş cevherleri flotasyonla zenginleştirilir (Çilingir, 1990).

Bu yöntemin, çok zengin ve kütlesi küçük bir konsantre elde etmek gibi bir avantajına karşılık, bu tip konsantrelerden siyanürleme yöntemi ile ekstraksiyon zordur. Bunun nedeni, altın veya sülfür minerallerinin yüzeylerine soğurulmuş toplayıcıların bu yüzeyleri pasifleştirmesidir (Henley, 1975).



Şekil 1.4 Flotasyon'un Şematik Görünümü (www.flsmidth.com).

1.7.5 Amalgamasyon Yöntemi

Nispeten iri altın tanelerinin kazanılmasında kullanılan bu yöntem metalik cıvanın saf altınla temas ettirilip amalgam yapmasına dayanır. Günümüzde, dünya altın üretimindeki kullanım oranı yaklaşık olarak %10'dur.

Bu yöntemin teknik olarak uygulaması; altın taneciklerinin iri boyutlarda olması ve amalgamasyonu etkileyen arsenik, antimuan, bizmut ve diğer sülfürlü minerallerin ortamda bulunmaması ile yapılmaktadır. Günümüzde nabit altın içeren

cevherlerin gravite yöntemiyle zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanmaktadır (Yıldız, 2010).

1.7.6 Siyanürleme Yöntemleri

Kimyasal formülü CN^- olan bir anyondur. Çözültiden metal kazanımının kolay ve ucuz olması, prosesin yüksek sıcaklık gerektirmemesi, düşük tenörlü cevherlere yaygın olarak uygulanması gibi üstünlükler liç işlemini; yüksek sıcaklık gerektiren ve işletme maliyeti yüksek olan pirometalurjiye karşı daha avantajlı hale getirmektedir. Bunlara ilave olarak, liç işleminde değerli metaller doğrudan çözültiden kazanılmakta ve SO_2 gibi zararlı gazların emisyonunun önlenmesiyle de çevreye daha az zararlı ve eliminasyonu daha düşük maliyet gerektiren atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu avantajların yanı sıra hidrometalurjik işlemler de bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar çözültideki düşük metal kazanımı, katı-sıvı ayırımındaki güçlükler, düşük sıcaklık uygulanması nedeniyle fazla zamana gereksinim duyulması ve saflaştırma sırasındaki safsızlıkların olumsuz etkileridir.

1.8 Siyanür ve Altın

1.8.1 Siyanür

Siyanür; hem doğal olarak hem de insanlar tarafından üretilen, karbon ve azot içeren bir grup kimyasal maddedir. Eklembacaklılar, böcekler, yosunlar, mantarlar ve daha üst yapıdaki bitkiler, siyanürün iki binden fazla olan doğal kaynaklarından sadece birkaçıdır. Kendine has özellikleri sayesinde siyanür, metal parçalar ile plastikler, sentetik kumaşlar, gübreler, bitki zararlıları için ilaçlar, boyalar ve ilaçlar gibi birçok ürünün imalinde kullanılmaktadır. Siyanürün toksik bir madde olduğu ve belirli miktarda yutarak ya da soluyarak vücuda girmesi ile halinde ölümcül olduğu bilindiğinden, sanayide kullanımı hakkında halkın haklı bir endişesi bulunmaktadır. Ancak bu tehlikeli durum günlük yaşantıda sıkça kullanılan benzin veya temizlik malzemeleri gibi pek çok kimyasal madde için de

geçerlidir. Modern sanayide, kullanılan diğer kimyasal maddelerde olduğu gibi, uygun yükleme boşaltma ve nakliye işlemleri ve sorumlu yaklaşım, siyanürün güvenli ve faydalı olarak kullanımı için esastır. Madencilik, siyanürün kullanıldığı birçok sanayi faaliyetlerinden biridir. Başka yöntemlerle işletilemeyen altın ve gümüşün eldesinde 1887 yılından beri kullanılan siyanürün düşük konsantrasyonlu çözeltileri ayrıca, kurşun, bakır ve çinko gibi demir olmayan metallerin kazanılmasında yardımcı flotasyon kimyasalı olarak da kullanılır (Logsdon ve ark, 1999).

1.8.2 Doğada Bulunma Halleri

Siyanür bileşiğini oluşturan karbon ve azot elementleri dünyayı tamamıyla kuşatmıştır. Her ikisi de soluduğumuz havanın %80'ini oluşturur ve basit ya da karmaşık her çeşit hayat şeklinin temelini oluşturan organik moleküllerde bulunurlar. Hidrojen siyanürün (HCN) doğal kaynağı amigladin adı verilen sekerimsi bir bileşiktir. Kayısı, fasulye filizi, kiraz, kestane, kuru fasulye, mercimek, mısır, nektarin, şeftali, yer fıstığı, pıkan cevizi, Antep fıstığı, patates ve ceviz dâhil pek çok meyve, sebze, çekirdek ve kabuklu yemişte bulunur. Ancak bazı bitkilerde tehlike içerebilecek konsantrasyonlarda siyanür bulunmaktadır. Sorgum ve kassava gibi bitkilerin siyanür içerikleri sebebiyle, çiftlik hayvanlarını ve insanları zehirledikleri bilinmektedir. Ayrıca oto egzoz gazı, sigara dumanı, yollara dökülen tuz ile sofraya tuzu gibi her gün karşılaşılan suni kaynaklarda da siyanür bileşikler bulunmaktadır (Logsdon ve ark, 1999).

1.8.3 Siyanür Kullanım Alanları

1.8.3.1 Sanayide Kullanımı

Siyanürün karbon ve azot gibi yaygın elementlerden oluşması ve diğer maddelerle kolayca reaksiyona girmesi, siyanürü, kimya sanayinde çok kullanılır kılmıştır. Yıllık toplam siyanür üretiminin %80'ini oluşturan, bir milyon tondan

fazla siyanür nitril, naylon ve akrilik plastikler gibi organik kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Elektro kaplama, metal işleme, çelik sertleştirme, fotografik uygulamalar ve sentetik lastik üretimi de endüstrideki diğer önemli kullanımlarıdır (Logsdon ve ark, 1999). Siyanür üretiminde geri kalan %20'lik bölümü ise katı bir siyanür türü olan sodyum siyanür imalatı oluşturur. Katı sodyum siyanürün yükleme, boşaltma ve nakliyesi nispeten daha kolay ve güvenlidir. Madencilik alanında altın eldesinde de bu %20'lik dilimin %90'ı (başka bir deyişle toplam üretimin %18'i), dünyanın dört bir yanında kullanılmaktadır.

1.8.3.2 Madencilikte Kullanımı

Her ne kadar siyanürün madencilik sektöründe kullanımına ilişkin çevresel endişeler geçen birkaç yılda kamuoyuna mal olmuşsa da, dünyada cevher zenginleştirme ve onunla ilişkili süreçlerde siyanür kullanımının çok uzun bir geçmişi vardır.

1704 yılında Dippel ve Diesbach "Prusya Mavis'i"ni (ferrosiyanür) keşfetti. Altının siyanür çözeltilerindeki çözünürlüğünü konu edinen ilk ve çok iyi belgelenmiş bir çalışma Scheele'nin 1783'de İsveç'te yaptığı çalışmadır.

1.8.4 Siyanür Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Bu kadar uzun süredir kullanılan siyanür bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Avantajları;

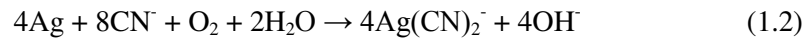
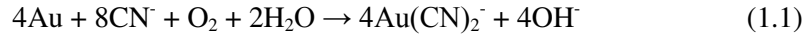
- Geniş çapta endüstriyel ölçekli kullanımı,
- Yüksek Au çözme verimleri,
- Aktif karbon üzerine efektif adsorpsiyon,
- Liç kimyası ve mekanizmasının çok iyi bilinmesidir.

Dezavantajları;

- Oldukça zehirleyici,
- Yüksek pH değerlerinde çalışma gereği,
- Yavaş liç kinetiği,
- Çevresel kısıtlamalar

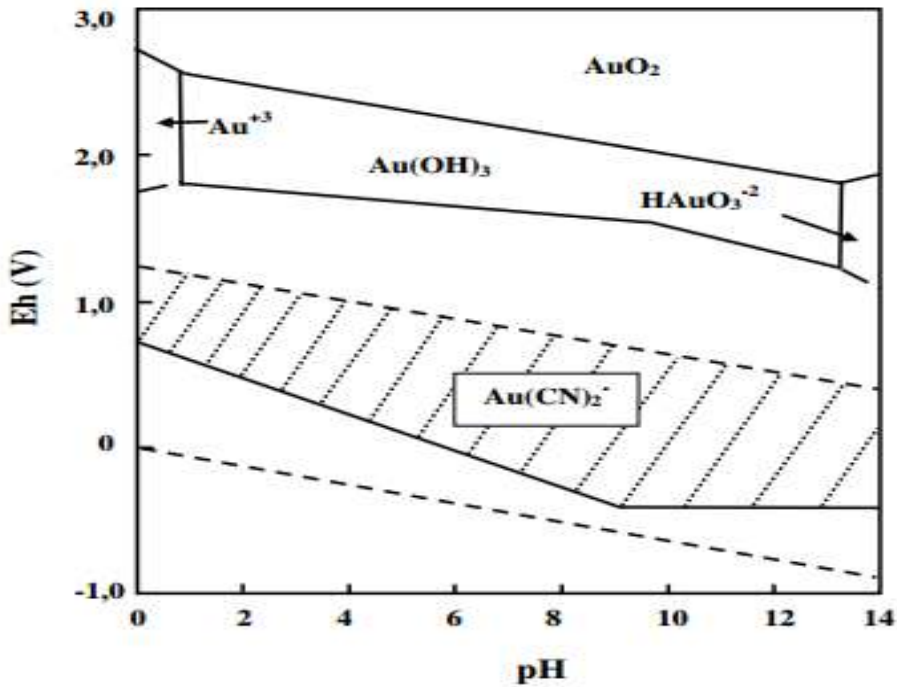
1.8.5 Siyanür Liçi işlemi

Siyanür işleminde, ortama verilen hava (O₂) ile altın Au⁺ya oksitlenmekte ve serbest siyanürle kompleks oluşturarak Au(CN)₂⁻ şeklinde çözünmektedir. Siyanür ile altının ve gümüşün liçi için genel reaksiyonlar Eşitlik 1.1 ve 1.2'deki gibi ifade edilmektedir (Perry ve ark., 1999; Wadsworth ve ark., 2000; Senanayake, 2006).



Şekil 1.6'da altın-su-siyanür-oksijen sistemi için Eh-pH diyagramı (25°C ve 10⁻³ mol/L CN⁻) verilmektedir. Bu diyagramda kesikli iki çizgi arası suyun kararlı olduğu bölgeyi göstermektedir. Taralı olan alan, geniş pH aralığında siyanür çözeltisinde altının Au(CN)₂⁻ kompleksi şeklinde kararlı olduğu bölgeyi göstermektedir (Marsden ve House, 2006). Şekil 1.5'da görüldüğü üzere altın yaklaşık -0,5 V'luk standart potansiyelde oksijen tarafından oksitlenmekte ve yüksek pH'da (>10) alkali siyanür çözeltisinde çözünmektedir. Altının siyanür çözeltisinde çözünmesi elektrokimyasal bir işlemdir. Siyanür prosesi, oksijenin katodik indirgenmesi ile altının anodik olarak çözünmesi aşağıdaki Eşitlik 1.3-1.4-1.5-1.6'daki tepkimelerde verilmektedir (Habashi, 1967). Alkali çözeltelerde oksijenin katodik olarak indirgenmesi aşağıdaki tepkimelerdeki gibi peroksitin ara ürün olarak oluşumuyla ilerlediği Eşitlik 1.5'de gösterilmiştir. Oluşan hidrojen

peroksit sonraki oksidasyon tepkimesine katılabilen kuvvetli bir oksitleyici reaktiftir (Habashi, 1999).



Şekil 1.5 Altın su oksijen sistemi için pH-Eh diyagramı(25°C, 10⁻³ mol/L CN⁻)
(Zhang, 2004; Marsden ve House, 2006)

Elsner, siyanür çözeltileri kullanılarak altının çözündürülmesinde oksijenin rolünün belirlenmesinde öncülük etti ve siyanürle altın cevherlerinden altının çıkarılmasını anlatan “Elsner Denklemi” 1846 yılında patentler, günümüzde kullanılan siyanür sürecini, yani siyanürle çözündürüp çinko ile çökeltme sürecini fiilen uygulamış oldu. Bununla beraber, ABD’de anılan tarihten önce alınmış

siyanür liçi (1869'da Rae) ve klorlu çözeltilerden odun kömürü kullanılarak geri kazanım (1880'de Davis) patentleri bulunuyordu. Ticari ölçekte siyanürle çalışan ilk tesis 1889'da Yeni Zelanda'da Crown Madeninde çalışmaya başladı. 1904 yılına gelindiğinde siyanürleme süreçleri Güney Afrika, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika ve Fransa'da da kullanılıyordu. Bir başka deyişle, 20. yüzyılın başında düşük tenörlü cevherlerden altın ayrıştırma siyanür kullanımı tam anlamıyla yerleşmiş bir zenginleştirme teknolojisi haline gelmiştir. 1846 yılında Elsner tarafından geliştirilen reaksiyon gereği alkali siyanür çözeltisi içindeki altın $Au(CN)_2^-$ kompleksi yaparak sıvı faza geçer. "Çözünme reaksiyonunda, sistemin redoks potansiyeli -0,61 V; çözünürlük sabiti $2,8 \times 10^{39}$ ve sistemin pH'si 10,5'dan büyük olmalıdır." (Energy and Environmental Profile of the US Department of Energy, Gold and Silver, 2002).

Endüstriyel kullanımda, küçük boyutlu altın taneciklerini bünyesinde barındıran cevherlerden kıymetli metalleri kimyasal bir işlem olan siyanür ile çözündürme ile kazanmak günümüzde tek yöntem olma özelliğini taşımaktadır (Yüce, 1997). Cevherdeki altın taneciklerinin seyreltik siyanür çözeltisinde, $Au(CN)_2^-$ iyonu halinde çözerek, sıvı faza almak ve daha sonraki aşamada altın yüklü çözeltilerden altının tekrar kazanılması, çözündürme prosesinin esasını oluşturmaktadır (Energy and Environmental Profile of the US Department of Energy, Gold and Silver, 2002). Liç işlemi normal atmosfer şartlarında yapıldığında, altının çözeltiliye (sıvı faza) geçebilmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Altın, elektron vererek çözeltiliye geçerken, elektron alan oksijen, hidroksil ve H_2O_2 'ye indirgenir (Yüce, 1997). Günümüzde, endüstriyel uygulamalarda, altın ve gümüşü çözmek için NaCN tercih edilmekte olup, çözücü sıvılardaki siyanür konsantrasyonu; altın cevherleri için %0,01–0,05 (0,1–0,5 g/l), gümüş cevherleri için %0,1–0,5 arasında değişmektedir (Yüce, 1997). Cevherdeki altının siyanür ile çözünerek sıvı faza geçebilmesi için ortamda serbest siyanür $(CN)^-$ iyonlarının bulunması gerekmektedir. Düşük pH değerlerinde siyanür iyonlarının su ile

reaksiyonu sonucu hidrolize olması söz konusu olduğundan, siyanürün çözücü özelliğinin korunabilmesi için sıvının alkali olması, bir başka ifadeyle, pH değerinin 9,5–12 arasında olması gerekir.

Siyanürde altın çözünürlüğü;

- Siyanür konsantrasyonu,
- Oksijen konsantrasyonu,
- Çözelti sıcaklığı,
- Çözeltinin pH ve Eh değerleri,
- Altın yüzey alanı büyüklüğü,
- Karıştırma hızı,
- Liç süresi,
- Çözelti içindeki yabancı iyonlar, eşliğinde gerçekleşir (Yüce, 1997).

Cevherden altın kazanılmasında kullanılan siyanür liçi üç aşamada incelenebilir:

- Çözündürme öncesi hazırlık
- Çözündürme
- Yüklü çözeltiden altının tekrar kazanılması

1.8.5.1 Çözündürme Öncesi İşlemler

Ön işlemler; cevherdeki altını maksimum çözünme verimiyle sıvı faza almak için liç öncesi yapılan işlemlerdir. Bunlar,

- Boyut küçültme (kırma, öğütme)
- Boyuta göre sınıflandırma (eleme, kalsifikasyon)
- Zenginleştirme
- Cevher ya da ürünün oksidasyonu

Boyut küçültme işlemleri ile tane serbestleşmesi sağlanan altın tanecikleri, sıvı fazdaki serbest siyanür (CN)⁻ iyonları ile temas ettiğinde, altın-siyanür bileşiği sıvı faza Au(CN)₂ halinde alınabilir. Cevherdeki altın taneciklerinin sıvı faza alınması, yani çözündürülmesi, yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Liç işleminde temel amaç; mümkün olduğunca, cevher ya da ürünün optimum miktarda çözücü siyanür ile temas ettirilerek çözeltiye alınmasıdır. Cevherin mineralojik yapısı ve altının diğer minerallerle ilişkisi göz önünde bulundurularak, zenginleştirme işlemleri ile altın içermeyen minerallerin uzaklaştırılmasına çalışılır. Böylelikle altın içermeyen minerallerin sonraki işlemlerde yer almaları önlenir (Yüce, 1997).

Ürünlerin oksidasyon aşaması, genellikle pirit, arsenopirit, pirotin, antimonit gibi sülfür mineralleri ve karbon içeren refrakter cevherler içindir. Bu tip cevherlerde altın, çoğunlukla mikroskobik (3-5 µm) boyutlarda bulunmakta ve altının siyanürlü faza alınabilmesi için sülfürlü mineralin çözünmeye karşı direnç gösteren mineralojik yapısının bozundurulması gerekmektedir. Bunun için de çözünürlüğü kolay ve daha az siyanür tüketen bir form kazandırılır. Sülfürlü minerallerin oksitlenmesi için de su prosesler uygulanır:

- Isıl işlemler ile oksidasyon (kavurma)
- Basınç altında oksidasyon
- Kimyasal oksidasyon
- Biyolojik oksidasyon

1.8.5.2 Cevherin Siyanür ile Temas Ettirilmesi

Ön işlemler sonrasında elde edilen ürünler, aşağıda verilen yöntemlerle seyreltik siyanürlü çözeltilerle temas ettirilir.

- Yığın liçi (Heap leaching)
- Karıştırırmalı liç (Agitation leaching)

1.8.5.2.1 Yığın Liçi

Düşük tenörlü (<3 g/t Au) ve altının çok küçük tanecikler halinde dağıldığı oksitlenmiş, açık işletmeyle işletilebilecek cevherler için günümüz koşullarında ekonomik olabilen tek yöntemdir. Altın kurtarma veriminin düşük (%50-75) olmasına karşın gerek yatırım ve gerekse işletme maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle yaygın bir uygulama alanı vardır (Pizarro, 1974; Potter, 1981).

1.8.5.2.2 Tank/Karıştırma Liçi

Genellikle yüksek tenörlü fakat ince taneli altın cevherlerine yaygınca uygulanan bir liç yöntemidir. Altın kurtarma verimi yığın liçine göre (% 90-99) yüksektir. (Acton, 1982). Cevher en az -0,25 mm'ye öğütüldükten sonra siyanür çözeltisi içine hava verilerek karıştırılır.

1.8.6 Altın Kazanılması**1.8.6.1 Aktif Karbon Yöntemi**

Bu yöntem, aktif karbonun soy metallerin siyanür çözeltilerindeki iyonlarını yüzeyine soğurabilme özelliği kullanılır. Aktif karbon, hindistan cevizi kabuklarından tane boyutu 3.5 ile 1.2 mm arasındadır. Tanelerin sahip olması gereken en önemli özellik aşınmaya karşı dirençli olmasıdır. Aksi takdirde soğurulmuş altının kömür şamlarından kazanılmasının güçlüğü nedeniyle altın kaybı artar. Bugün dünya altın üretiminin yaklaşık % 70'inde bu proses vardır (Bayat, 2011).

Çözünmüş altın iyonlarının aktif karbonca soğurulması için üç değişik proses geliştirilmiştir;

- Carbon in Pulp (CIP) – Pulp içinde karbon
- Carbon in Leach (CIL) – Liç içinde karbon
- Carbon in Column (CIC) – Kolon içinde karbon

1.8.6.1.1 Carbon in Leach-Liç İçinde karbon (CIL)

Aktif karbonun doğrudan siyanür liçi devresine ilave edildiği CIL prosesinde, çözeltiye alma ve yüzeye soğurma eş zamanlı gerçekleşir. Değerli metalin çözünme süresi soğurulmasından yavaş olduğundan, liç işlemi tüm karıştırıcılarda yapılırken, soğurma yalnızca en sonda yer alan birkaç karıştırıcıya karbon yüklenerek sağlanır (Bayat, 2011).

1.8.6.1.2 Carbon in Pulp-Pül İçinde Karbon (CIP)

CIP prosesinde, yüklü pül (%50-60) seri bağlı karıştırma tanklarından oluşan altın soğurma devresine verilir. Pül bir uçtan beslenirken, aktif karbon da diğer uçtan ve pül ters akımlı yönde beslenir. Aktif karbonla temas eden altın iyonları doğrudan karbon yüzeyine soğurulur. Filtrasyon gerekmediğinden, CIP prosesinde filtrasyona bağlı altın kaybı olmadığı gibi 5-6 saat daha süren özütleme çözünme verimini yükseltmektedir. Bu durum, çok düşük tenörlü cevher yataklarının bile ekonomik işletilebilirliğine olanak vermektedir. (Bayat, 2011)

1.8.6.1.3 Carbon in Column-Kolon İçinde Karbon (CIC)

Kolon içerisindeki karbon operasyonu ile solüsyon akışkan yataklı gibi olan kolonlara doğrudan üstten giriş yapılır ve bu kolonları üstleri genellikle açıktır fakat kapalı üste sahip olanlar basınçlandırma için kullanılır. Bu kolonlar genellikle altın ve gümüşün yığın liçi operasyonlarında kullanılır.

1.8.6.1.4 Çinko ile Çöktürme Prosesi (Merrill Crowe)

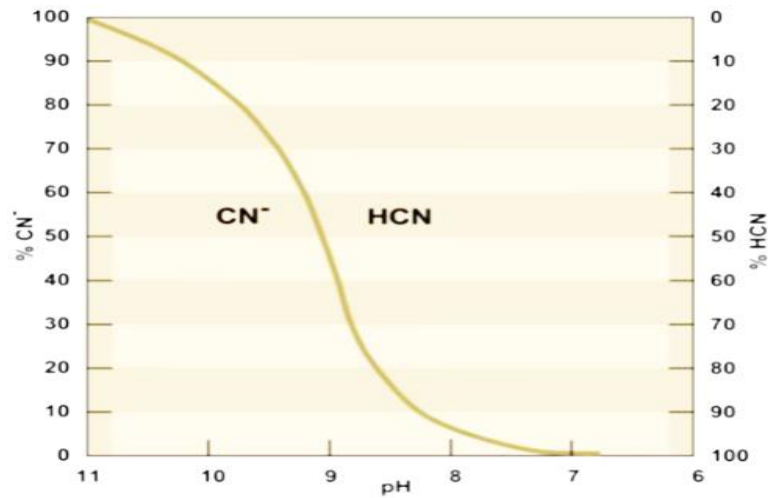
Altın yüklü siyanür çözeltilerine çinko tozu ya da talaşı ilave edilerek Eşitlik 1.7’de verilen tepkime gereği altın indirgenerek çökelir ve çinko çözeltiye geçer.



Etkin bir altın çöktürme için çözeltinin önce filtre edilerek temizlenmesi sonra da vakumda ($\sim 0,3$ atm) oksijenin alınması gereklidir. Aksi takdirde çökelen altın, yeterli oksijen varlığında serbest siyanür ile tepkimeye girerek tekrar çözünecektir (Cankut, 1972; Bayraktar ve Yarar, 1985).

1.8.7 Serbest Siyanür

Çözünmüş olarak bulunan siyanür iyonu (CN^-) ve çözeltide oluşan hidrojen siyanürü (HCN) tanımlar. HCN gaz formunda havaya karışır. Normal sıcaklık ve basınç koşullarında HCN ve (CN^-) konsantrasyonları, pH değeri yaklaşık 9.5 iken birbirine eşit olur. pH değişimine bağlı olarak siyanür bileşiği oluşumu Şekil 1.6'de verilmiştir (Logsdon ve ark, 1999). Bunun için işletmelerde, buharlaşmayı önlemek amacıyla çözeltinin pH değerinin 10.5 civarında tutulmasına gayret gösterilir. Böylelikle yüksek konsantrasyonda HCN gazı soluma riski bertaraf edilmiş olur.



Şekil 1.6 pH değişimine bağlı olarak siyanür bileşiği oluşumu

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde altının cevherlerden kazanımında kullanılmakta olan en yaygın yöntem; basit, ucuz ve endüstriyel çapta kendini kanıtlamış bir proses olan ve oksitleyici alkali bir ortamda seyreltik sodyum siyanür çözeltisi ile altının çözündürülmesi prensibine dayalı siyanür liçi metodudur. Genel olarak altın cevherleri öğütmeyle serbestleşen (free milling) ve refrakter altın cevherleri olarak sınıflandırılmaktadır. Öğütmeyle serbestleşen altın cevherleri basit gravite teknikleri ile veya direk siyanür liçi ile işlenebilmektedir. Altının basit bir şekilde öğütmeyle serbestleştiği cevherlere 20–30 saat süreli, 100–250 mg/L siyanür konsantrasyonunda ve pH=10 civarında liç işlemi uygulandığında, altın %90'nın üzerinde verim değerleri ile kazanılabilmektedir. Geleneksel siyanür liçi yöntemi ile ekonomik altın kazanımının gerçekleştirilemediği altın cevherleri ise refrakter olarak adlandırılmaktadır (La Brooy vd, 1994).

Altın refrakterliğinin temel nedenlerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır (Fernandez vd, 2000; Harris, 1990; Gasparrini, 1993; Chen vd., 2002; Vaughan, 2004)

- Çok ince taneli veya submikroskopik altının özellikle pirit ve arsenopirit gibi sülfürlü minerallerin içerisinde çok küçük boyutta dağılmış altın tanelerinin kapanım halinde bulunması,
- Demir ve bazı metal sülfürlerin liç ortamındaki parçalanma ürünlerinin siyanür ve oksijen ile tepkimeleri ile çözünen sülfürlü minerallerin liç reaktifini ve oksijeni tüketmeleri,
- Karbon içeren bileşiklerin veya killerin liç çözeltisindeki altın-siyanür komplekslerini çöktürerek ya da adsorplayarak altın kayıplarına neden olmaları,

- Liç esnasında oluşan farklı kimyasal bileşenlerle altın tane yüzeyinde film tabakası oluşumundan dolayı altın yüzeyinin pasifleşmesi,
- Cevherde arsenik minerallerinin varlığı,
- Altının siyanürde çözünmez bileşikler halinde bulunması (tellüridler)
- Çözünmüş altını adsorbe eden karbonlu malzemelerin varlığı,
- Altın siyanür bileşiğini adsorbe edebilen kil minerallerinin varlığı.

Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı geleneksel siyanür liçinde düşük altın ya da gümüş verimleri elde edilmektedir. Liç verimlerini artırmak için liç öncesinde, değerli 16 metal ile liç reaktifinin temasını sağlamak için farklı ön işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu ön işlemlerin seçiminde belirli teknik, ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alınmaktadır (Marsden ve House, 2006).

O. Celep, İbrahim Alp, Hacı Deveci (2007), Kaletaş (Gümüşhane-Türkiye) cevherinin tanımlayıcı liç tekniğiyle refrakterlik davranışı araştırılmıştır. Ayrıca altın kazanımını artırmak için siyanür liçinden önce ultra-ince öğütme de araştırılmıştır. İlk siyanür liçi aşamasında %74 çözünme verimi ve sonrasında aşırı öğütülmüş cevherin iki aşamalı siyanür liçinde, cevherdeki yavaş ve hızlı çözünebilen altının toplam kazanımını %93'e kadar artırmıştır. Tanımlayıcı liç tekniği göstermiştir ki, altın cevher matrisindeki silikatlar, sülfidler, oksitler ve karbonatlar içerisinde çok ince taneli olarak bulunmaktadır.

H. Kasaini ve ark. (2007), jarosit minerallerinin ön zenginleştirilmeleri üzerine yaptıkları çalışmalarda 1.35g/t Au, 155 g/t Ag içeren flotasyon atık kompozit numuneleri kullanmışlardır. Bu numuneler, flotasyon devresinden gelen atık numuneleri ve öncelikle kalsine edilip seyreltik sülfürik asit solüsyonu ile çözünür hale getirilip son olarak da elektroliz yöntemi ile elde edilmiştir. Yöntemlerinde, alkali ön zenginleştirme yapıp sonrasında siyanür solüsyonu ile liç işlemi yapılmıştır. Bu iki işlem ile birlikte altın ve gümüş serbest hale getirilmiştir. Bu kompozit atıkları Ca(OH)_2 ile muamele yapılmış ve gümüşün

bağlı bulunduğu minerali ($\text{Ag,PbFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) ayırtmak için 2 saatlik süre ile 90 °C'ye ısıtılmıştır. Atık numuneleri farklı NaCN dozajları (2.5-10 kg/ton) ve tane boyutlarında (96-200 μm) liç işlemine tabi tutulmuştur. Alkali ön zenginleştirme işlemleri olmadan 40 °C ve 8 saatlik karıştırma ile %41 Au, %25 Ag liç çözünme verimlerine ulaşılmıştır. Fakat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile ön zenginleştirme işlemleri yapıldıktan sonra %55 Au, %81 Ag liç çözünme verimlerine ulaşılmıştır.

O. Celep ve E. Y. Yazıcı (2013), gümüş tesisi atıklarının ultra ince öğütülmesini dikey karıştırmalı değirmende incelemiştir. Ultra ince öğütmenin siyanür liçi işleminde Ag çözünmesini artırdığını göstermiştir. Deneylerde 100 μm (d80) öğütülmüş cevherin liç işlemi sonrasında Ag çözünme oranı %36'dır. Deney numunesinin d80'i 1.2 μm 'a öğütüldükten sonra ise Ag çözünme oranının %84 olduğunu görülmüştür. Ultra ince öğütme testlerinde, 2-4.5 mm bilya çapı, karıştırma hızı 200-800 rpm, bilya şarj oranı %50-80 olarak çalışmalar yapmışlardır. Daha büyük bilyalar daha iri ürün oluşturulurken, karıştırma hızı ve bilya şarjı oranının artışı ile öğütme tane boyutunu azalmıştır. 5 μm 'dan daha az öğütme inceliğine normal koşullar altında ulaşılabilir.

O. Birol ve Metin Uçurum (2015), siyanür liçinde Au ve Ag için ultra ince öğütmenin araştırılmasında cevheri 75 μm olacak şekilde öğütmüş ve sonrasında dikey karıştırmalı değirmende 20 μm (d80) olacak şekilde öğütmüşlerdir. Liç deneyleri optimum liç koşulları 150 kg/t kireç, %25 katı yoğunluğu, 85 °C, 500 g/t siyanür konsantrasyonu ve 90 saatlik liç süresi ile uygulanmıştır. Liç deneylerinde, Au için %91.92, Ag için %82.15 çözünme verimlerine ulaşmışlardır.

İbrahim Alp, Oktay Celep, Doğan Paktunç, Yves Thibault (2014), refrakter altın cevherlerinde KOH ile ön zenginleştirmesinin etkisini araştırmışlardır. Au 20 g/t, Ag 220 g/t tenörlere sahip numuneler ön zenginleştirme deneylerinde kullanılmıştır. Stibnit (Sb_2S_3), zinkenit ($\text{Pb}_9\text{Sb}_{22}\text{S}_{42}$) ve andorit ($\text{Sb}_3\text{PbAgS}_6$) gibi antimon mineralleri cevherin refrakter doğası için ana sebeptir. 24 saatlik liç deneylerinde %49.3 Au, %18.7 Ag çözünme verimlerine ulaşılmıştır. 0.5-5 mol/L

KOH, 80 °C sıcaklık ve 5-50 µm tane boyutunda yapılan deneylerde antimon etkisi araştırıldı. Bu deney parametrelerinde siyanür liçi işleminden sonra %87.6 Au, %94.5 Ag çözünme verimlerine ulaşılmıştır.

Refrakter cevher ya da konsantrelerin mineralojik özelliklerine bağlı olarak, sülfür fazını bozundurmak amacıyla siyanür liçinden önce kavurma (Dunn ve Chamberlain, 1997), biyooksidasyon (Iglesias ve Carranza, 1994), basınç liçi (Gudyanga vd., 1999) ve ince öğütme (Corrans ve Angove, 1991) gibi ön işlemler kullanılmaktadır. Daha çok piritik veya arsenopiritik cevherlerden Au-Ag kazanımı için ön işlemler araştırılmasına karşın, son yıllarda antimonlu cevherden altın ve gümüş kazanımı için alkali sülfür liçi uygulamaları yaygınlaşmıştır. Altın ve gümüş içeren purustit, pirarjirit, tennantit ve tetrahedrit, plumbo jarosit gibi sülfürlü mineraller de düşük metal kazanımlarından ($\leq 10\%$) dolayı refrakter özellik göstermektedirler (Baláz, 2000). Siyanür liçiyle yüksek verimle kazanılabilen altın cevherlerinin tükenmesiyle birlikte, altın kazanımlarının düşük olduğu refrakter tip cevherlerin değerlendirilmesine yönelik teknolojiler geliştirilmektedir. Sülfürlü altın cevherlerinin oksidasyonu üzerine oldukça fazla çalışma yapılmış ve bu çalışmaların sonucunda farklı prosesler geliştirilmiştir (Komnitsas ve Pooley, 1989; Prasad, 1991; Afenya, 1991; Fleming, 1992; Costa, 1997; Çiftçi ve Akçıl, 2009).

Refrakter altın cevherleri ya da konsantreleri için pirometalurjik ve hidrometalurjik prosesler, ön hazırlık işlemleri olarak uygulanmaktadır. Sülfürlü minerallerin genel olarak mikrodalga enerjisi ile ısıtılmaları mümkün olduklarından, refrakter altın cevher ve konsantreleri mikrodalga ile kavrulabilmektedir (Kingman ve Rowson, 1998; Nanthakumar, 2007; Amankwah ve Pickles, 2009; Pickles, 2009).

Refrakter altın cevherlerinin değerlendirilmesinde ince öğütme ($< 30 \mu\text{m}$) diğer ön oksidasyon işlemlerine alternatif olabilmektedir. Özellikle sülfürlü mineral matrisinde kapanım halinde bulunan altının açığa çıkarılmasında kullanılan

kavurma işlemine gerek kalmadan çevresel ve ekonomik kazanç sağlayacağı düşünülmektedir (Corrans ve Angove, 1991; Ellis, 2003).

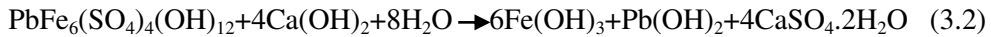
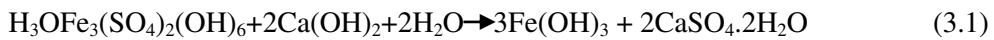
Altın ya da gümüş içeren sülfür cevherlerinin alkali sülfür liçi ve sonrasında siyanür liçiyle altın veya gümüş kazanımı için bazı çalışmalar yapılmıştır (Ubaldini, 2000). Altın içeren refrakter stibnit cevherinden (30 g/t Au) alkali sülfür liçi (20 g/L $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 20 g/L NaOH) ile antimon çözündürülmesi (%90 Sb) ve sonrasında siyanür liçi ile %80,1 altın kazanımını elde etmişlerdir (ön işlem yapmadan %33 Au). Elektroliz ve adsorpsiyon aşamaları sonucunda cevhere göre toplam %75 Au ve %75 Sb kazanılabilmektedir.

3. MATERYAL METOD

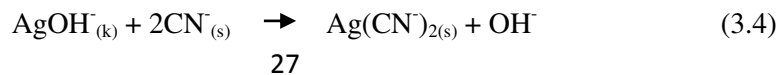
3.1. Materyal

Deneylerde kullanılan numune Gümüştaş Madencilik A.Ş.'den temin edilmiştir. Cevher Niğde Ulukışla ilçesine bağlı Madenköy civarındaki Bolkardağ yer altı maden işletmelerinden temin edilmektedir. Cevherin tenörü kimyasal analiz yöntemleri ile ortalama 8.63 g/t Au ve 191.4 g/t Ag olarak belirlenmiştir. Tüm deney çalışmaları paralel tekrarlı olarak çalışılmıştır ve sonuçların ortalamaları alınmıştır. Cevher içerisinde olan yüksek tenörlü altın ve gümüşün kazanılabileceği en verimli yöntem olarak tank liçi olarak belirlenmiştir. Cevherin içerisinde yüksek oranda PbO (%11.29), Fe₂O₃ (%27.89) ve SiO₂ (%16.3) rastlanmıştır. Ayrıca, cevher içerisindeki gümüşün önemli bir kısmının plumbo-jarosite bağlı olduğu mineralojik analiz yolu ile saptanmıştır. Cevherdeki kurşun minerallerinin büyük bir kısmını plumbo-jarosit (PbFe₆(SO₄)₄(OH)₂) ile seruzit (PbCO₃) oluşturmakta; az miktarda galen ve mimetit (Pb₅(AsO₄)₃Cl) bulunmaktadır.

Limonit-götit-lepidokrosit (demir hidroksitler) içerik yönünden cevherin yarısına yakın kısmını oluşturmaktadır. Cevherin sarımsı-kahverengi görünümü limonit ile plumbo jarositten kaynaklanmakta ve alkali ön işlem ile H₃O-Pb-Ag Jarosit türlerinde gerçekleşen tepkimeleri Eşitlik 3.1-3.2-3.3'de belirtilmiştir (Berezowsky, 1990);



Jarosit minerallerinin alkali liç ile bozundurulmasından sonra aşağıdaki Eşitlik 3.4'deki gibi liç çözeltisine alınmaktadır (Berezowsky, 1990; Kassaini, 2007);

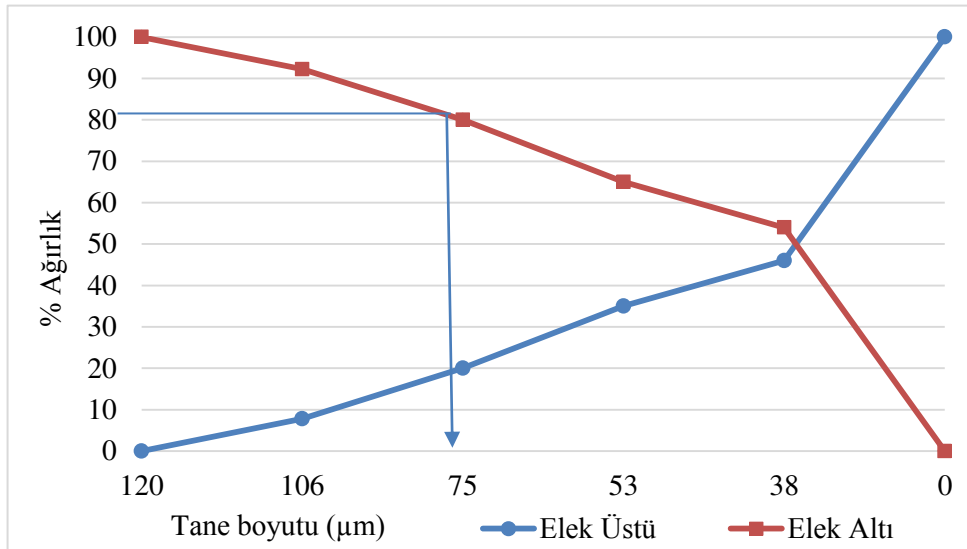


3.1.1. Elek Analizi

Elek analizi, cevher hazırlamanın her adımında kullanılan bir yöntemdir. Çizelge 3.1’de elek analizi verileri görülmekte ve Şekil 3.1’de ise elek altı ve elek üstü grafiği bulunmaktadır. Özellikle serbestleşmenin saptanmasında, kırma, öğütme, sınıflandırma işlemlerin tasarımında, performans analizinde veya prosesin kontrol ve anlaşılmasında başvurulana araçlardan biridir.

Çizelge 3.1 Elek analizi verileri ve yüzde ağırlıkları

Tane İriliği (µm)	Yüzde Ağırlık (%)
+106	7,8
-106+75	12,2
-75+53	15
-53+38	11
-38	54
Toplam	100



Şekil 3.1 Elek altı-elek üstü tane boyutu-ağırlık grafiği

3.1.2. Zirkonyum Bilya Özellikleri

Atritör değirmen içinde öğütücü ortam olarak zirkonyum bilyalar kullanılmaktadır. Değirmen içerisindeki toplam 10 kg'lık 2-3-5 mm çapındaki bilyalar karıştırıcı ortam ile birlikte oldukça ince boyuta öğütmede de faydalı olmaktadır. Bilyaların özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Zirkonyum bilya özellikleri

Özellikler	Birim	Miktar
Yoğunluk	g/cm ³	>5.9
Sertlik	hv	>1100
Renk	-	Turuncu
Yuvarlaklık	%	>92
Kimyasal Bileşimi (ZrO ₂)	%	%75-85
Kimyasal Bileşimi (CeCO ₂)	%	15-25

3.1.3. Sodyum Siyanür Özellikleri

Sodyum siyanür, briket olarak Tae Kwang Industrial tarafından üretilmektedir. Ürün 1000 kg'lık özel hazırlanmış korumalı kutular içerisinde kuru ortamda saklanmaktadır. Her bir briket ürün yaklaşık olarak 14 g'dır. Siyanürün özellikleri Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 Sodyum Siyanür Özellikleri

Özellikler	Birim	Miktar
Saflık (NaCN)	%	98
NaOH	%	0.5 maksimum
Na ₂ CO ₃	%	1.0 maksimum
Nem	%	0.5 maksimum

3.1.4. Sönmemiş kireç

Sıcak kireç işlemi ve liçlerde pH'ın dengelenmesi için kullanılan sönmemiş kireç Vişne Madencilik A.Ş'den toz kireç olarak tercih edilmektedir. Sönmemiş kirecin özellikleri Çizelge 3.4'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 Sönmemiş kireç özellikleri

Özellikler	Birim	Miktar
Tane boyutu	μm	90
CaO	%	83

3.2. Metod**3.2.1. XRF (X-Ray Fluorescence)**

Cevher numunelerinin kimyasal analizleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarında yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 3.5'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5 Gümüştaş deney numunesinin mineralojik bileşimi

%Na ₂ O	1,01	%CaO	20,4
%Au	0,01	%Cr ₂ O ₃	0,052
%Al ₂ O ₃	1,2	%MnO	0,489
%SiO ₂	16,3	%Fe ₂ O ₃	27,89
%SO ₃	2,4	%Co ₃ O ₄	0,22
%K ₂ O	0,18	%NiO	0,007
%CuO	0,054	%Re ₂ O ₇	0,19
%ZnO	2,51	%SnO ₂	0,04
%GeO ₂	0,031	%Sb ₂ O ₃	0,85
%As ₂ O ₃	1,48	%PbO	11,29
%MoO ₃	10,4	%BaO	0,15
%Ag ₂ O	1,6		
%PtO ₂	0,07		

3.2.2. XRD (X-ray Diffraction)

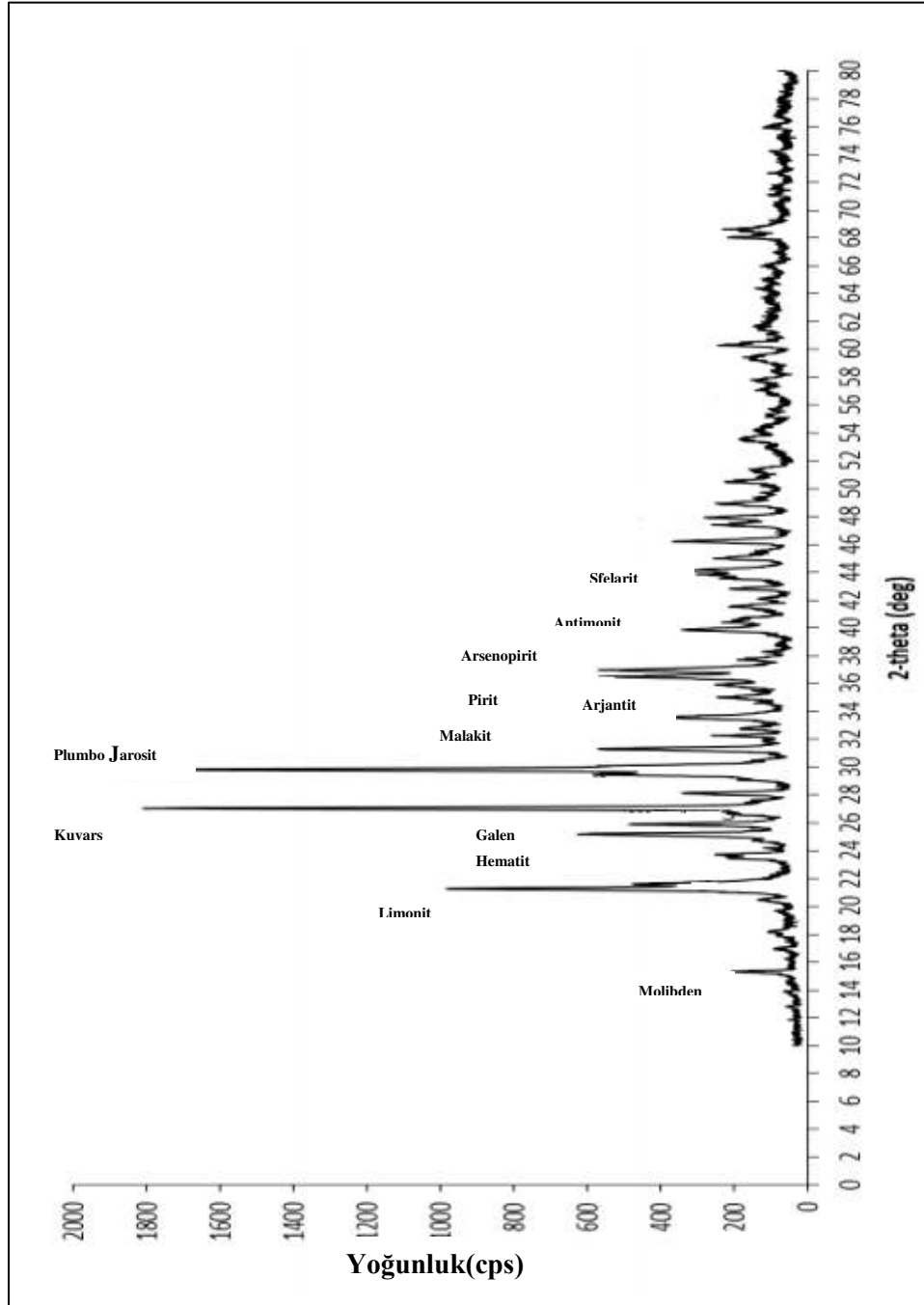
Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde XRD analizleri yapılmıştır. Kayaç örnekleri lupla, kırıcıdan geçirilerek milimetrik boyuta indirgenmiş hali ile stereo mikroskopta ve ince kesit haline getirilen örnekler ise binoküler mikroskopta incelenerek mineralojik içerik ve petrografik özellikler saptanmış ve XRD diyagramı Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Kayaç bünyesindeki dokusal ve yapısal özellikler, organik madde içeriği ortaya konmuştur.

3.2.2.1. Örneklerin stereo polarizan mikroskop özellikleri

Kırıcıdan boyutu küçültülen kayaç parçacıklarının stereo mikroskop incelemelerinde, ana mineraller kalsitten oluşmakta olup, saydam yarı saydam görünümlüdür. Şekerimsi doku gözlemlenmektedir. Demir opakları görülmemiş ve makro fosile rastlanmamıştır. Silis, alüminyum ve magnezyum mineralize olmamıştır. HCl asite tepki vermiştir. Analiz ile ilgili kesit Şekil 3.2’de belirtilmiştir.



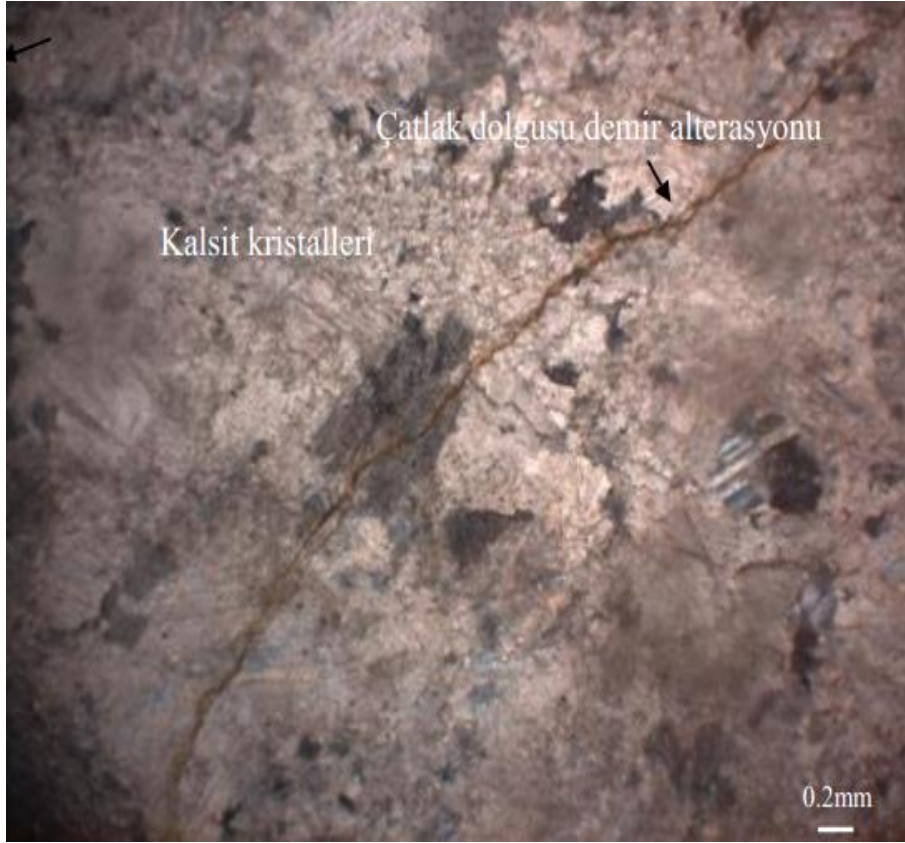
Şekil 3.2 Kayaç örneğinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 3.3 Gümüştaş deney numunesinin XRD diyagramı

3.2.2.2. Örneklerin binoküler polarizan mikroskop özellikleri

Kayaçlardan yaptırılan ince kesit incelemeleri sonucu kesit içerisinde; Ana hâkim minerali kristalli kalsit minerali oluşturmaktadır. Kristalleri öz şekilsiz ve basınç ikizlidir. Taneler arası boşluk oranı az olup herhangi başka bir mineral gözlenmemiştir. Kılcal boşluk dolgusu olarak az oranda demir alterasyonu izlenmiştir. Fosil izine rastlanmamıştır. Kayaç mineral içeriğine göre kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Analiz ile ilgili kesit Şekil 3.4’de belirtilmiştir.

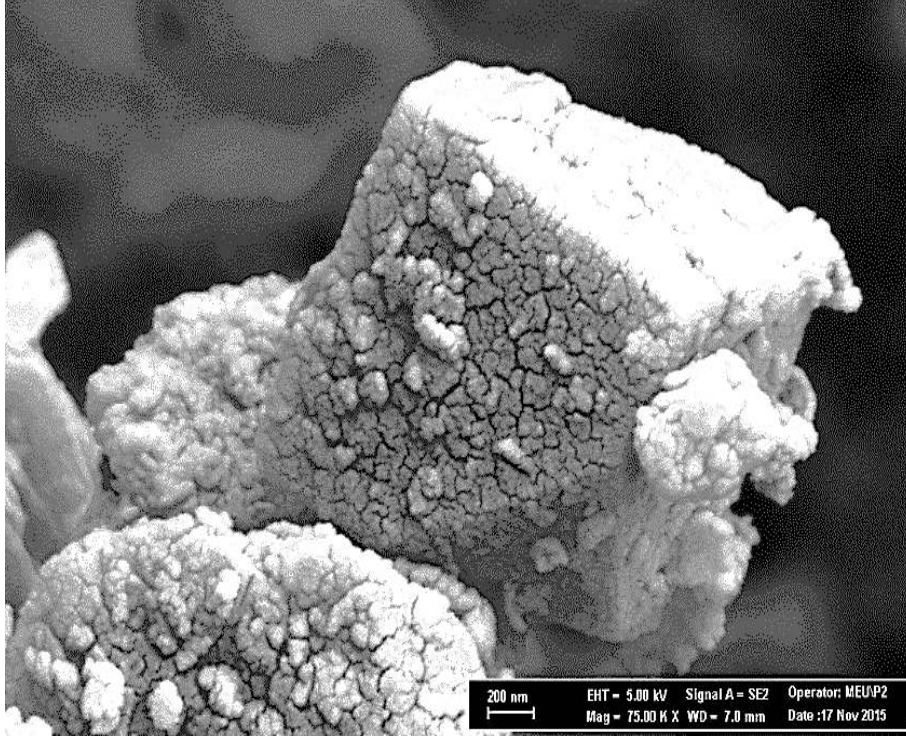


Şekil 3.4 Örneğe ait mikroskop kalsit kristalleri, demir alterasyonu (Çift Nikol)

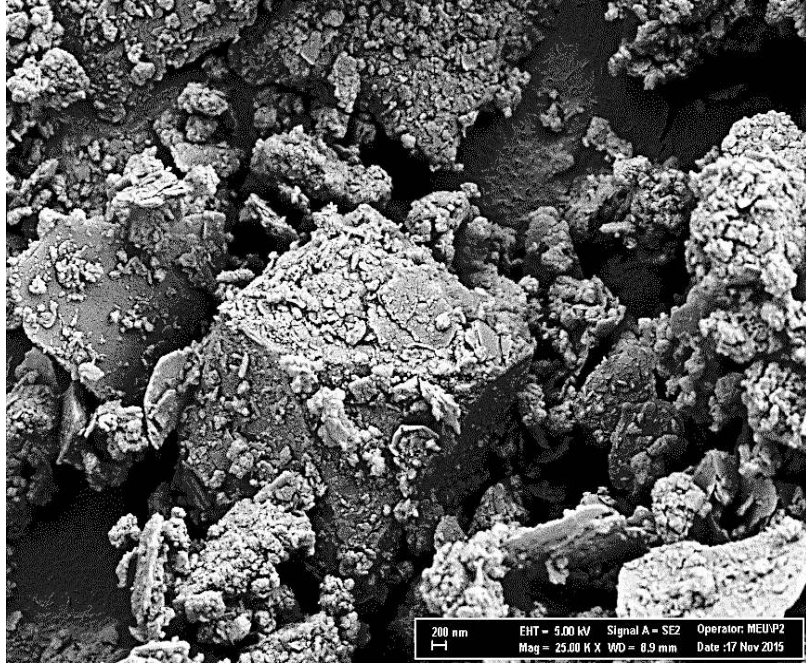
3.2.3. SEM (Scanning Electron Microscope)

Gümüştaz cevherinden alınan numuneler 75 µm (d80) öğütülmüş ve yüzey özellikleri ile tane şekillerinin belirlenmesi amacıyla numuneler 105 °C'deki etüvde kurutulduktan sonra SEM analizleri yapılmıştır.

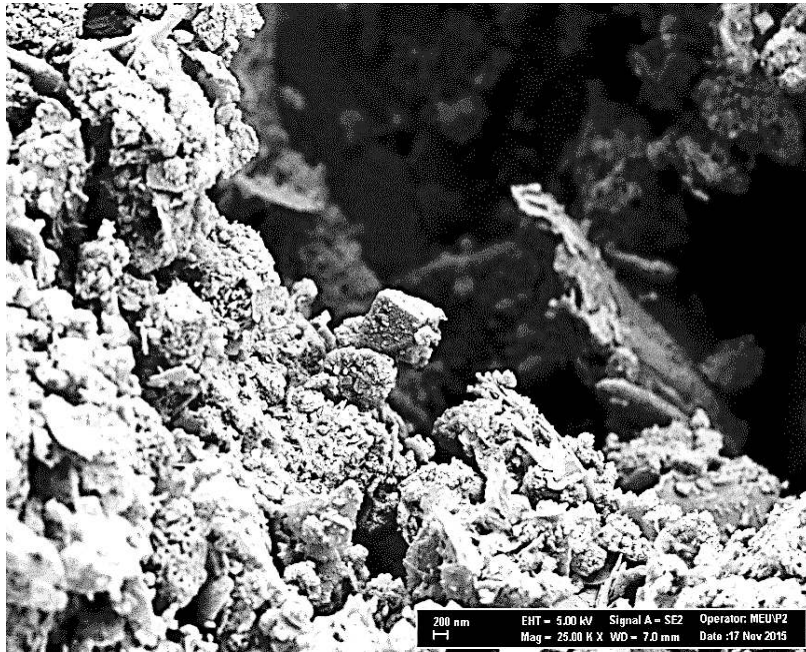
Plumbo jarosite yapısı (kübik) içerisinde gümüşü hapsederek serbest hale gelmesini engellemektedir. SEM analizleri incelendiğinde plumbo jarosit yapılarının kübik, köşeli, köşe noktalarında ki kesik görüntüsü, tek parça oluşumu, kırık ve çatlaklar gözlenmemiş olması plumbo jarosit mineralinin varlığını göstermekte ve bunlar Şekil 3.5, 3.6, 3.7'da belirtilmiştir.



Şekil 3.5 Gümüştaz cevherinin SEM görüntüsü-1



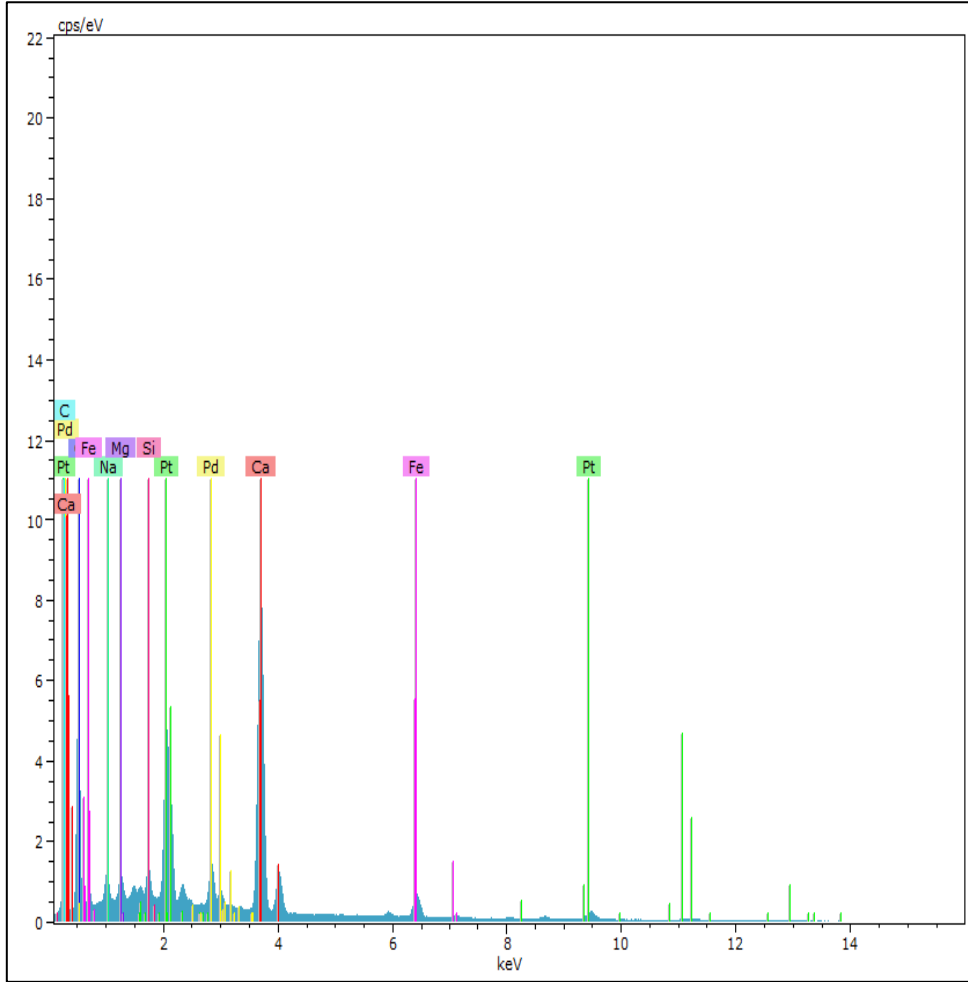
Şekil 3.6 Gümüştaş cevherinin SEM görüntüsü-2



Şekil 3.7 Gümüştaş cevherinin SEM görüntüsü-3

Şekil 3.8’da plumbo jarosit tanelerinin SEM görüntüsünün enerji KeV grafiği görüntüleri görülmektedir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi demir, platin, kadmiyum, paladyum, silis, kalsiyum, magnezyum ve sodyum elementlerine rastlanmıştır. Ayrıca, siyanizit yani siyanür tüketen karlı element türleri cevher içinde bulunmaktadır.

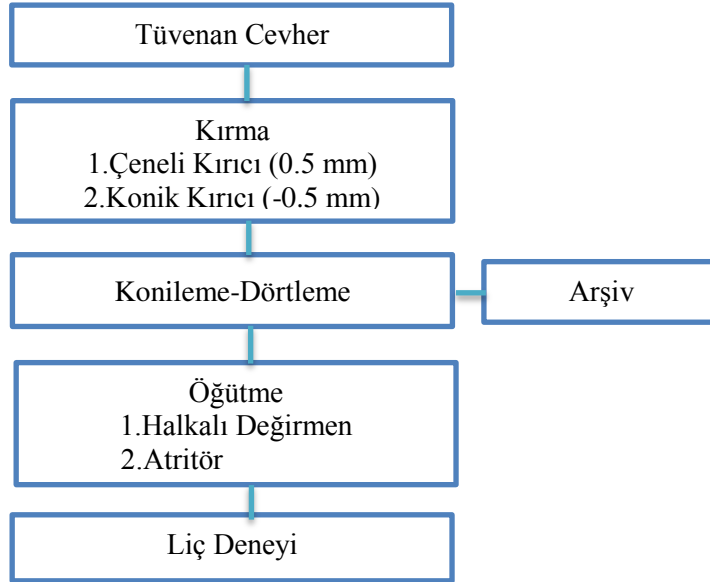
Altın ve gümüş konsantrasyonları ise düşük olduğu için piklerde görülmemiştir.



Şekil 3.8 SEM görüntüsünün enerji KeV grafiği

3.2.4. Numunelendirme ve Örneklemeye Çalışmaları

Gümüştaş cevherinden yaklaşık olarak 250 kg alınmış cevher, yine Gümüştaş' a ait laboratuvarında öncelikle çeneli kırıcı kullanılarak 0,5' mm ye kadar kırılmıştır. Çeneli kırıcıda kırılmış cevher daha ince kırma için konik kırıcıya beslendikten sonra ürün boyutu 0,5 mm'den daha küçük boyutlara kadar indirilmiştir. Sonrasında numune azaltma yöntemleri uygulanarak numune miktarı 125 kg'a kadar indirilmiştir. Geriye kalan numuneler arşivlenmiştir. Numune ayırım işleminden sonra aynı laboratuvarında halkalı değirmenler ve atritör kullanılarak öğütme işlemi yapılmıştır. Halkalı değirmenlerde deney için kullanılacak tane boyutu 75 μ m (d80) öğütme yapılmıştır. 0.3 m çaplı atritör ise zirkon bilyalar ile birlikte tane boyutu 30 μ m ve altındaki tane boyutuna 2-3-5 mm'lik zirkonyum bilya kullanılarak 15/30/45 dakika sürelerinde 3.14 m/s hızda öğütme gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların uygulama sırası Şekil 3.9'da belirtilmiştir.



Şekil 3.9 Numune hazırlama akım şeması

Kuru eleminin güç olduğu yapışkan ve çok küçük boyutlu malzemelerin elenmesinde uygulanmak için kullanılır. Elek serilerinin boyutları incelidikçe (38 μm) ürünü elde etmek zorlaşmaktadır. Bu yüzden d100'ü -38 μm altına geçen numune filtre kâğıdı ve süzme hunisi ile toplanarak 105 °C'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur. Daha sonra ağırlıklar kullanılarak elek analizi çizelgesi oluşturulmuştur. Eleme esnasında en önemli dikkat edilmesi gereken parametre olarak her bir tane boyutunun iyi bir ayırım sağlayacak şekilde elek altına geçmesi veya elek üstünde kalmasıdır. Bu sebeple elek analizinin yaş olarak yapılması çok nemlidir.

Elek analizi esnasında 106 μm , 75 μm , 53 μm , 38 μm elek serileri tercih edilmiştir. -38 μm 'nin altında bulunan taneler ise bir kova içerisinde biriktirilip süzme hunisi ve filtre kâğıdı yardımıyla toplanıp etüv fırını içerisinde kurutulup tartılır.

3.2.5. Çeneli kırıcı

Çeneli kırıcı, primer kırıcı olarak kullanılmıştır. Birisi sabit diğeri hareketli olmak üzere iki adet çeneye sahiptir. Çenelerin ağız açıklıkları, indirilmek istenen tane boyutuna göre ayarlanabilmektedir. Yaklaşık 100 mm tane boyutundaki deney numunesinin küçültülmesinde kullanılmıştır. Ortalama olarak deney numunesinin en iri boyutu 0,5 mm'ye kadar kırılmıştır.

3.2.6. Konik kırıcı

Deney standardı gereği ihtiyaç duyulan küçük tane boyutlu numunelerin laboratuvarında elde edilmesi amacıyla kırma işleminde kullanılmıştır. 9 Mohs sertlik derecesine kadar tüm malzemeleri kırabilme özelliğine sahip bu konik kırıcıda malzeme 0,5 mm' den daha küçük boyutlara kadar kırılmıştır.

3.2.7. Öğütme**3.2.7.1. Halkalı Değirmen**

Maden laboratuvarında, cevher numunelerinin öğütülmesinde halkalı değirmen kullanılmıştır. Beslenen malzemenin maksimum boyutu 5-12 mm arasındadır. Halkalı değirmen öğütme esnasında süre ve beslenen numunenin oranı oldukça önemlidir. Değirmenden öğütme sonucunda ortalama 75 µm olacak şekilde 2,5-3 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Halkalı değirmen için numune miktarı her sefer için 500 g numune kullanılmıştır.

- d80=75 µm için 2,5-3 dk,
- d80=44 µm için 3-3,5 dk
- d80=30 µm için 4-4,5 dk aralığında öğütme yapılmıştır.

3.2.7.2. Atritör

Maden laboratuvarında cevher numunelerinin çok ince (ortalama -10 µm' a kadar) öğütülmesinde kullanılmaktadır. İçerisinde öğütme ortamı olarak zirkon bilyalar tercih edilmiştir. Bilya çapları 2-3-5 mm olarak tercih edilmiştir.

3.2.8. Sıcak kireç ünitesi

Kireç ilavesi yapılırken ton başı istenilen kireç miktarına göre bir hesap yapılır. Deneylerde kullanılacak katı numune miktarı 4 kg olduğu için bu miktar üzerinden kireç ilavesi yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gerekli konu ise alkali ortam oluşturmaları için ilave edilecek kirecin aktivasyon değeridir. Sönmemiş kireç ilavesi ile ilgili hesaplamalar aşağıda bulunmaktadır;

A=Numune Miktarı B= Ton başı beslenecek kireç C=Kirecin aktivitesi

Beslenecek kireç = $(A \times B \times 100) / C$ kg/t

Örnek ile beslenecek kireç miktarı;

$(4 \times 150 \times 100) / 83 = 722,89$ kg kireç

Deneylerin sıcak kireç uygulamalarının yapıldığı sistem aşağıdaki şekilde görülmektedir. Cam beher 15 litre kapasiteye sahiptir. Deneylerin çalışma parametreleri 90 °C, %40 katı yoğunluğu olarak belirlenmiştir.

Yüzde 40 katı yoğunluğu için cam beher içerisine;

Su =6 Litre, Katı numune= 4 kg, Hava= Yok

3.2.9. Liç ünitesi

Liç deneyleri kıymetli metallerin kimyasallar yardımıyla sıvı faz geçmesidir. Çözeltiye alınan metallerin konsantrasyonu belirli bir değere ulaşınca kadar bu işleme devam edilir. Deney numunelerinde liç işlemi için çözelti oluşturu kimyasal siyanür kullanılmıştır. Bilindiği üzere siyanür belirli pH derecelerine kadar siyanür formdadır. İstenilen pH aralığından aşağıya düştüğü takdirde siyanür form değiştirerek HCN yani gaz formuna dönüşerek çok zararlı bir hale gelir.

Liç esnasında oksitleme amacıyla kullanılan havanın liç tankı içerisinde 0,5 l/dk hava ilavesi yapılmıştır (liç için gerekli oksijen, hava ile sağlanmaktadır). Deney parametrelerimizde pH ayarlayıcı olarak kullanılan CaO (sönmemiş kireç) ile pH genellikle 11'den yukarıda tutulmuştur. Sık sık phmetre ile ölçümler yapılarak ortamın alkali değeri kayıt altına alınmıştır.

Serbest siyanür tayini;

Deneylerdeki sodyum siyanür miktarlarını ayarlamak için, örneğin 1000 mg/l NaCN sulu çözeltisi için 1 gram NaCN katı ilavesi yapılmalıdır. Deneyde kullanılan su miktarı 6 litre olmasından dolayı pülp içerisinde 6 gr NaCN katı olarak ilave edilir.

Siyanür tayini için gerekli malzemeler; 100 ml pülp numune, süzme hunisi, filtre kâğıdı, cam beher, 10 ml cam pipet, 100 ml'lik beher, rodanin, gümüş nitrat kullanılır. 100 ml'lik numune süzme hunisinde süzdürülürken süzülen numune beher içerisinde toplanır. Behere süzdürülmüş numunedan cam pipet ile 10 ml filtrelenmiş numune çekilir ve boş cam behere boşaltıldıktan sonra 3 damla rodanin

ilave edilir. Büret içerisindeki gümüş nitrat yavaş yavaş ilave edilirken aynı zamanda beher içerisindeki numunenin karışması sağlanır. Numune içerisindeki kalıcı renk değişimi belirtisi görülene kadar gümüş nitrat ilavesi yapılır ve ilave bitirilerek büretteki tüketilen gümüş nitrat miktarı kaydedilir. Kaydedilen sonuç gümüş nitratın hazırlanmış olan molaritesi ile çarpılarak mg/l sodyum siyanür miktarına çevrilir.

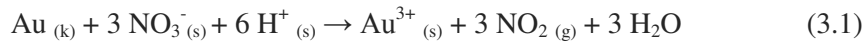
Sodyum siyanür (mg/l) = Gümüş Nitrat tüketimi (ml) x Katsayı (Normalite)

Sodyum siyanür (mg/l) = 100 ml x 10 = 1500 mg/l sodyum siyanür

Deneylerin liç uygulamalarının yapıldığı sistem aşağıdaki şekilde görülmektedir. Liç tankı 15 litre kapasiteye sahiptir. Deney numuneleri hazırlanırken katı cevher, su ve alkali ortam oluşturunca kireç ilave yapılır ve homojen bir karışım sağlandıktan emin olduktan sonra ortamın pH' ı kontrol edilir ve siyanür ilave edilir.

3.2.10. Laboratuvar analizleri

Liç deneyleri için hazırlanmış %40 katı yoğunluğuna sahip pulp içerisinde belirli saatlerde alınan (24, 48, 55 saat) numunelerin, siyanür liçi esnasındaki katı ve sıvıdaki değerleri öğrenmek için numuneler alınmıştır. Numunelerin katısı kral suyu ile çözelti haline getirilmiştir. Bu bileşik asitlerin az etki ettiği ya da etki etmediği altın ve platin gibi metallerle tepkimeye girebilen kuvvetli bir asit çözeltisidir. Bu çözelti hidroklorik asit ve nitrik asitin 3:1 oranında göre karıştırılmasıyla oluşturulmuştur ve katı içerisindeki metaller sıvıya geçirilerek AAS cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Kral suyunun kimyasal denkliği Eşitlik 3.1 ve 3.2'de görülmektedir:



3.2.10.1. Atomik Adsorpsiyon

Çözelti içerisindeki element tayinleri Gümüştaş Madencilik A.Ş laboratuvarında bulunan Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi ile gerçekleştirilmektedir. Çözelti içerisinde Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn gibi elementlerin değerleri analiz edilmiştir.

3.2.10.2. Fire-Assay

Fire Assay yöntemi yüksek dereceli cevherlerden altın konsantrasyonları elde edilmesini sağlayan bir prosestir. Gerekli ekipmanlar ve metodu aşağıda belirtilmiştir;

- 15 g tozlaştırılmış numune,
- 150 g eritken flaks,
- Kurşun Oksit (PbO),
- Sodyum Karbonat (Na_2CO_3),
- Boraks,
- Kuvars
- Un
- Gümüş Nitrat

Homojen olarak karıştırılır. Numune daha sonra bir fırının içinde 1050 °C' ye kadar ısıtıldıktan sonra 1 saat ergime için beklenir. Numunenin ergidiğinden emin olunduktan sonra fire assay fırını içerisindeki potalar maşa yardımıyla alınıp dökme kalıbına dikkatlice dökülür. Dökmeden sonra ergimenin tamamlandığına ya da kurşun girişimine ait belirtiler için pota kontrol edilir. Pota içerisinde kurşun inci elde edilir. Bu sayede kurşun içerisinde altın ve eğer varsa paladyum, platin gibi değerli metaller toplanır. Kurşun üzerine toplanan değerli metaller kupelasyon işlemi için inci eritilir ve erimiş inci üzerinden hava akımı geçirilir. Kurşun oksit,

erimiş kurşunun yüzeyinde dalgalanma yaparak kupel tarafından adsorplanır. Bu işleme bütün kurşun dönüştürölüp, adsorplanıp sadece dore incisi kalana kadar devam edilir. Kupel içerisindeki dore incisi alınır ve temiz analiz tölü içerisinde konulur. Nitrik asit eklenerek dore incisi parçalanır. Hidroklorik asit eklenmesiyle altın çözölür ve daha sonra saf suyla çözelti hacmine getirilir. Çözelti haline gelmiş olan değerli metaller AAS cihazı ile birlikte analiz edilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez araştırmaları esnasında Gümüştaş Madencilik A.Ş'den temin edilen cevher numunesi kullanılarak sıcak kireç prosesinin siyanür liçine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda sıcak kireç aşamasında alkali ortam oluşturmak amacıyla alkali ortam oluşmasını sağlayan CaO, NaCN konsantrasyonu ve küçük tane boyutlarına öğütme koşullarında değişiklik yapılmıştır. Değiştirilen parametreler ile en verimli çalışma koşulları belirlenmiştir. İlk olarak konileme-dörtleme metodu ile ayrılmış olan deney numuneleri aşağıdaki parametreleri içeren liç işlemleri uygulanmıştır.

- Katı: 4 kg,
- Su:6 litre
- CaO miktarı: 40 kg/t
- Sıcak kireç zaman:13 saat,
- Sıcak kireç sıcaklık:90 °C
- Karıştırma hızı:5.02 m/s
- Liç zaman:55 saat
- Siyanür: 500, 1000, 1500, 2000, 3000 mg/L,
- Hava: 0,5 L/dk

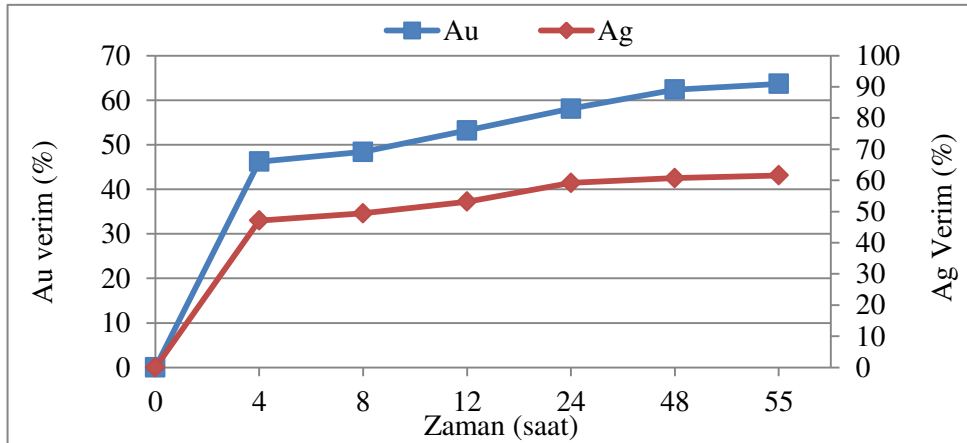
Yukarıda belirtildiği gibi siyanür hariç diğer parametreler sabit tutulmuş ve analizler yapılmıştır. Cevherin içerisindeki metallerin çözünme verimleri takibi yapılarak 55 saatlik liç süresi boyunca tüketilen NaCN miktarı takip edilmiştir. 55 saatlik liç süresi boyunca ara saatlerde numuneleri alınarak Au ve Ag analizleri yapılmıştır.

Liçin başladığı saatten itibaren olmak üzere 55. saate kadar her 4 saatte bir siyanür, oksijen ve pH kontrolü takibi yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Test 1 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	30
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	-
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	-
Sıcak kireç süresi	saat	-

Şekil 4.1’de Au ve Ag için çözünme grafiği görülmektedir. Yapılan deneyde ısıtma işlemi olmamasından dolayı Au için %63,65 ve Ag için %61.67 çözünme verimleri elde edilmiştir. Sıcaklığın çözünürlük üzerine olumlu ve verimi artırıcı katkısı bilinmektedir. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması serbestleşme tane boyutunun yüksek olması reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.



Şekil 4.1 Sıcak kireçsiz test 1 liç deneyi çözünme-zaman grafiği

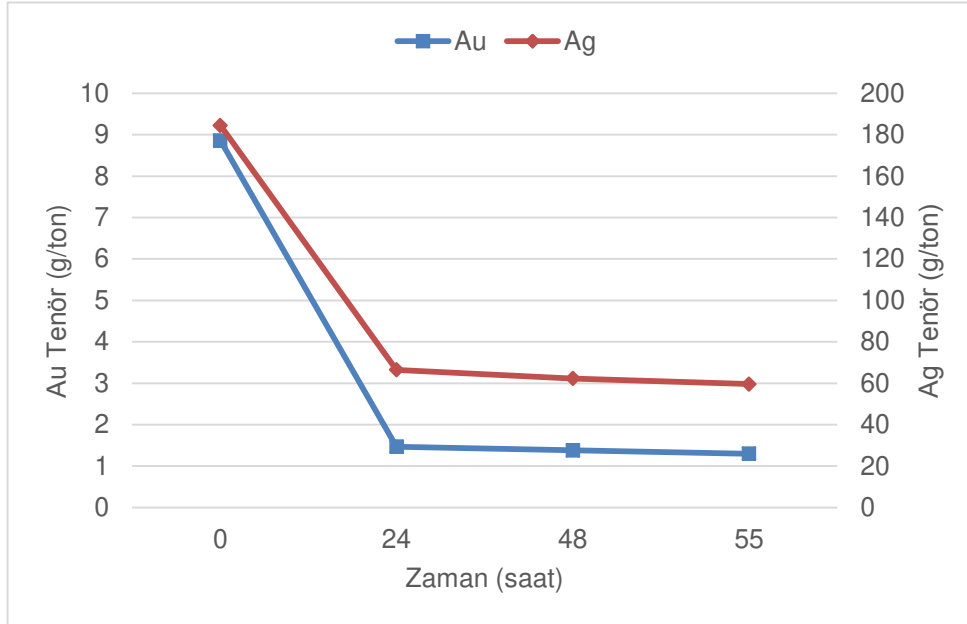
Çizelge 4.2’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.2’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 500 mg/L NaCN konsantrasyonu düşük olmasından dolayı hem koruyucu altın ve gümüşün çözünürlüğünde düşme görülmüştür. Liç sonunda ise katıda Au 1,30 g/t, Ag 59,6 g/t çözünmeden kalmıştır.

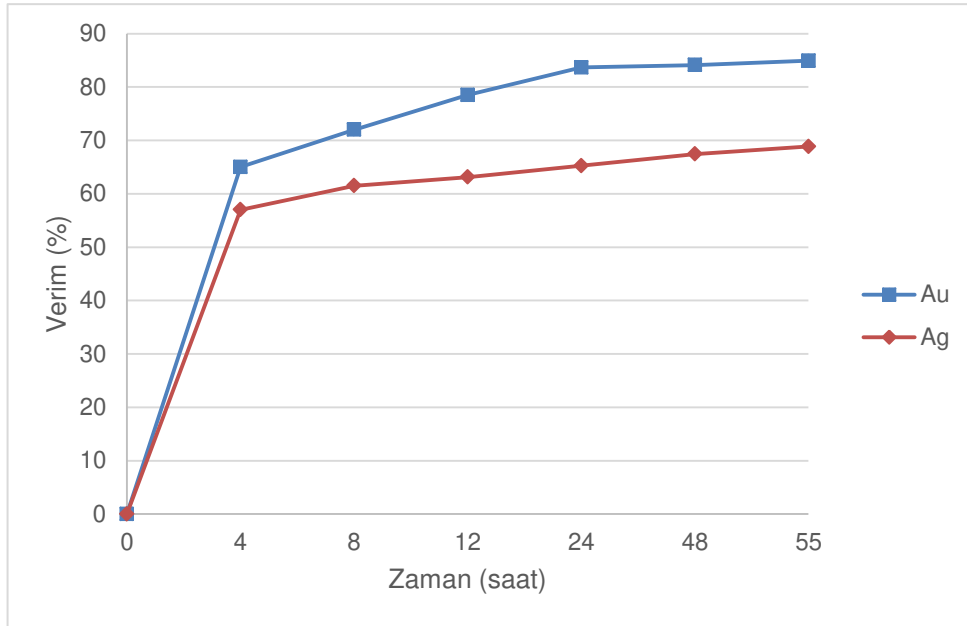
Şekil 4.3’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %85, Ag %69 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.2 Test 2 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	500
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	40
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.2 Test 2 liç deneyi katıda kalan tenör-süre grafiği



Şekil 4.3 Test 2 liç deneyi verim-zaman grafiği

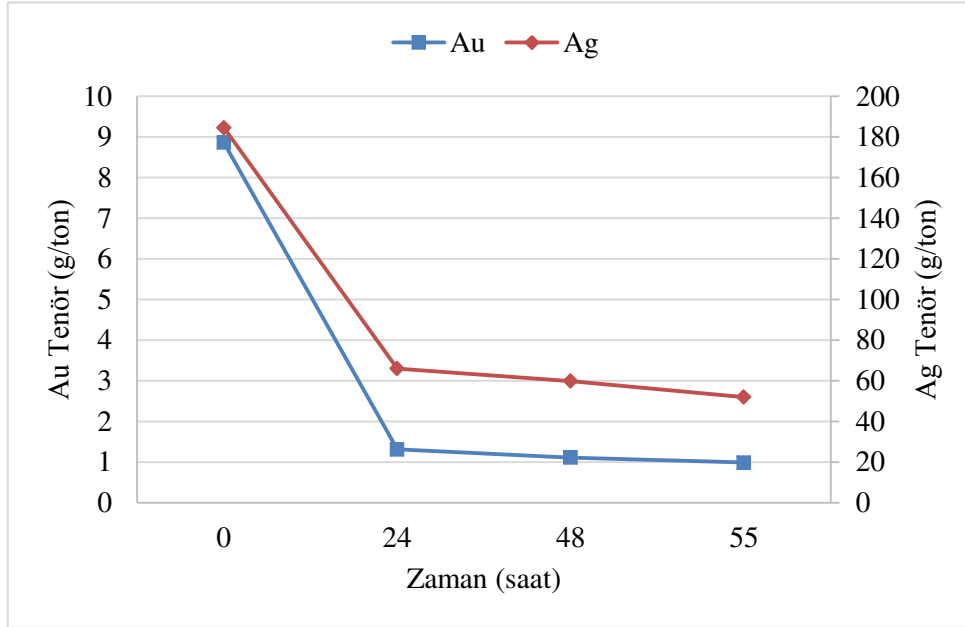
Çizelge 4.3’de verilen deney parametreleri uygulanmış ve Şekil 4.4’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde NaCN 1000 mg/L konsantrasyonu artırıldığında hem koruyucu alkalilik artış göstermiş hem de altın ve gümüşün çözünürlüğünün artışı görülmüştür.

Liç sonunda ise katıda Au 0,99 g/t, Ag 51,95 g/t çözünmeden kalmıştır. Şekil 4.5’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %89, Ag %73 çözünme verimine ulaşmıştır.

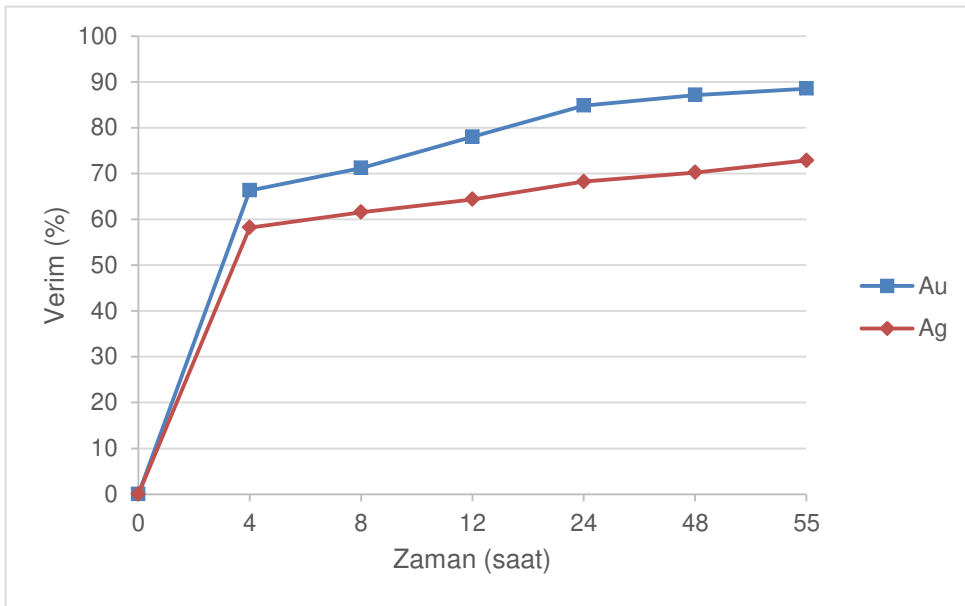
Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğünün ise altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.3 Test 3 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	40
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13
pH (CaO)		11-11.90



Şekil 4.4 Test 3 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.5 Test 3 liç deneyi verim-zaman grafiği

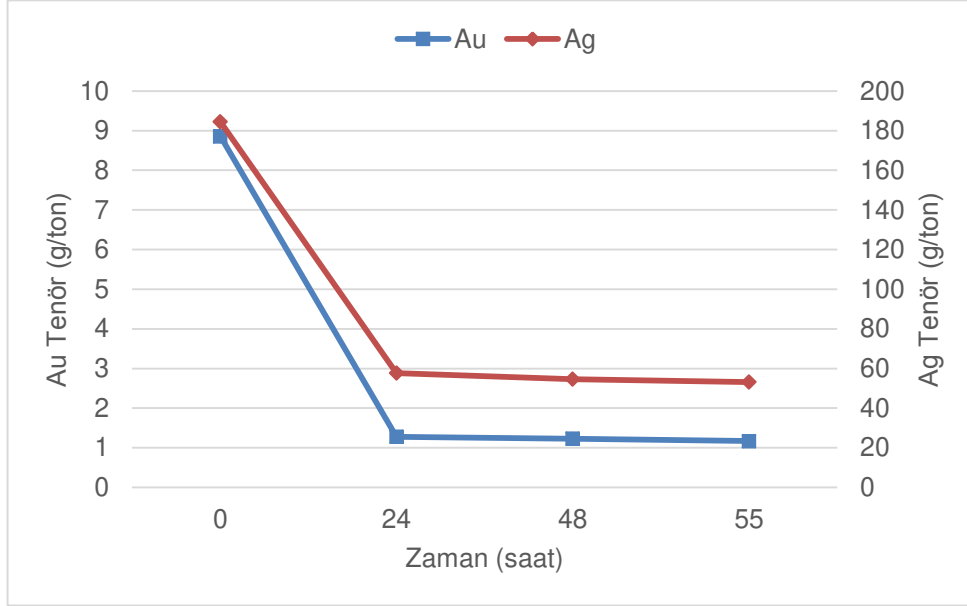
Çizelge 4.4’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.6’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 1500 mg/L NaCN konsantrasyonu kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1,17 g/t, Ag 53,2 g/t çözünmeden kalmıştır.

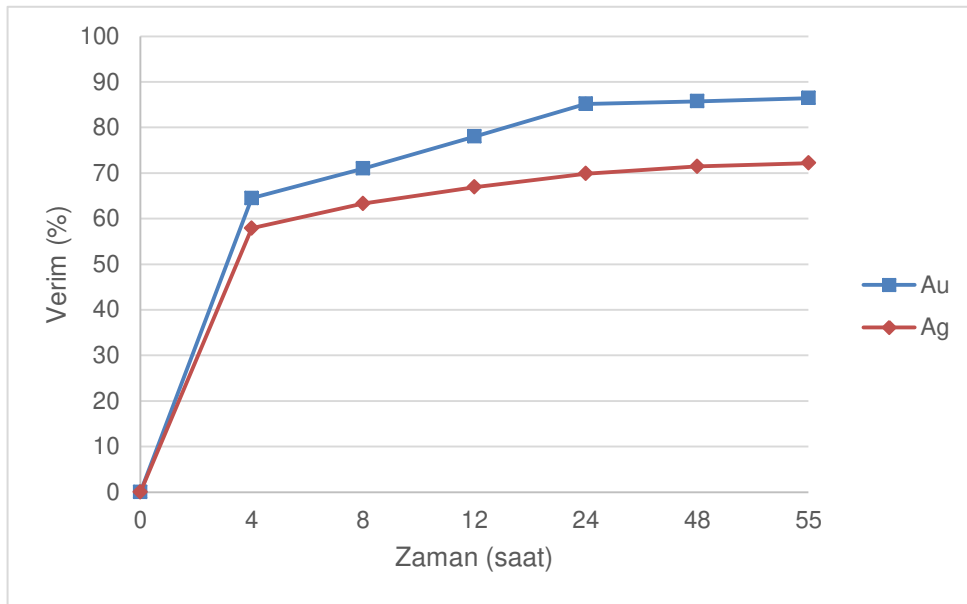
Şekil 4.7’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %86, Ag %72 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.4 Test 4 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1500
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	40
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.6 Test 4 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.7 Test 4 liç deneyi verim-zaman grafiği

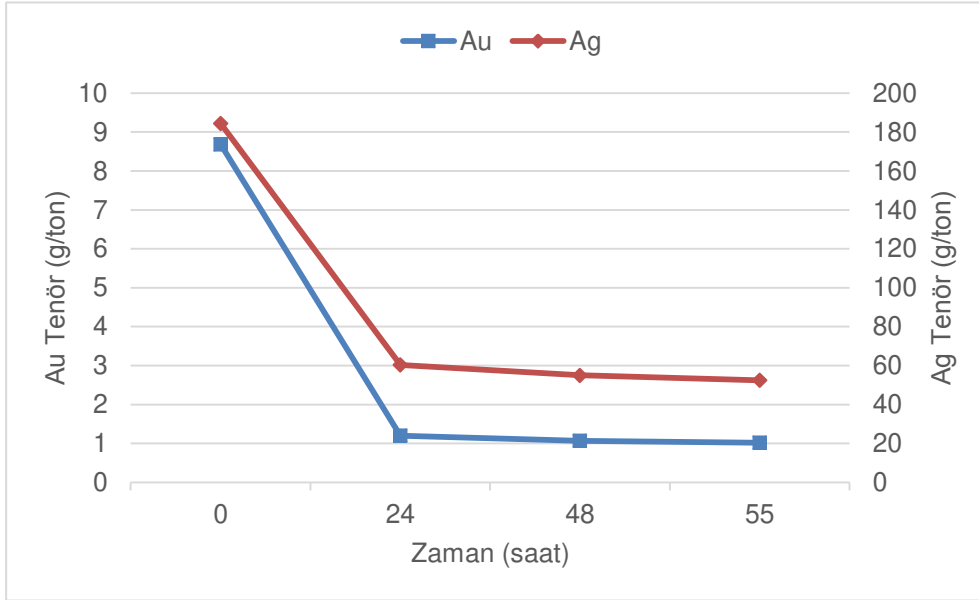
Çizelge 4.5’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.8’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 2000 mg/L NaCN konsantrasyonu kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1,02 g/t, Ag 52,5 g/t çözünmeden kalmıştır.

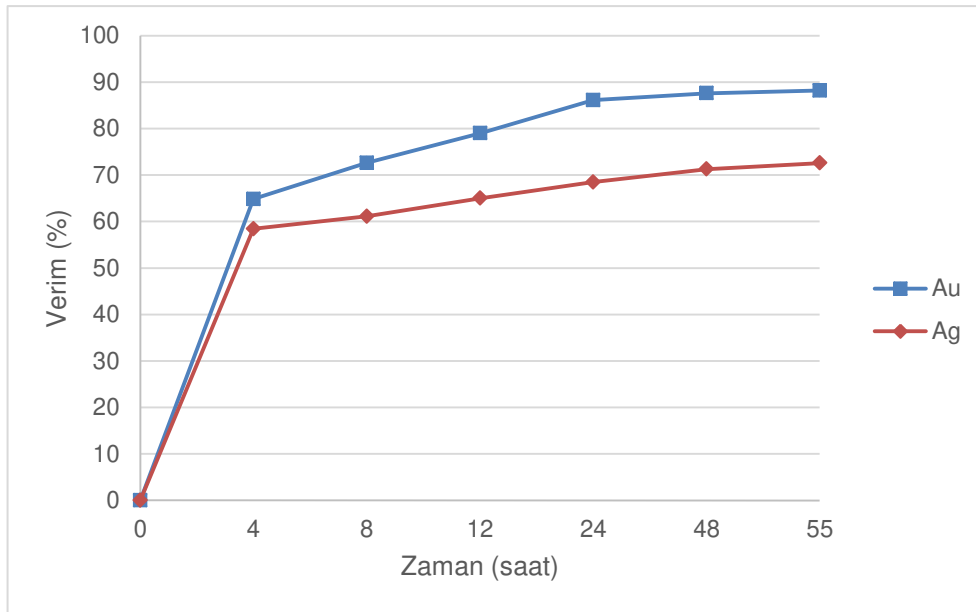
Şekil 4.9’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %88, Ag %73 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının istenilen çözünme verimine ulaştığı görülmüştür. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.5 Test 5 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	2000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	40
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.8 Test 5 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.9 Test 5 liç deneyi verim-zaman grafiği

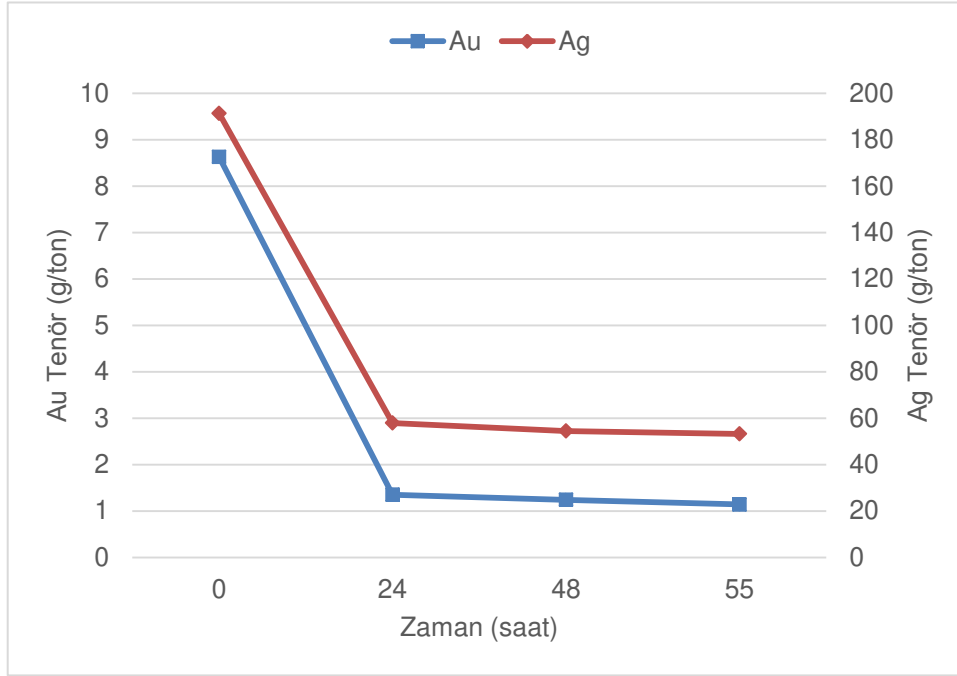
Çizelge 4.6’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.10’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 3000 mg/L NaCN konsantrasyonu kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1,14 g/t, Ag 53,25 g/t çözünmeden kalmıştır.

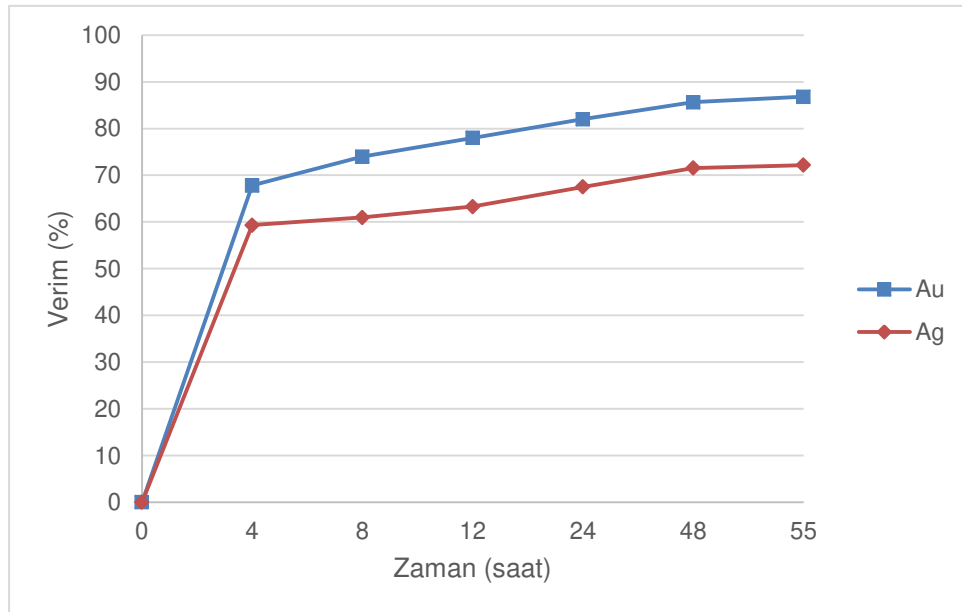
Şekil 4.11’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %87, Ag %72 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.6 Test 6 deney parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	3000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	40
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.10 Test 6 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.11 Test 6 liç deneyi verim-zaman grafiği

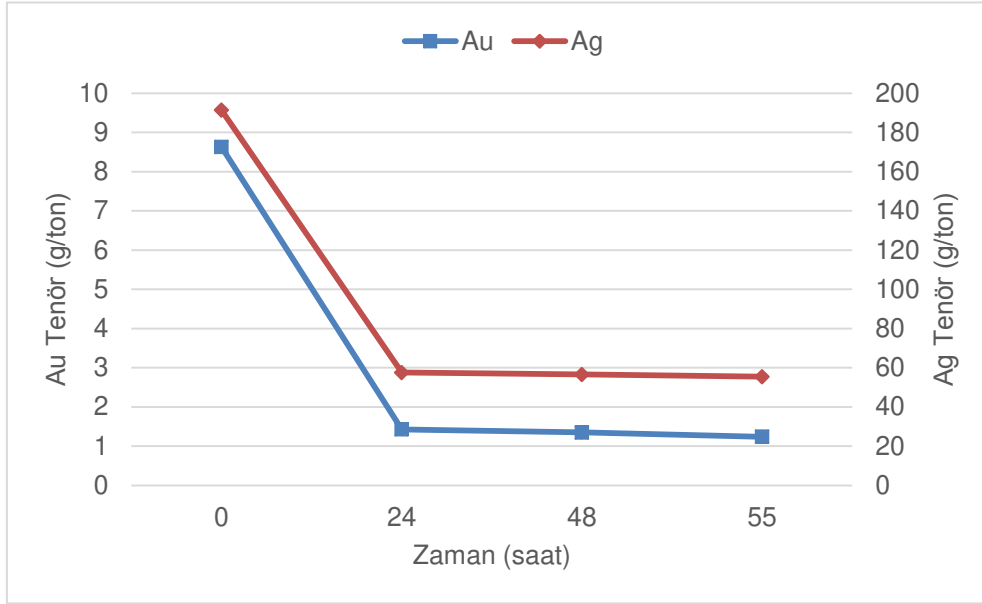
Çizelge 4.7’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.12’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Alkali ortam olarak ise deneyde 70 kg/t CaO kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1.24 g/t, Ag 55.45 g/t çözünmeden kalmıştır.

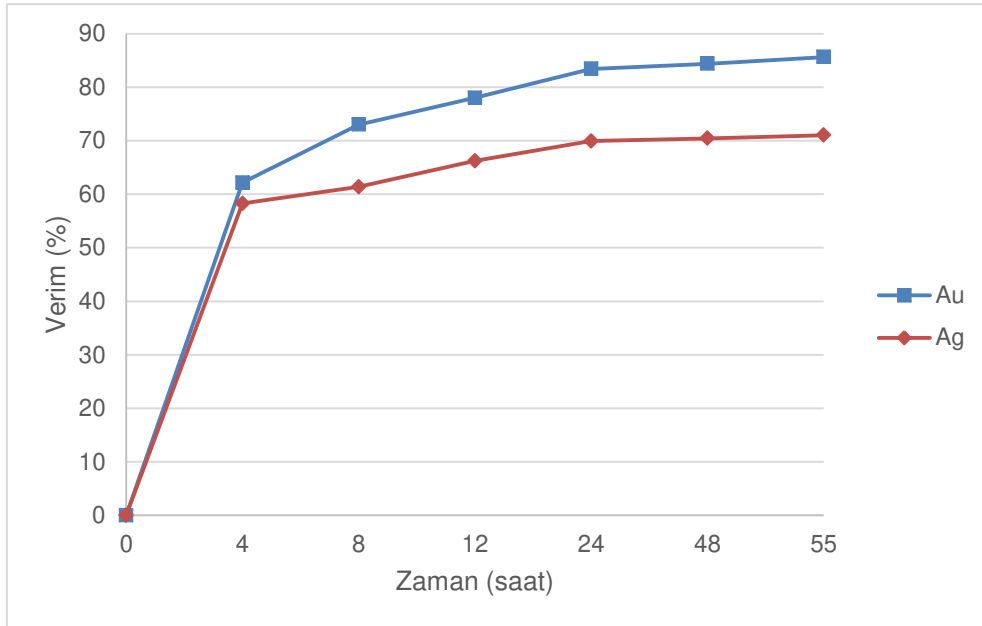
Şekil 4.13’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %86, Ag %71 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.7 Test 7 deney parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	70
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.12 Test 7 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.13 Test 7 liç deneyi verim-zaman grafiği

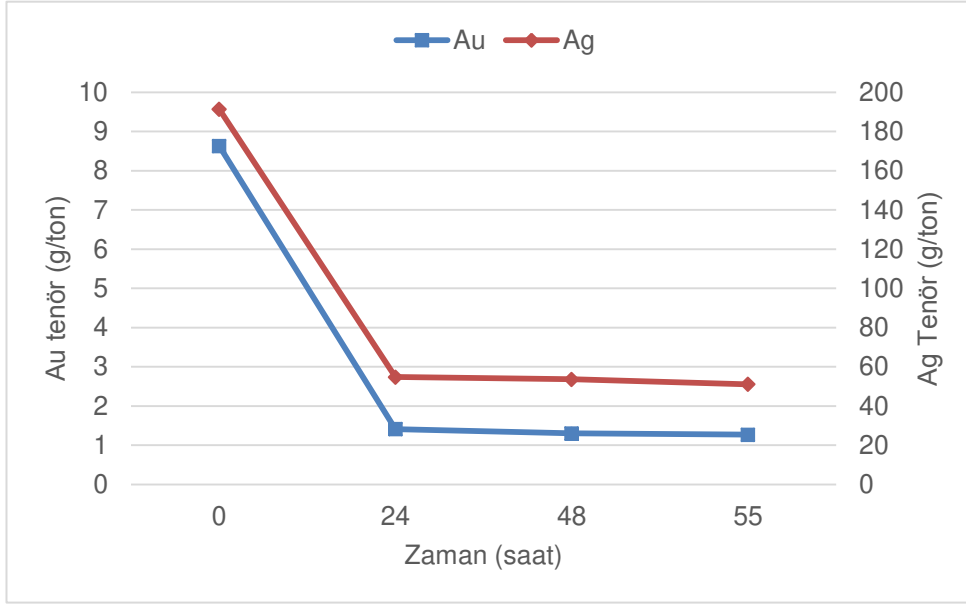
Çizelge 4.8’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.14’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Alkali ortam olarak ise deneyde 100 kg/t CaO kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1.27 g/t, Ag 51.10 g/t çözünmeden kalmıştır.

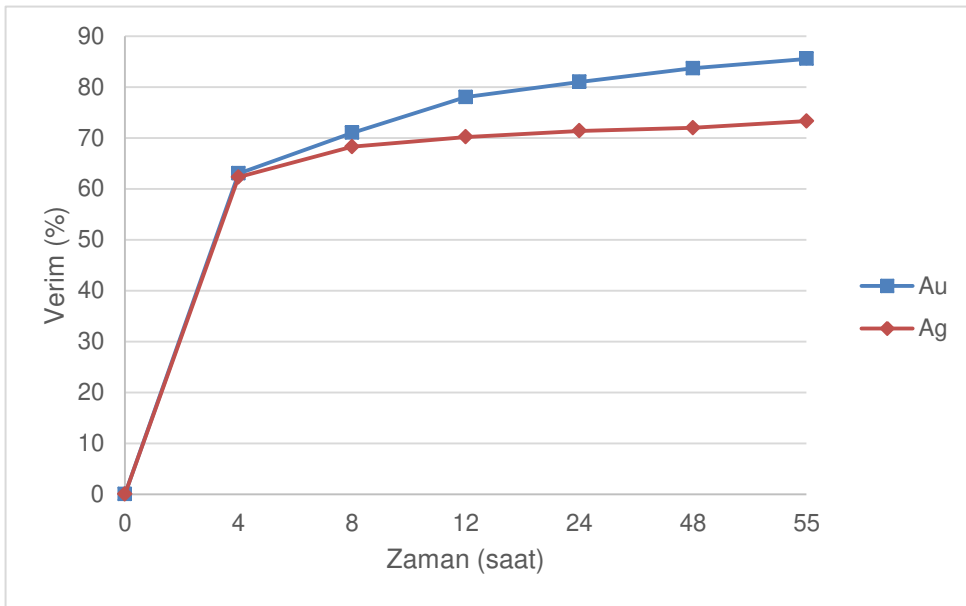
Şekil 4.15’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %86, Ag %73 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.8 Test 8 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	100
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.14 Test 8 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.15 Test 8 liç deneyi verim-zaman grafiği

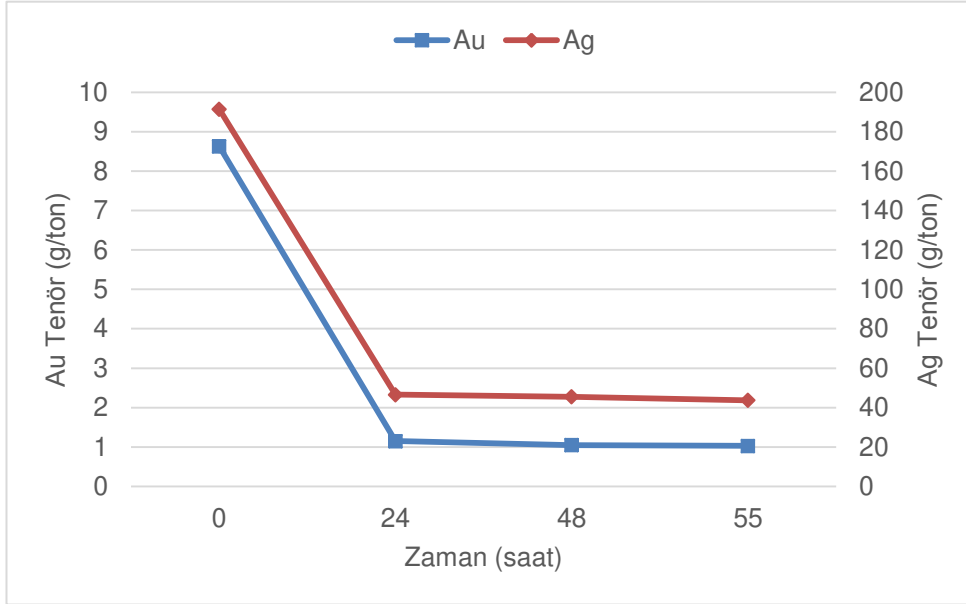
Çizelge 4.9’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.16’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde daha önce tespit edilen 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Alkali ortam olarak ise deneyde 150 kg/t CaO kullanılmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1.03 g/t, Ag 43.75 g/t çözünmeden kalmıştır.

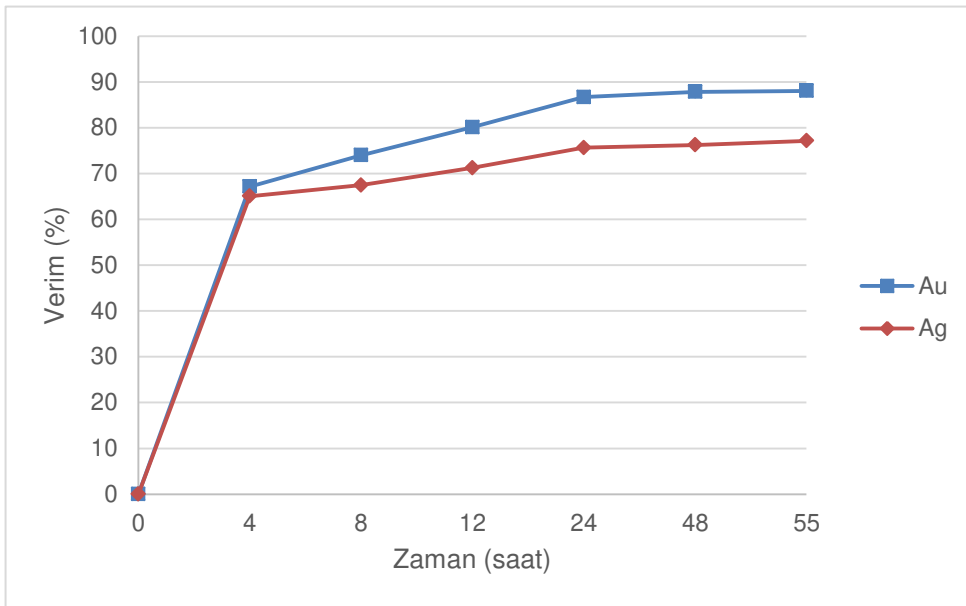
Şekil 4.17’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %88, Ag %77 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme veriminin %90’dan düşük olması cevherin serbestleşme tane boyutunun yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda altından daha düşük olması, gümüşün çevresinin jarosit minerali tarafından sarılmasından kaynaklı, gümüşün serbest kalmasını engellenerek reaksiyon aktifliğini azaltmıştır.

Çizelge 4.9 Test 9 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	150
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.16 Test 9 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.17 Test 9 liç deneyi verim-zaman grafiği

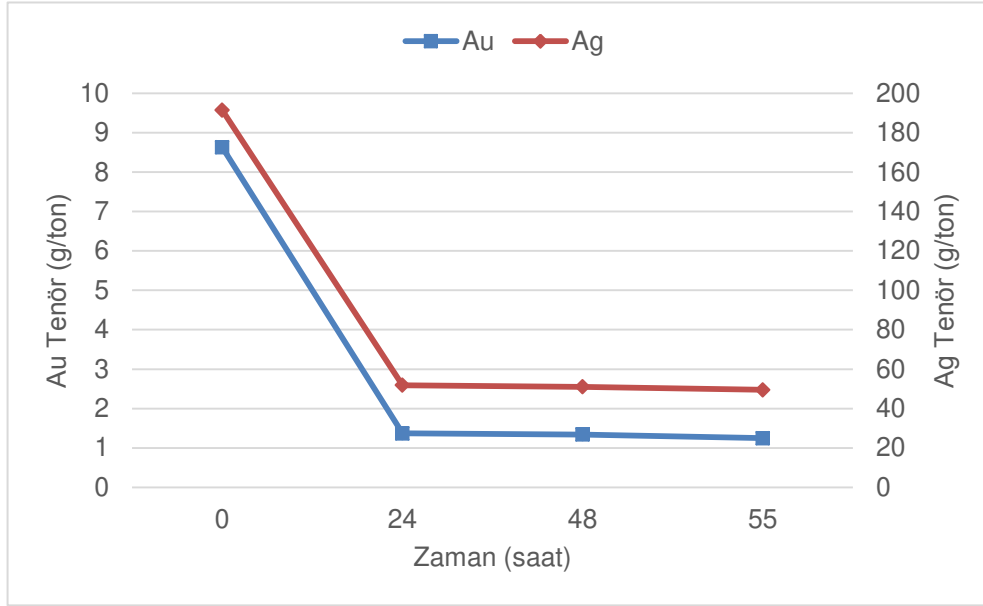
Çizelge 4.10’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.18’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde daha önce tespit edilen 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Tane boyutu ise 0,075 mm olarak uygulanmıştır. Liç sonunda ise katıda Au 1,25 g/t, Ag 49.5 g/t çözünmeden kalmıştır. En yüksek çözünme verimlerine 250 kg/t CaO alkalilik ile ulaşılmıştır.

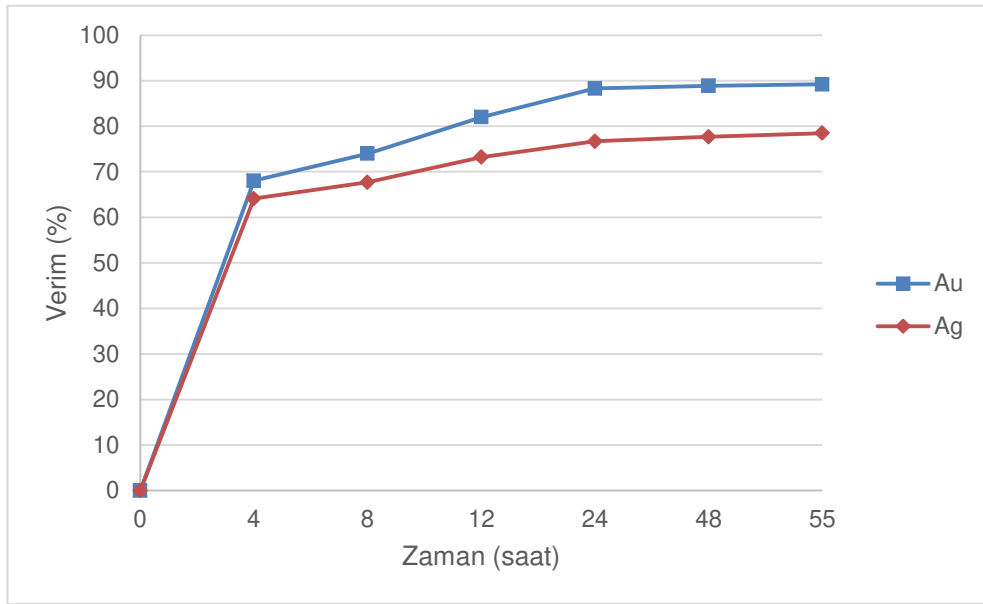
Şekil 4.19’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %89, Ag %79 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır ve gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda refrakter yapısını parçalayacak oranda CaO doygunluğuna ulaştığı görülmüş ve çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 4.10 Test 10 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	250
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	75
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.18 Test 10 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.19 Test 10 liç deneyi verim-zaman grafiği

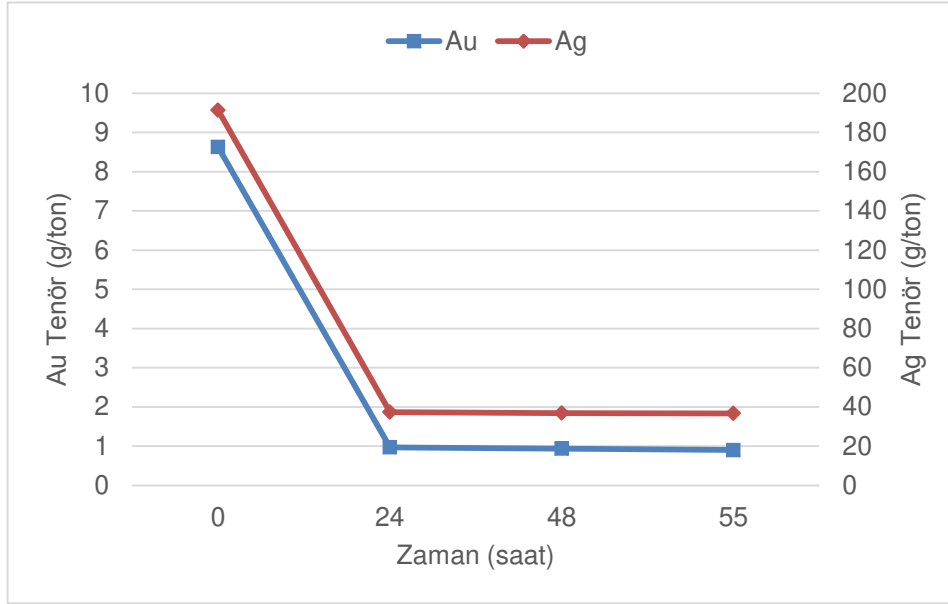
Çizelge 4.11’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiştir ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.20’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde daha önce tespit edilen 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Tane boyutu ise 0,044 mm olarak uygulanmıştır. En yüksek çözünme verimlerine 250 kg/t CaO sönmemiş kireç miktarı ile devam edilmiştir. Liç sonunda ise katıda Au 0.90 g/t, Ag 36,70 g/t çözünmeden kalmıştır.

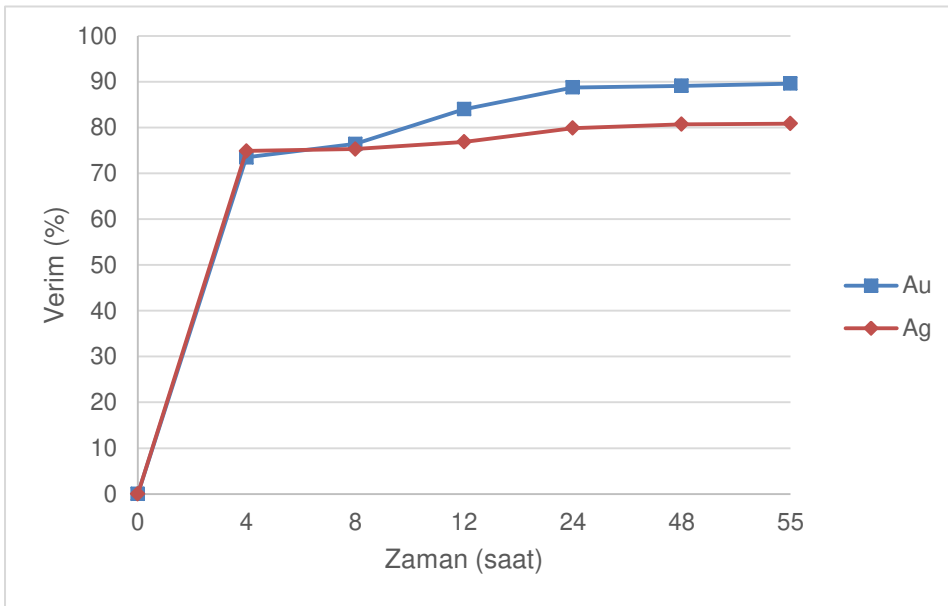
Şekil 4.21’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %90, Ag %81 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır ve gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda refrakter yapısını parçalayacak oranda CaO doygunluğuna ulaştığı görülmüş ve çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 4.11 Test 11 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	250
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	°C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	44
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.20 Test 11 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.21 Test 11 liç deneyi verim-zaman grafiği

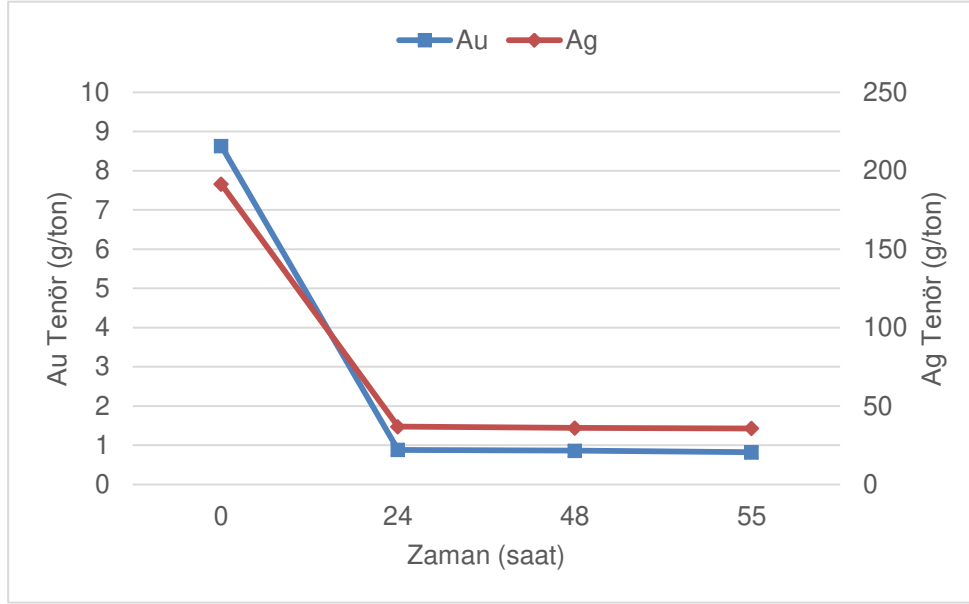
Çizelge 4.12’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.22’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde daha önce tespit edilen 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Tane boyutu ise 0,030 mm olarak uygulanmıştır. En yüksek çözünme verimlerine 250 kg/t CaO sönmemiş kireç miktarı ile devam edilmiştir. Liç sonunda ise katıda Au 0.82 g/t, Ag 35,70 g/t çözünmeden kalmıştır.

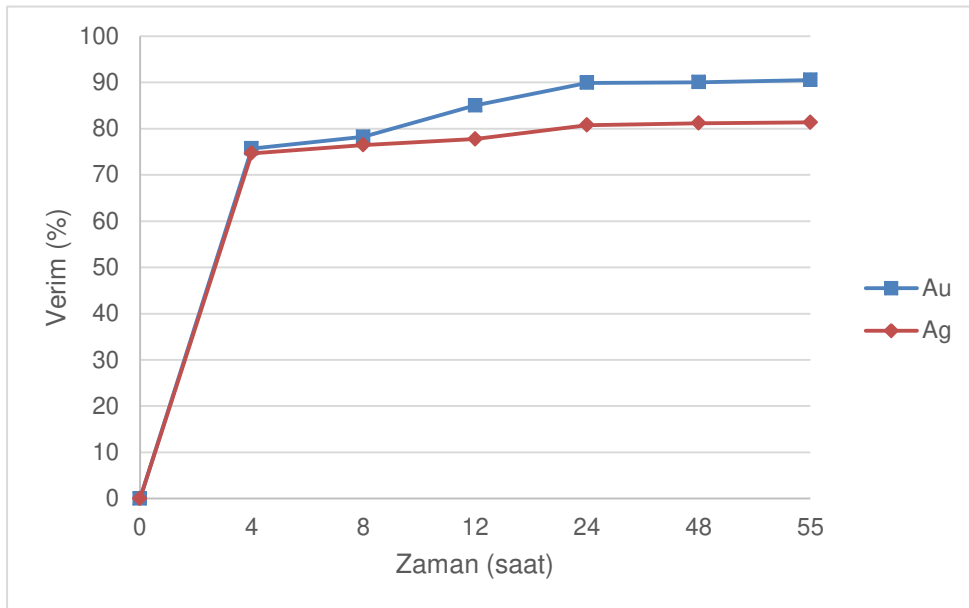
Şekil 4.23’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %91, Ag %81 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır ve gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda refrakter yapısını parçalayacak oranda CaO doygunluğuna ulaştığı görülmüş ve çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 4.12 Test 12 parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	250
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	30
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.22 Test 12 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.23 Test 12 liç deneyi verim-zaman grafiği

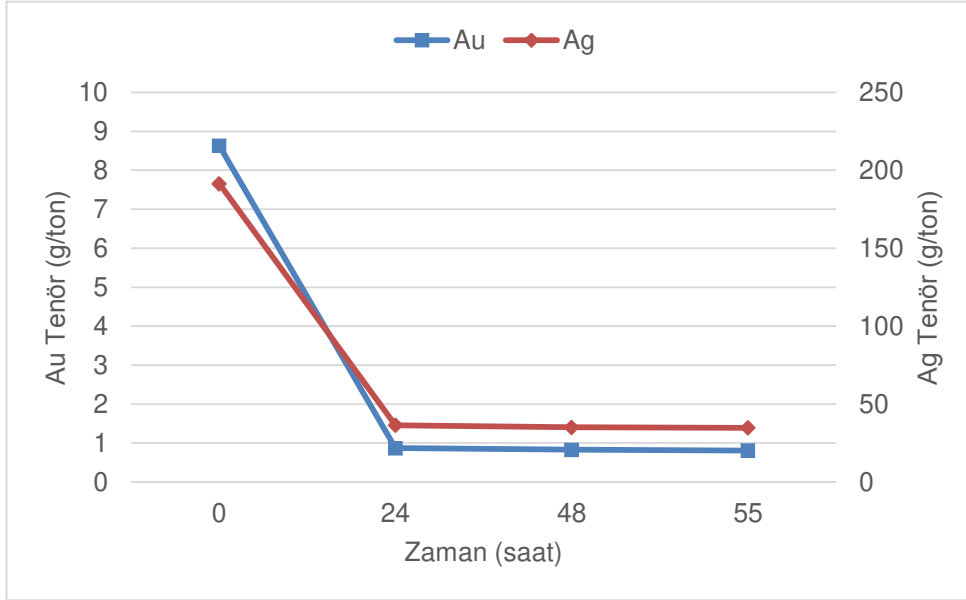
Çizelge 4.13’de verilen deney parametreleri uygulanarak, deney sonuçları grafiğe dökülerek testler analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Şekil 4.24’de liç deneyi esnasında katıda kalan metal miktarları görülmektedir. Deneyde daha önce tespit edilen 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu uygulanmıştır. Numunenin d100’ü -0,030 mm’ye öğütülmüştür. 250 kg/t CaO sönmemiş kireç miktarı ile devam edilmiştir. Liç sonunda ise katıda Au 0.81 g/t, Ag 34.80 g/t çözünmeden kalmıştır.

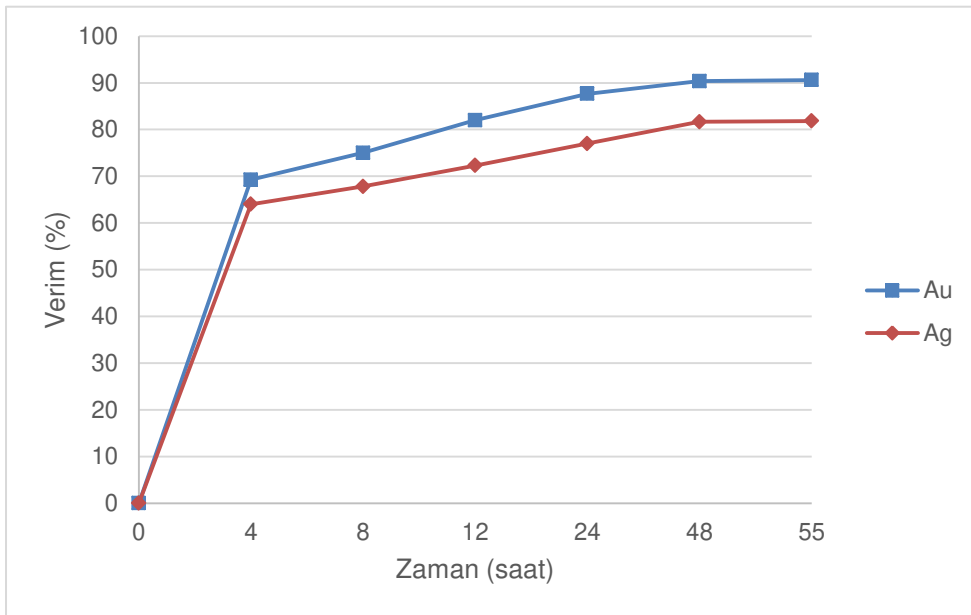
Şekil 4.25’de liç çözünme grafiği görülmektedir. Grafiğe göre liçin ilk dört saatinde en hızlı çözünme gerçekleşmiş, sonraki saatlerde parabolik artan bir çözünme ve liç sonunda Au %91, Ag %82 çözünme verimine ulaşmıştır. Altının çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır ve gümüşün çözünürlüğü ise alkali ortamda refrakter yapısını parçalayacak oranda CaO doygunluğuna ulaştığı görülmüş ve çözünme verimi istenilen değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 4.13 Test 13 deney parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
NaCN konsantrasyonu	mg/L	1000
Numune miktarı	g	4000
CaO miktarı	kg/t	250
Çözelti katı oranı (ağırlıkça)	%	40
Sıcaklık	C	90
Liç Süresi	saat	55
Karıştırma hızı	m/s	5.02
Tane Boyutu	µm	<30
Hava miktarı	L/dk	0,5
Sıcak kireç süresi	saat	13



Şekil 4.24 Test 13 liç deneyi katıda kalan tenör-zaman grafiği



Şekil 4.25 Test 13 liç deneyi verim-zaman grafiği

Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarımıza yöntem olarak yakın görülen İbrahim Alp, Oktay Celep, Doğan Paktunç, Yves Thibault (2014) çalışmasının verileri göz önüne alındığında değerli metallerin zenginleşebilmesi için refrakter cevherlerin küçük boyutlara öğütülmesi ve alkali ön zenginleştirme işlemi ile ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir.

Deneyler incelendiğinde yaptığımız çalışmalarda öncelikle, sıcak kireç ön zenginleştirme işlemi uygulanmadan, 1000 mg/L NaCN, 40 kg/t CaO, 75 µm (d80) tane boyutu ve 55 saat süren liç işlemi ile yapılan çalışmanın sonucunda %63,65 Au ve %61.67 Ag liç çözünmeleri elde edilmiştir.

Sıcak kireç ön zenginleştirme işlemi ile uygulanan deneyde, 13 saat boyunca 90 °C’de, 250 kg/t CaO, 1000 mg/L NaCN, 30 µm (d100) tane boyutu ve 55 saat süren liç işleminde %91 Au, %82 Ag çözünme verimine ulaşılmıştır.

Optimum çalışma parametreleri belirlenip uygulanan liç işlemlerinde, tane boyutunun küçültülmesi, alkali ön zenginleştirme esnasında kullanılan CaO yüksek oranlarda ilavesi ve cevherin ısıtılması ile sülfür içeren mineraller ortadan kaldırılarak yüksek Au ve Ag kazanımları elde edilmiştir.

Yöntem olarak benzer olan çalışmanın sonuçlarına göre çalışmalarımızda daha iri tane boyutlarında çalışılmasına rağmen, farklı bir alkali ortam ile ön zenginleştirme yapılması, liç sürelerinin ve çalışılan cevherin mineralojik yapısının farklı olmasından dolayı yapılan çalışmaların sonucunda farklılıklar oluşmuş ve Au için yüksek liç çözünmelerinin elde edildiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Gümüştaş Madencilik A.Ş. Tepeköy tesisine ait olan cevherin alkali ortamda ön zenginleştirme işlemlerinin uygulanması, plumbo jarosit yapısının detaylı mineralojik analizlerinin yanında tanımlayıcı siyanür liçi testleri ile cevherin yapısı araştırılmıştır. Ayrıca, CaO ile alkali ön zenginleştirmenin haricinde, daha küçük boyutlara öğütme, yüksek siyanür konsantrasyonu ile altın ve gümüş kazanımı üzerine etkiler incelenmiştir.

Deneylerde kullanılan numuneler 8,63 g/t Au, 191 g/t Ag içermektedir. Deney çalışmaları paralel tekrarlı iki deney olarak yapılmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır. Öncelikle, 75 µm (d80) tane boyutuna öğütülmüş cevher, 500 mg/L, 1000 mg/L, 1500 mg/L, 2000 mg/L, 3000 mg/L NaCN konsantrasyonları ile liç çözünmeleri analiz edilmiş ve en yüksek çözünme verimi 1000 mg/L belirlenmiştir. Sonra, ön zenginleştirme uygulanmadan liç işlemi uygulanmış ve Au için %63,65 ve Ag için %61,67 liç çözünmeleri elde edilmiştir. Optimum siyanür konsantrasyonu tespitinden sonra 40 kg/t, 70 kg/t, 100 kg/t, 150 kg/t, 250 kg/t CaO oranları ile deneyler yapılmış ve en yüksek çözünme verimi 250 kg/t tespit edilmiştir. Optimum çözünme verimlerine ulaşılan 1000 mg/L NaCN konsantrasyonu, 250 kg/t CaO ve 75 µm (d80), 44 µm (d80), 30 (d80) µm ve 30 µm (d100) tane boyutuna öğütülmüş cevher ile liç deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda en iyi çözünme verimlerine, 1000 mg/L NaCN, 250 kg/t CaO ve 30 µm (d100) olan deney parametreleri ile ulaşılmış ve optimum deney olarak belirlenmiştir. Deneyin sonucunda, Au için %91, Ag için %82 çözünme verimine ulaşılmıştır. Yapılan tüm deneylerin sonucunda alkali liç ile birlikte sürekli artan bir çözünme verimi görülmektedir. Cevheri ince boyuta öğütmenin metallerin serbestleşme oranlarını artırdığı görülmekte ve serbest yüzey alanının artması ile siyanür-cevher yüzeyi etkileşimi artırdığı ve bununla orantılı olarak çözünme verimini arttırdığı görülmektedir.

Yapılan mineralojik analizlerde, siyanür liçi deneylerinde altın ve gümüşün düşük verim ile kazanımlarının Pb, Fe, S ve plumbo jarosit mineralleri ile kapanım halinde bulunmasından dolayı kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu kapanım, değerli metaller altın ve gümüş siyanür liçi deneylerinde çözünürlüklerinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple yapılmış olan ön kazanım çalışmalarında yalnızca cevheri ısıtma ya da yalnızca tane boyutundaki değişiklik yalnız başına etki etmemekle birlikte cevherin ilave bir kimyasal yardımıyla ön zenginleştirmeye tabi tutulması ve refrakter özelliğinin ortaya bir kez daha çıkmasının bir sebebidir. Altın ve gümüş deney aşamalarında farklı yüzde çözünürlüklere sahiptirler. Çünkü altın ve gümüş bileşiklerinin reaksiyon içerisindeki çözünme hızları farklıdır. Bu sebeple, gümüş minerallerinin altına göre daha ince boyuta öğütülmesi ile jarosit yapısının alkali liç öncesinde daha serbest bir yapıya dönüştüreceği ve gümüş çözünmesine doğrudan etki edeceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, plumbo jarosit içerisinde kapanım halinde bulunan altın ve gümüş alkali siyanür liçi ile reaksiyon yapılması gerekmektedir. Bu alkali siyanür liçi esnasında ise yüksek miktarda NaCN konsantrasyonu, daha küçük tane boyutuna öğütme (30 μ m), yüksek oranlarda CaO uygulanması gerekmektedir. Alkali siyanür liçi ile ortamda altın ve gümüş çözünmesini olumsuz etkileyen minerallerin varlığının ortadan kaldırılması ile altın ve gümüşün yüksek çözünme verimlerine ulaşmak çok daha kolay olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acton, C.F., Charles, W.D., 1982. Current Gold And Silver Recovery Practice, 14th International Min. Proc. Eng., Toronto, Canada.
- Afenya, P.M., 1991. Treatment Of Carbonaceous Refractory Gold Ores, Minerals Engineering, 4,7-11, 1043-1055.
- Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E., 2004, Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator, SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266.
- Alp, İ., Celep, O., Paktunç, D., Thibault, Yves, 2014, Influence of potassium hydroxide pre treatment on the extraction of gold and silver from a refractory ore, Hydrometallurgy Volume 146, May 2014, Pages 64-71.
- Amankwah, R.K., Pickles, C.A., 2009. Microwave Roasting Of A Carbonaceous Sulphidic Gold Concentrate, Minerals Engineering, 22, 1095-1101.
- Anonim, 2008. Madencilik Sektörü Ve Altın Madenciliği. Altın Madencileri Derneği Dergisi, 24-25.
- Arslan, F., Yüce, A.E., Acarkan, N., Dinçer, H., Önal G., 2005. Türkiye'deki Çeşitli Cevherlerden Değerli Metallerin Kazanılması.
- Baláz, P., 2000. Extractive Metallurgy Of Activated Minerals, Elsevier, Amsterdam, 278 S.
- Bayat, O., 2011. "Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri". Basılmamış Ders Notları, Çukurova Üniversitesi Maden Müh. Adana.
- Bayraktar, İ., Yarar, B., 1985. "Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi Ve Altının Ekstraksiyonu", Türkiye Madencilik Bilimsel Ve Teknik 9. Kongresi, Tmmob Maden Müh. Odası Yayını, 6-10 Mayıs 1985 Ankara.
- Berezowsky, R.M.G.S., Stikma, J., Kerfoot, D.G.E., Krysa, B.D., 1990. Silver And Gold From Zinc Pressure Leach Residue. In: Mackey, T.S., Prengaman, R.D. (Eds.), Lead-Zinc 90, Anaheim, California. Proceeding Of World

- Symposium On Metallurgy And Environmental Control, 119th Ims Annual Meeting, February 18–21. The Minerals, Metals And Materials Society, 1990, Pp. 135–150.
- Birol O., Uçurum M., 2015. Investigation of the cyanide leaching optimization for ultrafine grinding gold–silver ore, Pages 633-638 | Accepted author version posted online: 24 Nov 2015, Published online: 24 Nov 2015.
- Cankut, S., 1972. Ekstraktif Metalürji, İtu Matbaası, İstanbul.
- Celep, O., Alp, İ., Deveci, H. ve Yılmaz, T., 2005. Characterisation of refractory behaviour of Kaletas (Turkey) gold ore by ultrafine grinding and diagnostic leaching, 5th Int. Conf. of Modern Management of Mine Producing, Geology and Env. Protection-SGEM, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı: 169-176.
- Celep O., Yazıcı E. Y., 2013. Ultra fine grinding of silver plant tailings of refractory ore using vertical stirred media mill, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 23, 3412–3420
- Chatterjee, K.K., 2007. Uses Of Metals And Metallic Minerals, New Age International Publishers, New Delhi, 333 S.
- Chen, T.T., Cabri, L.J., Dutrizac, J.E., 2002. Characterizing Gold İn Refractory Sulfide Gold Ores And Residues, Jom, 54,12, 20-22.
- Corrans, I.J. Ve Angove, J.E., 1991. Ultra Fine Milling For The Recovery Of Refractory Gold, Minerals Engineering, 4,11, 763-776.
- Costa, M.C., 1997. Hydrometallurgy Of Gold, New Perspectives And Treatment Of Refractory Sulphide Ores, Fizykochemiczne Problemy Mineralogy, 63, 63-72.
- Çiftçi, H. Ve Akçıl, A., 2009. Refrakter Altın Cevherlerine Uygulanan Ön İşlemler, Madencilik, 48,1, 17-30.
- Çilingir, Y. 1990. Metalik Cevherler Ve Zenginleştirme Yöntemleri Cilt 1 Deü Müh.-Mim Fak. Mm/Mad-90 Ey 198, İzmir.

- Dinçer H., Kırıkoglu S., Kural, O., Önal, G., 2005. Uluslararası Değerli Taşlar Ve Metaller Sempozyumu Bildiri Kitabı İçinde (89-104), İstanbul.
- Dunn, J.G. And Chamberlain, A.C., 1997. The Recovery Of Gold From Refractory Arsenopyrite Concentrates By Pyrolysis-Oxidation, Minerals Engineering, 10,9, 919-928.
- Ellis, S., 2003. Ultra Fine Grinding-A Practical Alternative to Oxidative Treatment Of Refractory Gold Ores, 8th Australian Mill Operators Conference, Avustralya, Bildiriler Kitabı.
- Energy And Environmental Profile Of The Us Department Of Energy, 2002. Gold And Silver.
- Feather, Ce. And Koen, G.M., 1973. The Significance Of Mineralogical And Surface Characteristics Of Gold Grains In The Recovery Process, J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, Pp. 223-234.
- Fernandez R.R., Sohn H.Y. Ve Levier K.M. 2000; “Process For Treating Refractory Gold Ores By Roasting Under Oxidizing Conditions”, Minerals And Metallurgical Processing, 17, (1), February 2000, 1-6.
- Fleming, C.A., 1992. Hydrometallurgy Of Precious Metals Recovery, Hydrometallurgy, 30, 127-162.
- Gao, M. Ve Holmes, R., 2008. Developments In Fine And Ultrafine Grinding Technologies For The Minerals Industry. http://www.iom3.org/Divisions/Mining_Technology/Fine.Pdf. 12 Kasım 2008.
- Gasparrini, C., 1993. Gold And Other Precious Metals, Springer-Verlag, Newyork, 336 S.
- Gold News, 2004. “Gümüş Eşya Sektörü Rotasını Arıyor” İstanbul Kuyumcular Odası Yayını, Sayı.147 Kasım-Aralık, İstanbul.
- Gökçe, A., 1995. Özel Maden Yatakları. Maden Yatakları, İçinde (133-140). Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No:59.

- Gudyanga, F.P., Mahlangu, T., Roman, R.J., Mungoshi, J., Mbeve, K., 1999. An Acidic Pressure Oxidation Pre-Treatment Of Refractory Gold Concentrates From The Kwekwe Roasting Plant-Zimbabwe, *Mineral Engineering*, 12,8, 863-875.
- Habashi, F., 1967. Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution, Montano College of Mineral Science and Technology, Butte, Montana, April Bulletin, 59.
- Habashi, F., 1997. Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH, Germany.
- Habashi, F., 1999, A Text book Of Hydrometallurgy, Metallurgy Extractive Quebec Publications, Kanada, 739 S. J. Miner. Process., 57, 1–24.
- Harris, D.C., 1990. The Mineralogy Of Gold And its Relevance To Gold Recoveries, *Mineral Deposita*, 25, 3-7.
- Henley, K.J., 1975. Gold-Ore Mineralogy And Its Relation To Metallurgical Treatment, *Mln. Sei. And Engng.*, Vol. 7, 1975, 289-312.
- Iglesias, N. Ve Carranza, F., 1994. Refractory Gold-Bearing Ore: A Review Of Treatment Methods And Recent Advances In Biotechnological Techniques, *Hydrometallurgy*, 34, 383-395.
- Kasaini, H., 2007. Enhanced Leachability Of Gold And Silver In Cyanide Media: Effect Of Alkaline Pre-Treatment Of Jarosite Minerals, *Minerals Engineering* 21 (2008) 1075–1082.
- Kingman, S.W. Ve Rowson, N.A., 1998. Microwave Treatment Of Minerals-A Review, *Minerals Engineering*, 11,11, 1081-1087.
- Komnitsas, C. Ve Pooley, F.D., 1989. Mineralogical Characteristics And Treatment Of Refractory Gold Ores, *Minerals Engineering*, 2,4, 449-457.
- La Brooy, S.R., Linge, H.G., Walker, G.S., 1994. Review Of Gold Extraction From Ores. *Minerals Engineering*, 7 (10), 1213-1241.

- Logsdon, M., Hagelstein, J., Mudder, K. T., 2001. The Management Of Cyanide Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi. (Tüprag, Çev) International Council Metals And The Environment (Icme) (Orijinal Çalışma Basım Tarihi 1999)
- Logsdon, M., Hagelstein, J., Terry I.M., 1999. The Management Of Cyanide In Gold Extraction. International Council On Metals And The Environment (Icme), Isbn 1-895720-27-3, 40s, Canada
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü [Mta], 2010. Türkiye Altın – Gümüş Yatakları Haritası.13.05.2010, Www.Mta.Gov.Tr
- Marsden, J.O. Ve House, C.L., 2006. The Chemistry Of Gold Extraction, Sme, Colorado, 651 S.
- Minerals Zone, 2005. Gold. Industrial Minerals 25 Mart 2010 Www.Mineralszone.Com/Minerals/Gold.Html
- Nanthakumar, B., Pickles, C.A. Ve Kelebek, S., 2007. Microwave Pretreatment Of A Double Refractory Gold Ore, Minerals Engineering, 20, 1109-1119
- Perry, R., Browner, R.E., Dunne, R. Ve Stoitis, N., 1999. Low Ph Cyanidation Of Gold, Minerals Engineering, 12,12, 1431-1440.
- Pickles, C.A., 2009. Microwaves İn Extractive Metallurgy: Part 2-A Review Of Applications, Minerals Engineering, 22, 1112-1118.
- Pizarro, R., 1974. Et Al, Heap Leaching Practice At The Carlin Gold Mining Co., Aime Annual Meeting, Dallas, Feb. P. 15.
- Potter, G.M., 1981. Design Factors For Heap Leaching Operations, Min. Eng., March., Pp. 227- 281.
- Prasad, M.S., Mensah-Biney, R. Ve Pizarro, R.S., 1991. Modern Trends in Gold Processing overview, Minerals Engineering, 4,12, 1257-1277.
- Ren, X., Li, Q., Zhang, Y. Ve Liu, D., 1994, A New Centrifugal Separator For Recovering Minerals From Fine And Ultrafine Sizes, Innovations In Minerals Processing, Sudbury, 349-355.

- Senanayake, G., 2006. The Cyanidation Of Silver Metal: Review Of Kinetics And Reaction Mechanism, *Hydrometallurgy*, 81, 75-85.
- Ubal dini, S., Abbruzzese, C., 2000. Combined Bio-Hydrometallurgical Process For Gold Recovery From Refractory Stibnite, *Minerals Engineering*, 13,14-15, 1641-1646.
- Ubal dini, S., Veglio, F., Fornari, P. Ve Abbruzzese, C., 2000. Process Flow-Sheet For Gold And Antimony Recovery From Stibnite, *Hydrometallurgy*, 57, 187-199.
- Url 1, [Www.Darphane.Gov.Tr](http://www.Darphane.Gov.Tr), S.2
- Url 2, [Www.Flsmidth.Com](http://www.Flsmidth.Com), S.10
- Url 3, [Www.kalkinma.gov.tr](http://www.kalkinma.gov.tr), S.7
- Vaughan, J.P., 2004. The Process Mineralogy Of Gold: The Classification Of Ore Types, *Jom*, 56,7, 46-48.
- Wadsworth, M.E., Zhu, X., Thompson, J.S. Ve Pereira, C.J., 2000. Gold Dissolution And Activation İn Cyanide Solution: Kinetics And Mechanism, *Hydrometallurgy*, 57,1, 1-11.
- Yıldız, N., 2010. Zenginleştirme. Cevher Hazırlama (2.Baskı), İçinde (402 - 410). Ankara: Ertem Basım Yayın.
- Yüce, E., 1997. Çevresel Etkileri Ve Doğrularıyla Altın Madenciliği, Tmmob Maden Mühendisleri Odası İstanbul Subesi Çalışma Raporu, No:7, İstanbul.
- Zhang, S., 2004. Oxidation Of Refractory Gold Concentrates And Simultaneous Dissolution Of Gold İn Aerated Alkaline Solutions, Phd. Thesis, Murdoch Üniversitesi, Australia.

ÖZGEÇMİŞ

Niyazi ÖZGENCİL, 1990 yılında Adana’da doğdu. İlköğrenimini Yeşilevler İlkokulu’nda, orta öğrenimini Süreyya Nihat Oral Orta Okulu’nda ve lise öğrenimini Ahmet Kurttepelı Lisesi’nde tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Müh. Bölümü’nde başladığı lisans eğitimini 2012 yılında tamamladı. 2013 Şubat ayında başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. 2013 Temmuz ayında Gümüştaş Madencilik A.Ş Tepeköy Cevher Zenginleştirme tesisinde Proses Mühendisi ünvanı ile başladı. 2015 Kasım ayında bu firmadan ayrılıp, 2016 Ocak ayında MNG Gold-Liberya projesinde çalışmaya başlamış ve halen bu firma da çalışmaya devam etmektedir.