



**JİN CHAN VE SODYUM SİYANÜR KİMYASALLARININ
ALTIN KAZANIMINDA
LİÇ VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan YILMAZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.40 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**JİN CHAN VE SODYUM SİYANÜR KİMYASALLARININ ALTIN
KAZANIMINDA LİÇ VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Hakan YILMAZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

JİN CHAN VE SODYUM SİYANÜR KİMYASALLARININ ALTIN KAZANIMINDA LIÇ VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hakan YILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

Bu çalışmanın amacı, önemli miktarda altın potansiyeline sahip ülkemizdeki altın cevherlerinden altın kazanımının daha verimli yöntemler ve çevre dostu üretim süreçleri eşliğinde nitelikli işletilebilirliğini araştırmaktır. Tez kapsamında, Çukuralan ve Kaymaz İşletmesinden iki farklı yapıda cevher kullanılmıştır. Cevher içindeki altının kazanımında doğrudan liç yönteminde kullanılan sodyum siyanür (NaCN) ile yeni bir kimyasal yaklaşımıyla Jin Chan karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. NaCN ve Jin Chan ile liç çalışmalarında işletmelerde kullanılan zenginleştirme parametreleri tercih edilerek ekonomik ve çevreye daha duyarlı üretim yöntemi seçimlerinde üreticilere katkı sağlamak hedeflenmiştir. Deneylerde farklı içeriğe sahip altın cevheri örnekleri iki farklı maden sahasından (Çukuralan, Kaymaz) temin edilerek kullanılmıştır. Belirlenen parametrelerde NaCN ve Jin Chan'ın liç kinetiği, altın kazanma verimleri ve liç esnasında kimyasal tüketimi incelenmiştir.

Hidrometalurjik yöntemin kullanıldığı çalışmalarda; Çukuralan cevheriyle yapılan liç çalışmalarında en iyi parametrelere %40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 90,89 verimle altın kazanılmıştır. Burada Jin Chan tüketimi 0,72 kg/t olmuştur. NaCN'de ise en iyi parametrelere %40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılmış ve altın kazanım oranı % 91,98 olmuştur. NaCN tüketimi ise 0,31 kg/t olmaktadır.

Kaymaz cevheriyle yapılan liç çalışmalarında en iyi parametrelere % 40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 81,55 verimle altın kazanılmıştır. Jin Chan tüketimi 1,27 kg/t olmuştur. NaCN’de ise en iyi parametrelere % 40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 82,86 verimle altın kazanımı gerçekleşmiştir. NaCN tüketimi 0,95 kg/t olmaktadır.

2022, xiv + 128 sayfa

Anahtar Kelimeler: Altın, Maden, evre, Liç, Sodyum Siyanür, Jin Chan



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COMPARISON OF LEACHING YIELDS OF JIN CHAN AND SODIUM CYANIDE CHEMICALS IN GOLD RECOVERY

Student Hakan YILMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Zehra Ebru SAYIN

The aim of this study is to investigate the qualified operability of gold recovery from gold ores in our country, which has a significant gold potential, in combination with more efficient methods and environmentally friendly production processes. Within the scope of the thesis, two different types of ores from Çukuralan and Kaymaz Enterprises were used. In the recovery of gold in the ore, sodium cyanide (NaCN) used in the direct leaching method and Jin Chan with a new chemical approach were used in comparison. In the leaching studies with NaCN and Jin Chan, the enrichment parameters used in the enterprises were preferred and it was aimed to contribute to the producers in the selection of economical and more environmentally friendly production methods. In the experiments, gold ore samples with different contents were obtained from two different mine sites (Çukuralan, Kaymaz) and used. The leaching kinetics of NaCN and Jin Chan, gold recovery efficiencies and chemical consumption during leaching were investigated in the determined parameters.

In the study using the hydrometallurgical method; In the leaching studies with Çukuralan ore, the best parameters in Jin Chan chemical were reached with a solid ratio of 40% and a chemical amount of 300 mg/l, and gold was recovered with a yield of 90.89 %. Here, Jin Chan consumption was 0.72 kg/t. In NaCN, on the other hand, the best parameters were achieved with 40% solids ratio, 300 mg/l chemical amount, and the gold recovery rate was 91.89% NaCN consumption is 0.31 kg/t.

In the leaching studies with Kaymaz ore, the best parameters in Jin Chan chemical were reached with 40% solids ratio and 300 mg/l chemical amount, and gold was obtained with 81.55% yield. Jin Chan consumption was 1.27 kg/t. In NaCN, on the other hand, the best parameters were achieved with 40% solids ratio and 300 mg/l chemical amount, and gold recovery was achieved with 82.86% yield. NaCN consumption is 0.95 kg/t.

2022, xiv + 128 pages

Keywords: Gold, Mining, Environment, Leaching, Sodium Cyanide, Jin Chan.



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN’a teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 20.FEN.BİL.40 numaralı proje ile maddi destek sağlayan BAPK’a teşekkür ederim.

Araştırma ve deney süresince desteğini esirgemeyen KOZA Altın İşletmeleri Maden Planlama Müdürü Ömer Şansal GÜLCÜOĞLU’na ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan eşim Çiğdem ERGÜL YILMAZ’a ve desteklerinden dolayı Anne ve Babama içten teşekkür ederim.

Hakan YILMAZ
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Altın Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2 Türkiye'deki Altın Madenleri Yatak Oluşumları	6
2.3 Dünyada Altın Madenciliği	8
2.4 Türkiye’de Altın Madenciliği	11
2.4.1 Kaymaz Altın Madeni	18
2.4.2 Çukuralan Altın madeni	19
2.5 Altın Cevheri Üretim Yöntemleri	20
2.6 Altın Hidrometalurjisi.....	23
2.7 Siyanürün Tarihçesi	27
2.8 Jin Chan Tarihçesi	30
2.8.1 Jin Chan Kimyasalıyla Daha Önce Yapılan Çalışmalar	32
2.9 Çevre Mevzuatı.....	33
3. MATERYAL ve METOT	37
3.1 Tesisin ve Cavher Sahasının Yeri	37
3.2 Numune Alma ve Hazırlama	40
3.3 Cevherlerin Karakterizasyon Çalışmaları	43
3.3.1 Cevherlerin Mineralojik Analizi	43
3.3.2 Cevherlerin Taramalı Elektron Mikroskop ve Mikrokimyasal Analizi	44
3.3.3 Kimyasal Analiz Sonuçları	51
3.4 Deneysel Çalışmaların Tasarlanması	52
3.5 Kırma, Öğütme ve Eleme İşlemleri	54
3.5.1 Kırma Çalışmaları	54

3.5.1.1 Çukuralan Cevher Numunesi Kırma Çalışmaları.....	54
3.5.1.2 Kaymaz Cevher Numunesi Kırma Çalışmaları	57
3.5.2 Öğütme ve Tane Boyut Analizi Çalışmaları	60
3.5.2.1 Çukuralan Cevher Numunesi Öğütme Sonrası Tane Boyut Analizi	65
3.5.2.2 Kaymaz Cevher Numunesi Öğütme Sonrası Tane Boyut Analizi	69
3.6. Liç Parametrelerin Belirlenmesi	75
3.6.1 Liç İşlemine Hazırlanması	75
3.6.2 Serbest Siyanür Ölçümü.....	84
3.6.3 Liç Sonrası Kimyasal Analiz	85
4. BULGULAR	86
4.1 Kaymaz Metalurji Laboratuvarı Bottle-Roll Deneyi	86
4.1.1 Bottle Roll Liç Test Çalışmaları	87
4.1.2 Bottle Roll Siyanür Liçi	89
4.1.3 Deney Sonu Tablonun Değerlendirilmesi.....	92
4.2 Liç Sonrası Kimyasal Analiz	93
4.3 Bölüm Laboratuvarında Yapılan Liç Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	95
4.4 pH Deneyi.	107
4.5 Oksijensiz Ortamda Liç Deneyi.....	109
4.6 Toksisite Deneyi	112
4.7 Kimyasal Bozundurma / Detoks Testi	113
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	118
6. KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Au	Altın
Ag	Gümüş
μm	Mikrometre
P ₈₀	Tane boyutunun %80'in geçtiği elek açıklığı
ppm	Milyonda bir
ppb	per percent of billion (milyarda bir)
g/t	Gram/Ton
Ag(NO ₃) ₃	Gümüş Nitrat
kg	Kilogram
Dak.	Dakika
⁰ C	Santigrat derece
μL	Mikrolitre
Cu	Bakır
CuSO ₄	Bakır Sülfat
Fe	Demir
Al	Alüminyum
Pb	Kurşun
Na ₂ S ₂ O ₅	Sodyum Metabisülfat
Zn	Çinko
Ba	Baryum
CN	Siyanür
CN ⁻	Serbest Siyanür
pH	Asit-Baz Derecesi
S ₂ O ₃ ²⁻	Tiyosülfat
CS(NH ₂) ₂	Tiyoüre
CNCl	Siyanojen klorür
OCN-	Siyanat

Kısaltmalar

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi
CIC	Kolon İçinde Karbon
CIL	Çözeltili İçinde Karbon
CIP	Pülp İçinde Karbon
CN _{WAD}	Zayıf asitte çözünebilen siyanür
EC50	Bakterilerin %50'sini inhibe eden konsantrasyon oranı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
HCN	Hidrojen Siyanür
JGD	Jin Chan
JGDfree	Serbest Jin Chan
KCN	Potasyum Siyanür
Liç	Kimyasal Çözünme
NaCN	Sodyum Siyanür
SCN	Tiyosiyanat

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Altının fiziksel özellikleri	3
Şekil 2.2 Altının kimyasal özellikleri.....	4
Şekil 2.3 Altını önemli yapan özellikler.....	5
Şekil 2.4 Tüketilen madenlerin miktarları.....	6
Şekil 2.5 Altın yatağının rezerv büyüklüklerine göre sıralanışı.....	8
Şekil 2.6 Altın madeninin yaşam döngüsü.....	9
Şekil 2.7 Altın rezervlerinin ülkelere göre dağılımı 2019.....	10
Şekil 2.8 Dünyadaki altın üretim yöntemleri	11
Şekil 2.9 Koza Altın İşletmeleri altın üretim yerleri.....	14
Şekil 2.10 Türkiye’de altın üretimi yapan şirketler.....	14
Şekil 2.11 Siyanürün kimyasal formülü.....	27
Şekil 2.12 Jin Chan kimyasal bağ yapısı görseli.....	32
Şekil 3.1 Kaymaz cevheri besleme malı XRD sonuçları.	43
Şekil 3.2 Çukuralan cevheri besleme malı XRD sonuçları.	44
Şekil 3.3 Kaymaz cevher numunelerinin SEM görüntüleri	45
Şekil 3.4 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 1.alan.....	47
Şekil 3.5 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 2.alan.....	47
Şekil 3.6 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 3.alan.....	48
Şekil 3.7 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 1.alan.....	48
Şekil 3.8 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 2.alan.....	49
Şekil 3.9 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 3.alan.....	49
Şekil 3.10 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 4.alan.....	50
Şekil 3.11 Çukuralan Altın Madeninden alınan örneğin SEM görüntüsü.....	51
Şekil 3.12 Çukuralan cevheri numune 1 EDS analizi	51
Şekil 3.13 Deneysel çalışmalara ait akım şeması.....	53
Şekil 3.14 Kırma işlemi akım şeması.....	55
Şekil 3.15 Kaymaz cevheri kırma işlemi akım şeması.....	58
Şekil 3.16 Kritik hızın değirmenin öğütme oranına etkisinin şematik gösterimi.....	63
Şekil 3.17 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P ₈₀ tane boyut grafiği (2500 g, 60 dev/dak).	66
Şekil 3.18 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P ₈₀ tane boyut grafiği (2500 g, 65 dev/dak).	67

Şekil 3.19 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P_{80} tane boyut grafiği (3000 g, 65 dev/dak)	68
Şekil 3.20 Çukuralan cevher numunesinin 90 dak öğütme sonrası partikül boyut dağılım grafiği.....	69
Şekil 3.21 Numune miktarı 2500 g ve 60 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.....	71
Şekil 3.22 Numune miktarı 2500 g ve 65 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.....	72
Şekil 3.23 Numune miktarı 3000 g ve 65 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.....	73
Şekil 3.24 Kaymaz partikül boyut dağılım grafiği.....	74
Şekil 3.25 Liç deneyi akım şeması.....	76
Şekil 4.1 Bottle-Roll deney akım şeması	87
Şekil 4.2 Saatlik altın kazanım grafiği numune 1	94
Şekil 4.3 Saatlik altın kazanım grafiği numune 2	94
Şekil 4.4 Çukuralan cevheri %30 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği	96
Şekil 4.5 Çukuralan cevheri %30 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	97
Şekil 4.6 Çukuralan cevheri %30 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği	97
Şekil 4.7 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	98
Şekil 4.8 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 400mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği	99
Şekil 4.9 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	99
Şekil 4.10 Çukuralan cevheri %45 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	100
Şekil 4.11 Çukuralan cevheri %45 pülp ve 400mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	101
Şekil 4.12 Çukuralan cevheri %45 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	102
Şekil 4.13 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	103
Şekil 4.14 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 400mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	103
Şekil 4.15 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	104
Şekil 4.16 Kaymaz cevheri %40 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	104

Şekil 4.17 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 400mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	105
Şekil 4.18 Kaymaz cevheri %40 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	105
Şekil 4.19 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	106
Şekil 4.20 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 400mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	106
Şekil 4.21 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 500mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.....	107
Şekil 4.22 Siyanürün pH'a bağlı tür grafiği	108
Şekil 4.23 pH oranlarına göre solüsyonda kalan serbest siyanür (CN ⁻) grafiği	109
Şekil 4.24 Oksijensiz ortamda siyanür liçi ile altın kazanımı ve tüketim grafiği.....	110
Şekil 4.25 Oksijensiz ortamda Jin Chan liçi ile altın kazanımı ve tüketim grafiği.....	111
Şekil 4.26 Serbest siyanürün, zayıf siyanür bileşiklerine detoksifikasyonu test grafiği	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bazı altın içeren mineraller	5
Çizelge 2.2 Dünyadaki altın rezervleri ve kaynakları	9
Çizelge 2.3 Türkiye’de altın üretimi ve ithalatı (2000-2020 yılları arası)	12
Çizelge 2.4 Koza Altın İşletmeleri bünyesindeki madenlerin altın tenörleri	13
Çizelge 2.5 Liç sonrası atık çözeltisinde kimyasal analiz	33
Çizelge 2.6 Maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları.....	34
Çizelge 2.7 Maden kömür hazırlama, işleme ve enerji üretme tesisleri(kok ve havagazı üretimi ve benzerleri) sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları	35
Çizelge 2.8 Metal sanayii (genelde metal hazırlama ve işleme)	35
Çizelge 2.9 Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları	35
Çizelge 3.1 Acme Analitik Laboratuvarı besleme malı kimyasal analiz sonuçları.....	52
Çizelge 3.2 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (2500 g, 60 dev/dak)	66
Çizelge 3.3 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (2500 g, 65 dev/dak)	67
Çizelge 3.4 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (3000 g, 65 dev/dak)	68
Çizelge 3.5 Numune miktarı 2500 g ve 60 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.....	70
Çizelge 3.6 Numune miktarı 2500 g ve 65 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.....	71
Çizelge 3.7 Numune miktarı 3000 g ve 65 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.....	72
Çizelge 3.8 Liç deney parametreleri.....	75
Çizelge 4.1 Deney tablosu numune 1	93
Çizelge 4.2 Deney tablosu numune 2	93
Çizelge 4.3 Kaymaz Altın Madeni metalurji laboratuvarı çoklu element analizi	95
Çizelge 4.4 Jin Chan kimyasalının içeriği	109
Çizelge 4.5 Kaymaz cevheri karşılaştırmalı liç verim tablosu.....	111
Çizelge 4.6 Çukuralan cevheri karşılaştırmalı liç verim tablosu.....	112
Çizelge 4.7 Akut zehirlilik testi analiz sonucu.....	112
Çizelge 4.8 Kaymaz cevheri detoks testi parametreleri.	114
Çizelge 5.1 Çukuralan cevheri, NaCN ve Jin Chan tüketime göre maliyet tablosu.....	119
Çizelge 5.2 Kaymaz cevheri, NaCN ve Jin Chan tüketime göre maliyet tablosu.....	119

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Kaymaz Sahası'nda cevher zonunun yaklaşık sınırları	19
Resim 2.2 Jin Chan kimyasalının paket ve ürün formu görseli	31
Resim 3.1 Kaymaz köyü ve maden ocağının uydu görüntüsü	37
Resim 3.2 Kaymaz Maden İşletmesinden bir görünüm	38
Resim 3.3 Ovacık Maden İşletmesinden bir görünüm.....	39
Resim 3.4 Çukuralan Maden İşletmesinden bir görünüm.....	39
Resim 3.5 Çukuralan Yeraltı Maden İşletmesinden bir görünüm.....	40
Resim 3.6 Maden Müh. Bölümü numune deposuna getirilmiş altın cevheri numune çuvalları, yaklaşık 100 kg	40
Resim 3.7 Kavanozlu numune bölücü cihaz (PT100).....	41
Resim 3.8 Kareleme yöntemiyle örnek alma işlemi	42
Resim 3.9 Deneyler için ayrılan numuneler.....	42
Resim 3.10 Boyut küçültmede kullanılan laboratuvar tip çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen.	54
Resim 3.11 Çeneli kırıcıya beslenen Çukuralan cevher numunesi	56
Resim 3.12 Laboratuvar ölçekli çeneli ve merdaneli kırıcı.	56
Resim 3.13 Çukuralan cevheri boyut küçültme aşamaları.....	57
Resim 3.14 Çeneli kırıcı ağız açıklığı ve kırıcıdan çıkan cevher boyutu.....	59
Resim 3.15 Çeneli kırıcıya beslenen Kaymaz cevheri elek analizi	59
Resim 3.16 Merdaneli kırıcıya beslenen cevherin elek analizi.....	59
Resim 3.17 Laboratuvar ölçekli çubuklu değirmen	60
Resim 3.18 Laboratuvar ölçekli çubuklu değirmene çubuk ve numune şarj görüntüsü. 62	
Resim 3.19 Öğütülen Çukuralan cevher numunesinin harmanlanması	64
Resim 3.20 PT 100 kavanozlu numune bölücü.....	65
Resim 3.21 Liç deneyleri için hazırlanan numune poşetleri	65
Resim 3.22 MS2000E tane boyut analiz cihazı ve yaş analiz sistemi.	69
Resim 3.23 2500 g Kaymaz cevher beslenen laboratuvar tipi değirmen.	70
Resim 3.24 25 kg Hazırlanan Kaymaz cevherinin harmanlanması.	73
Resim 3.25 Kaymaz cevherinin PT 100 kavanozlu numune bölücüde örnek alma işlemi	74
Resim 3.26 Çukuralan cevherinin %45 katı oranlı liç hazırlığı	77
Resim 3.27 Kaymaz cevherinin %45 katı oranlı liç hazırlığı	78
Resim 3.28 20 ml'lik şırınga yardımıyla liç testinden örnek alımı.....	78

Resim 3.29 Kimyasal eklenmesi işlemi	79
Resim 3.30 Oksijen ilavesi işlemi	79
Resim 3.31 Heidolph HZR 2021 mekanik karıştırıcı düzeneği.	80
Resim 3.32 Kimyasal tayini ve altın-gümüş analizi için örnek alımı.	80
Resim 3.33 Gümüş nitrat titrasyonu ile serbest siyanür ölçümü.	81
Resim 3.34 Liç işleminden elde edilen numuneler.	81
Resim 3.35 Liç sonu nihai ağırlık tartım işlemi ve pH ölçümü	82
Resim 3.36 Vakum pompası ile katı-sıvı ayırma işlemi.	82
Resim 3.37 Katı-sıvı ayırma işlemi sonrası Nüve FN 500 marka etüvde kurutulan katı numuneler.	83
Resim 3.38 Çeker ocak içinde liç düzeneği.	83
Resim 3.39 Gümüş nitrat titrasyonunda serbest siyanür ölçme işlemi.	84
Resim 3.40 Atomik Absorpsiyon Spectrometre (AAS) cihazında altın okuma işlemi..	85
Resim 4.1 Bottle Roll liç testi için 2.5 litrelik liç şişeleri.	88
Resim 4.2 WTW marka pH metre ve WTW marka oksimetre.	88
Resim 4.3 Bottle roll düzeneği ve O ₂ rotametre ayarları.....	89
Resim 4.4 Gümüş nitrat (Ag(NO) ₃) titrasyonu ve kimyasal analiz için şişeden numune alımı.	90
Resim 4.5 Gümüş nitrat (Ag(NO) ₃) titrasyonu görselleri	90
Resim 4.6 Basınçlı filtre pres cihazı.	91
Resim 4.7 Süzülen solüsyonun alındığı kap.	91
Resim 4.8 Basınçlı filtre pres cihazından çıkan katı atık.	92
Resim 4.9 pH deney düzeneği.....	108
Resim 4.10 Serbest siyanür ve CNwad test örnekleri.	114

1. GİRİŞ

Türkiye zengin maden kaynakları sayesinde, tarihinde her zaman madencilik var olmuştur. Dünyadaki ilk bakır, kurşun ve demir maden işletmesi ile ilk metalurjik uygulama Anadolu'da yapılmıştır. Altından yapılmış süs eşyaları da yine Anadolu'da kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada ilk altın para Salihli-Sart'ta basılmıştır. Osmanlılar dönemi boyunca işletilen altın-gümüş madenleri hazine için zenginlik kaynağı olmuştur. Bununla birlikte Cumhuriyet döneminde, 1933'de kurulan ilk madencilik kurumu Altın Arama ve İşletme İdaresi'dir (İzmirlioğlu 2001).

İnsanların ilgisini üzerinde olan altın, ülkelerin gelişmesinin ve zenginliğinin ölçüsü olarak kabul edilmiştir. İlk çağlardan itibaren ticarete bir ödeme aracı olmuş, süs eşyası olarak gündelik hayatta yer edinmiş, düzenli ekonomilerin gelişmesine bağlı olarak da dünya finans sisteminde merkez bankalarının altın stoğu tutması sayesinde önemli rol üstlenmiştir. Dünya ekonomisine ve ticarete önemli katkılarda bulunmaktadır, zenginlik ve refah ile özdeşleştirilmiştir. Halen ticaretin en önemli ve en değerli madenleri içerisinde altın ve gümüş üst sıralarda yer almaktadır. Geniş altın yataklarına sahip olmak, büyük miktarda altın stoğuna sahip olmak, para birimi olarak altın para kullanmak bir ülkenin diğer ülkelere karşı üstünlük kurmasının aracı olmuştur. Bir dönem ekonomilerin giderek gelişmesi nedeniyle altın siyaset ve ekonomide daha az rol üstlenmiş daha çok endüstriyel ve takı kullanımına yönelinmiştir. Ancak son zamanlarda yaşanan pandemi ve ülkeler arası gerilimler nedeniyle yeniden yatırım aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yaşanan kriz ortamlarında altın hala insanların birikimlerini tutabilecekleri güvenli liman görevini korumaktadır. Savaş zamanlarında altın fiyatlarının büyük artışları da bunun bir göstergesidir (Polat 2013).

Günümüz altın madenciliğinde cevherlerden altın-gümüş kazanımı, cevher yatağının türü, altının cevher içerisinde bulunma miktarı (tenörü) ve tane boyutuna, yapısal özellikleri bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve metalurjik yöntemlere göre gerçekleştirilmektedir (Yıldız 2010). Altının hidrometalurjik yöntemlerle kazanımına karar verildiğinde en yaygın kullanılan kimyasal sodyum siyanürdür, düşük tenörlü ve ince taneli altın taneleri varlığında, cevherden altını kazanmak için uygulanmaktadır.

Dünyada altın, bakır, çinko ve gümüşü kazanmak için kullanılan siyanürün yaklaşık % 13'ü madencilik sektöründe kullanılır, geri kalan % 87 oranındaki siyanür ise plastik, yapıştırıcı, tekstil ve böcek ilacı gibi diğer endüstriyel işlemlerde kullanılır (İnt. Kyn. 1).

Cevher ve konsantrelerinden altının kazanılması için birçok alternatif kimyasal sistemi incelenmektedir. Yüz yılı aşkın süredir siyanür, yüksek altın kazanımı, dayanıklılığı ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle altın madenciliğinde tercih edilen liç reaktifi olmuştur (Yılmaz vd. 2019). Bununla birlikte, yanlış yönetiminden kaynaklanan çevresel zararlar, daha az toksik maddeler tanımlamayı ve geliştirmeyi amaçlayan araştırmalar da yapılmaktadır. Ancak dünya çapındaki altın madenlerinin büyük çoğunluğunda tercih edilen kimyasal siyanürdür.

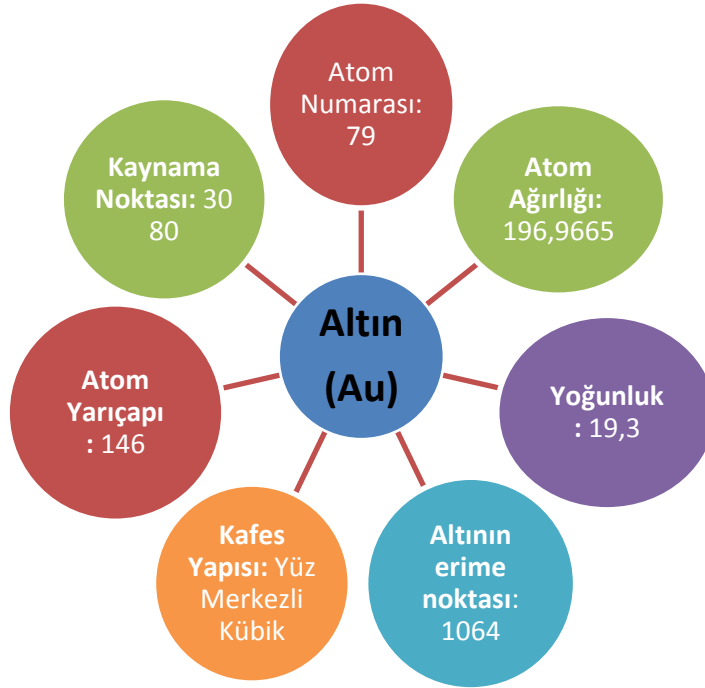
Siyanür ucuz, etkili ve biyolojik olarak parçalanabilir olmasına rağmen, yüksek toksisiteye sahip olmasından dolayı, altın kazanımında daha az toksik kimyasallar kullanılabilmesi için yeni yöntemler araştırılmaktadır. Birçok kimyasal (çözücü) madde de incelenmiştir. Tiyosülfat ($S_2O_3^{2-}$), tiyoüre ($CS(NH_2)_2$), iyot/iyodür, amonyak, sıvı civa ve alfa-siklodekstrin gibi birçok çözücü kimyasal altının kazanılmasında denenmiştir. Bu kimyasalların denenmesinde yaşanan zorluklar arasında reaktif maliyeti ve altın geri kazanım verimliliği yer almaktadır (Monhemius ve Hilson 2015).

Bu tez çalışmasında, altın kazanımında NaCN (sodyum siyanür) ve Jin Chan kimyasalları kullanılarak Jin Chan'ın altın kazanımındaki etkinliği değerlendirilmiştir. Liç işlemini etkileyen parametreler halihazırda tesislerde kullanılan parametreler olarak baz alınmıştır. Parametreler Çukuralan ve Kaymaz İşletmesinden alınan ve iki farklı yapıda cevher kullanılarak cevher özelliklerinin liçe ve dolayısıyla altın kazanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında Koza Altın İşletmelerine ait Kaymaz Altın Madeni ve Çukuralan Altın Madenlerinden 2 ayrı numune alınmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise liç işlemine hazırlanan cevherlerin Jin Chan ve NaCN kimyasallarının farklı derişimlerde kullanılmasının liç işlemine etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Altın Hakkında Genel Bilgiler

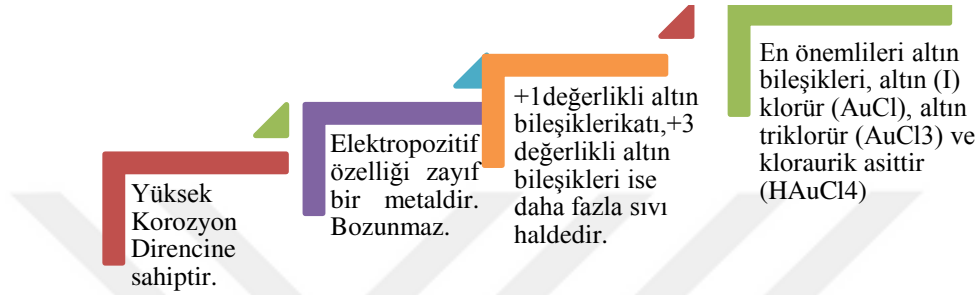
Altın, geçiş metallerinin bir üyesidir. Gümüş ve bakır ile aynı periyodik tablo sütununda bulunmaktadır. Altın, sarı renkli bir metaldir, ancak ince bir şekilde bölündüğünde siyah, yakut veya mor olabilir. Altın iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir. Havaya veya çoğu reaktife maruz kalmaktan etkilenmez. İnerttir ve kızılötesi radyasyonun iyi bir yansıtıcısıdır. Altın genellikle gücünü artırmak için alaşımlanır. Saf altın troy ağırlığında ölçülür, ancak altın diğer metallerle alaşımlandığında mevcut altın miktarını ifade etmek için karat terimi kullanılmaktadır. Altının fiziksel özellikleri Şekil 2.1’de yer almaktadır (Anonim 2010a).



Şekil 2.1 Altının fiziksel özellikleri (Anonim 2010a).

Altın kimyasal bir elementtir. Altının Latince adı “aurum”dur. Altın için kimyasal sembol “Au” isminden türetilmiştir. Periyodik tabloda altın, 11. grupta atom numarası 79’a sahiptir. 21’den 30’a, 39’dan 48’e, 57’den 80’e ve 89’dan 112’ye kadar olan tüm diğer elementler gibi, altın da "geçiş elementleri" olarak adlandırılır.

Çünkü bu atom numaralarına sahip tüm elementler öncelikle metaldir ve ikinci olarak elektron kabuklarında artan sayıda elektron sergiler. Ayrıca altın, plütonyum ve sezyum, saf elementler grubuna dahildir. Bu nedenle doğada, atom çekirdeğinde her zaman aynı sayıda proton ve nötrona sahip olan tek bir izotop vardır. Altının kimyasal özellikleri Şekil 2.2’de yer almaktadır (Anonim 2019). Aynı zamanda altın normal koşullarda, oksijenle reaksiyon vermeyen bir elementtir.



Şekil 2.2 Altının kimyasal özellikleri (Anonim 2019).

Altın yerkabuğunda 0,0035 g/t düzeyinde bulunmaktadır. Bu miktarla altın nadir bulunan elementlerdendir. Altın, doğada genel olarak nabit halde, nadiren de Ag, Cu, Hg, Bi, Te bileşikler olarak veya sülfür mineraller halinde bulunur (Önel 2011).

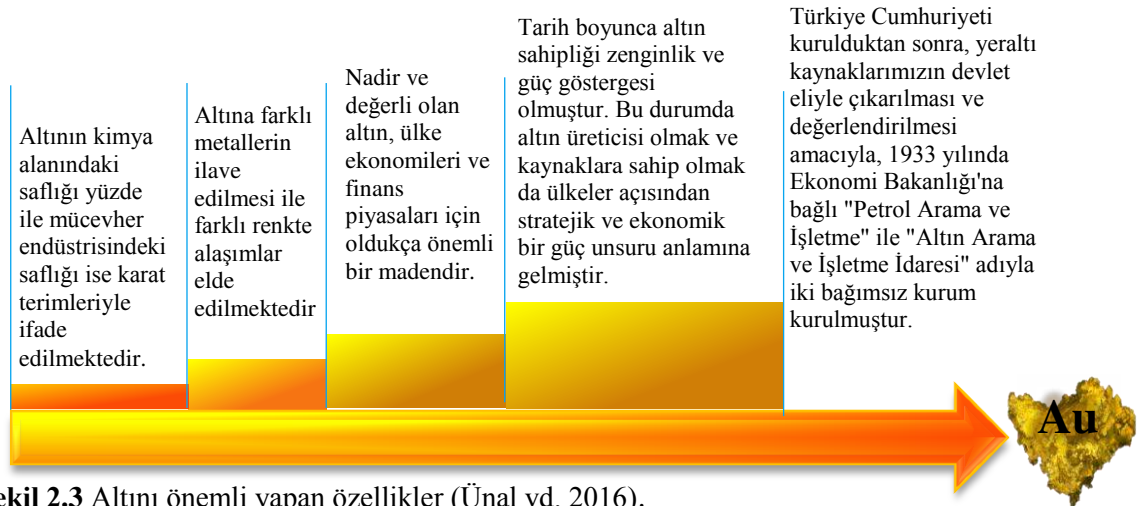
Mineralojik olarak incelenen altın yataklarında, yaklaşık 30 kadar altın içeren mineral mevcuttur. Ancak bazıları ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir (Güneş 1997). Bazı altın içeren mineraller Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Helmenstine (2019), altının sarı olarak bulunan tek metal olduğunu, diğer metallerin ancak oksitlendikten sonra veya kimyasallarla reaksiyona girdikten sonra sarımsı bir renk geliştirebileceğini belirtmiştir. Altının son derece sünek olduğunu ve tek bir ons yaklaşık 31 gram altının, 8 kilometre uzunluğunda altın ipliğe gerilebileceğini, altın ipliklerin nakışta bile kullanılabileceği anlatılmıştır. Altın asil bir metal olduğunu ve bunun nedeninin, reaktif olmamasından ve hava, nem veya asidik koşullar tarafından bozulmaya karşı dayanıklı olmasına bağlanmıştır. Asitler çoğu metali çözerken, altını çözmek için aqua regia (Kral Suyu) adı verilen özel bir asit karışımı kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Altını önemli bir maden yapan özellikler Şekil 2.3’de vurgulanmaktadır.

Çizelge 2.1 Bazı altın içeren mineraller (Jones ve Fleischer 1969).

Mineral Adı	Kimyasal Formülü	İçerik
Altın		(Genelde %10-15 Ag, max. %20,4 Cu ve düşük %’lerde Fe, Bi, Sn, Zn, Al, Mn)
Elektrum	(Au, Ag)	>%20 Ag
Porpezit	(Au, Pd)	%5-10 Pd
Rodit	(Au, Rh)	%34-43 Rh
Aurikuprid	(AuCu ₃)	5–10% Cu
Aurosmirid	(Au, Ir, Os)	%19.3 Au, 5% Os + 5–7% Ir
Gümüş	(Ag, Au)	%0-50 Au
Altın-Amalgam	Au ₂ Hg ₃	%34.2-41.6 Au
Maldonit	Au ₂ Bi	%64.5-65.1 Au; %34.9-35.5 Bi
Aurostibit	AuSb ₂	%43.5-50.9 Au
Krennerit	AuTe ₂ (Pt,Pl)	%30.7-43.9 Au
Kalaverit	AuTe ₂	%39.2-42.8 Au
Silvanit	(Au, Ag)Te ₂	%24.25-29.9 Au; Au/Ag: 1/1
Kostovit	CuAuTe ₄	%25.2 Au
Petzit	Ag ₃ AuTe ₂	%19.0-25.2 Au
Hessit	Ag ₂ Te	%4.7 Au
Montbrayit	Au ₂ Te ₃	%38.6-44.3 Au
Nagyagit	Pb ₅ Au(Te, Sb) ₄ S ₅ ⁻⁸	%7.4-10.2 Au
Aurobimutinit	(Bi, Au, Ag) ₅ S ₆	%12.3 Au, %2.3 Ag



Şekil 2.3 Altını önemli yapan özellikler (Ünal vd. 2016).

Köse (2019), bir Türk vatandaşının 79 yıllık ömrü boyunca birçok maden tükettiğini belirtmektedir.

Toplamda 797 ton maden tüketilmekte ve bunun 192 gramlık kısmı ise altını oluşturmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Tüketilen madenlerin miktarları (Köse 2019).

Madencilik tüm sektörlerin hammadde ihtiyacını sağlamaktadır. Madencilik durursa tüm sektörler duracaktır. İnsanların aç kalmaması için tarım ne kadar önemli ise fabrikaların aç kalmaması için madencilik de o kadar önemli olmaktadır.

2.2 Türkiye’deki Altın Madenleri Yatak Tipleri ve Oluşumları

Altın üretiminde gerekli proseslerin seçiminde ve metalürjik yöntemlerin belirlenmesinde kayaç yapısının, mineralojik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Altın yatakları, oluşum sıcaklığı, içinde yer aldığı kayaçlar, cevherin mineralojik yapısı, altınla birlikte bulunan diğer elementler ve yatakların oluştuğu jeodinamik ortama göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Yücel 2020).

Türkiye’deki altın yataklarının oluşumu; İzmir-Bergama, Efemçukuru, altın madenlerini oluşturan epitermal altın oluşumları, Artvin-Cerrattepe altın madeninin yer aldığı volkanojenik masif sülfür (VMS) oluşumları, Uşak-Kışladağ, Erzincan-Çöpler, İzmir-Seferihisar, altın madenlerinin yer aldığı porfiri ve skarn tip bakır-kurşun-çinko oluşum yatakları ve Manisa-Sart, Hatay-Akılıçay, altın madenlerini oluşturan yatak tipleri ise plaser altın yatakları şeklinde altın oluşumları gözlemlenmiştir (Yücel 2020).

Yukarıda belirtilen yatak özelliklerine göre üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Örneğin epitermal altın yatakları oluşumunda yüksek tenörden dolayı karıştırmalı tank liçi tercih edilmiştir. Serbest nabit altın içeren damar tipi cevherlerin sülfürlü mineral içerikleri azdır. Bu tür cevherlere uygulanan zenginleştirme ve ekstraksiyon işlemleri genelde; gravimetrik zenginleştirme, amalgamasyon, CIP (Pülp İçinde Karbon), çinko ile çöktürme gibi işlemlerdir. Bu cevherleşme türü Türkiye’de İzmir, Salihli Sart Altın madeninde rastlandığı belirtilmektedir. Altın-tellür cevherleri, nabit altından sonra en önemli altın mineralleridir. Bu cevherlere uygulanan işlemler, flotasyon, çinko ile çöktürme, ters akımlı dekantasyon işlemleridir. Avustralya’da Kalgoorlie maden işletmesinde bu tür cevherleşme yer almaktadır (Küçük 2018).

Türkiye’de ise Madendağ (Çanakkale) ve Arapdağ (İzmir) yatakları bu tipe girmektedir. Plaser altın yatakları, taşınan kırıntılı malzemeler karasal konglomeraları oluşturmuş ve senklinal gelişmesi ile bu birimler çökelmiştir. Daha sonra gelen hidrotermal solüsyonlar konglomeralar içinde dolaşırken birçok elementin yer değiştirmesine ve yeniden kristalleşmesine sebep olmuştur. Ülkemizde Akılıçay (Hatay), Darphane (Sarıkamuş) ve Şart Çayı altınlı plaserleri bu tip yataklardandır. Bunlardan en önemlisi Sart Çayı plaserleridir. Altın iri taneli olduğu için bu tip yataklarda genellikle gravimetrik zenginleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Epitermal yataklar, damar, stokwork ve saçınımlar halinde oluşan düşük tenörlü ve fakat büyük rezervli yataklardır. Ülkemizde, Eskişehir Kaymaz, Gümüşhane Mastra Altın İşletmesi, Efemçukuru Altın Madeni bu tip yataklardandır. İzmir Çukuralan İşletmesinden çıkarılan cevher, zenginleştirme tesisinin bulunduğu ovacık işletmesine gönderilmektedir. Bu tür cevherlere uygulanan zenginleştirme işlemleri genelde, CIP (Pülp İçinde Karbon), CIC (Kolonda Karbon) şeklinde olmaktadır (Koç 2017).

Cevherin kalitesini etkileyen faktörler arasında tenörden başka, altın içeren mineraller, altın kristallerinin büyüklüğü ve yapı-doku ilişkisi sayılabilmektedir.

Rezerv durumuna göre yataklar Şekil 2.5’de belirtildiği üzere sıralanmaktadır (Temur 2000).

5 000 kg Au’ya kadar Çok küçük yatak

5 000-30 000 kg Au Küçük yatak

30 000-100 000 kg Au Orta büyüklükle yatak

100 000-500 000 kg Au Büyük yatak

500 000 kg Au Çok büyük yatak



Şekil 2.5 Altın yatağının rezerv büyüklüklerine göre sıralanışı (Temur 2000).

2.3 Dünyada Altın Madenciliği

Dünyada altın madenciliği, Antartika hariç her kıtada faaliyet gösteren küresel bir iştir ve altın, çok çeşitli tür ve ölçekteki madenlerden çıkarılmaktadır. Altının çıkarılmasından önce, hem rezervi mümkün olduğunca doğru bir şekilde belirlemek hem de cevherin verimli ve güvenli bir şekilde nasıl çıkarılıp işleneceğini belirlemek için önemli bilgi birikiminin ve geliştirmelerin yapılması gerekmektedir. Ortalama olarak, bir altın madeninin rafine edilebilir ürün üretmeye hazır hale gelmesi 10-15 yıl sürer (Reuters 2018). Bir altın madeninin yaşam döngüsü Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Altın madenin yaşam döngüsü (Reuters 2018).

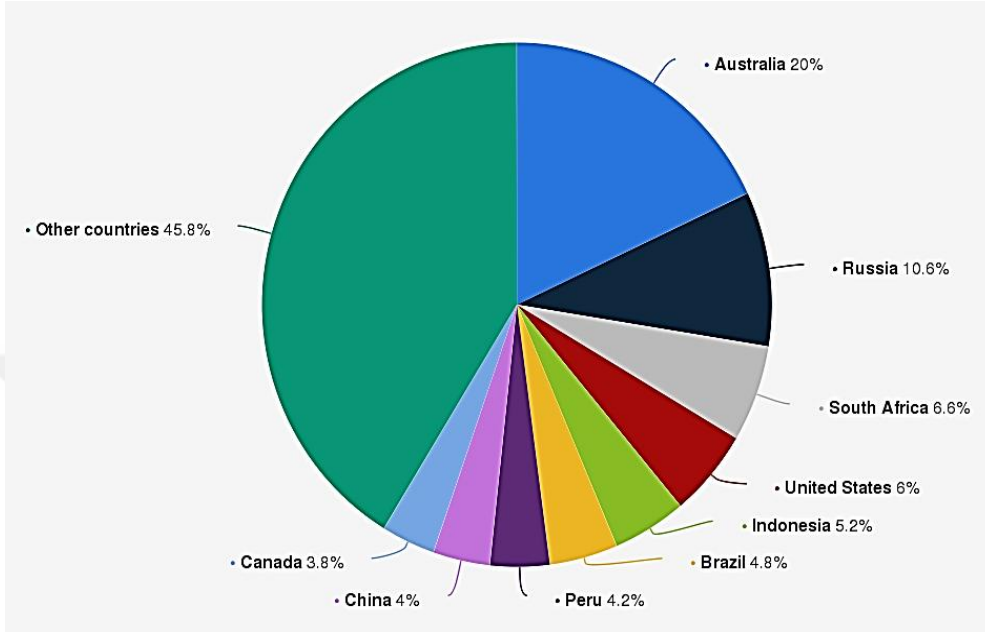
2019 Yılında dünyada altın üretimi 10 yıldan beri ilk kez düştüğü belirtilmektedir. Dünya ülkeleri yıllık 28 ton yani % 0,8 düşüşle 3 534 ton altın üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bunun sebebinin açık ocak madencilğin bitmesinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Yalnızca Türkiye ve Bolivya'nın bu düşüşün hafiflemesine yardımcı olduğu vurgulanmıştır (Newman vd. 2020). Dünyada altın rezervleri ve kaynakları Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Dünyadaki altın rezervleri ve kaynakları (Newman vd. 2020).

Ton	Rezerv	Kaynaklar
Kuzey Amerika	11 030	35 470
Güney Amerika	7 480	24 350
Avrupa	1 250	3 330
Afrika	7 640	29 470
Bağımsız Devletler Topluluğu	15 330	35 450
Asya	6 860	36 630
Okyanusya	5 870	18 540
Toplam	55 460	183 240

Dünya altın üretiminde 2018-2019 yıllarında bir düşüş yaşanırken Türkiye'de ise 2018 yılında %34 lük artış, 2019 yılında ise %2 lik bir artış gösterdiği belirtilmektedir. Çin, 2016 yılında dünyanın en büyük altın üreticisi olmuştur ve toplam yıllık üretimin yaklaşık %14'ü olmuştur. Asya bir bütün olarak altının %23'ünü üretmektedir. Orta ve Güney Amerika, toplamın yaklaşık %17'sini üretirken, Kuzey Amerika yaklaşık %16'sını tedarik etmektedir. Üretimin yaklaşık %19'u Afrika'dan ve %14'ü BDT bölgesinden olmaktadır (İnt. Kyn. 2).

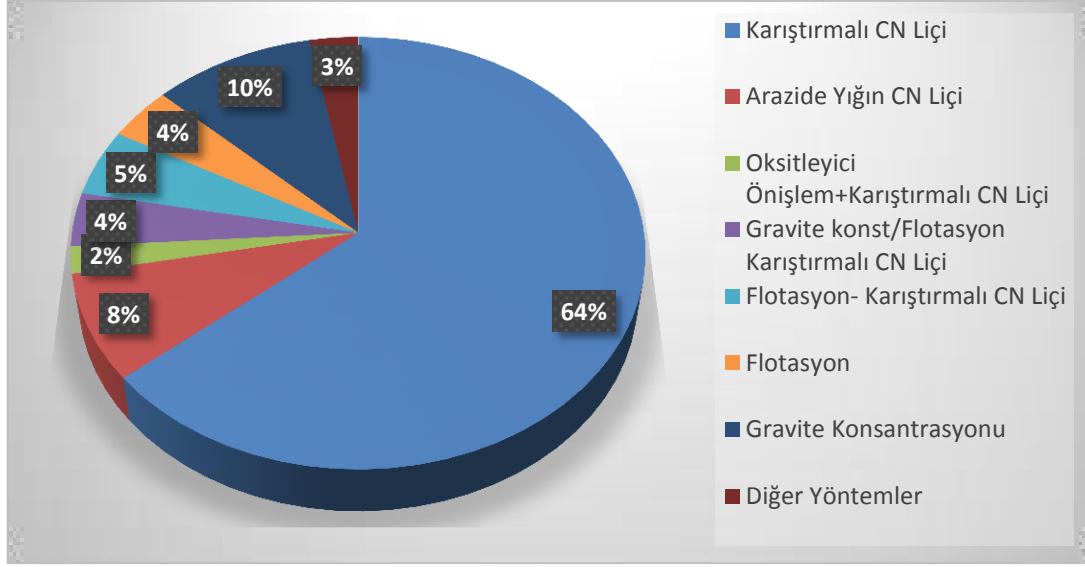
Dünya altın rezervlerine bakıldığında en büyük payı %20'lik bir oranla Avustralya'nın aldığı görülmektedir. Avustralya'yı ise % 10,6'lık oranla Rusya izlemektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Altın rezervlerinin ülkelere göre dağılımı 2019 (İnt. Kyn. 3).

Üretim açısından dünyanın en büyük altın madeni, Özbekistan'daki Muruntau Altın Madeni'dir ve 150 milyon ons'un üzerinde altın olduğu belirtilmektedir. Diğer büyük altın madenlerinden biride ABD, Nevada'da bulunabilen Carlin Altın Madeni'dir. Bu madende bulunan altın türü görünmez altın olarak bilimektedir ve bu da onu başlı başına eşsiz bir maden yapmaktadır. Görünmez altının anlamı, altının mikroskopik yapısı nedeniyle yalnızca kimyasal analiz yoluyla keşfedilebileceği demektir. Altın yokmuş gibi görünse de maden yılda yaklaşık 1 665 ons altın üretmektedir (İnt. Kyn. 4).

Dünya'da altın üretiminin; %83-85'i siyanürleme, %3-5'i gravite ve %10-14'ü flotasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Dünyada tespit edilen altın yataklarının tenörleri çok düşük olduğu için bu yöntemlerden en fazla siyanür liçi ile altın kazanımı yapılmaktadır. Zenginleştirme yönteminin seçimi; cevherin mineralojik, jeolojik, metalurjik özellikleri ile çevresel ve coğrafik faktörler değerlendirilerek yapılmaktadır (Şekil 2.8) (Yücel 2020).



Şekil 2.8 Dünyadaki altın üretim yöntemleri (Marsden vd. 2006).

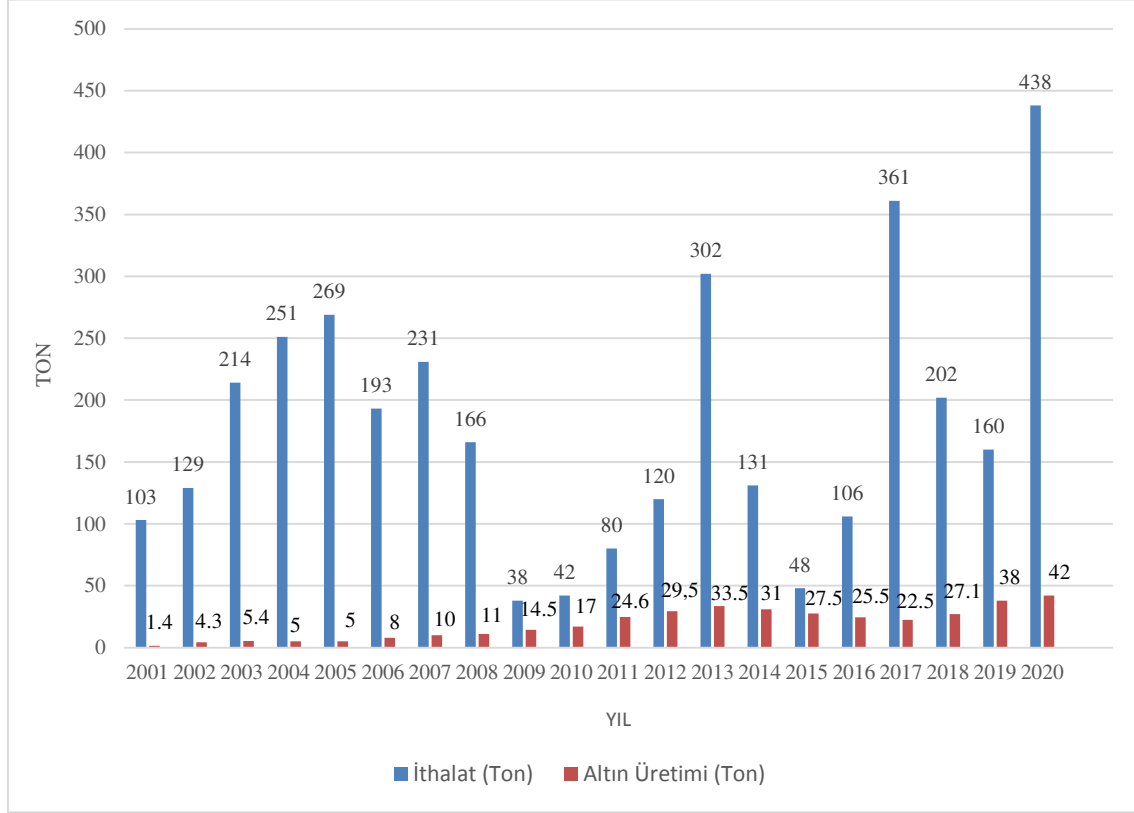
2.4 Türkiye’de Altın Madenciliği

Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalarla son 19 yılda yaklaşık 11,2 milyar ton kömür, 24 bin ton uranyum, 7 bin 724 ton toryum, 263 milyon ton mermer, 20,7 milyar ton sodyum sülfat ve 243 bin ton nadir toprak elementi rezervi keşfedildiği, toplam metal altın rezervinin ise 1 890 tona ulaştığı bildirilmiştir (Emiroğlu 2021).

Madenler, ülkelerin doğal kaynaklardır ve sanayinin sürekli artan talebini karşılamak üzere madenlerin işletilmeleri gerekmektedir. Ülke ekonomilerinin önemli sektörlerinden olan madencilik, ulusların sosyal ve ekonomik kalkınmaları için gerekli sanayinin başlıca hammaddelerini ve enerjiyi sağlayan çalışmaları kapsamaktadır. Türkiye’nin altın üretimi 2001 yılları başlarında başlamıştır. 2001 yılından 2020 yılına kadar 20 yılda 18 madende 6 milyar dolar yatırım 382 ton üretim ve 12 bin 300 kişi istihdam sağlanmıştır.

Bu süreç boyunca altının ülke ekonomisine, 2019 yılında 1,7 milyar dolar, 2020 yılında ise 2,4 milyar dolarlık bir katkı sağlamıştır. Çizelge 2.3’de yer aldığı gibi yıllık ortalama 180 tonluk bir altın ithalatı gerçekleştirilmiş ve altın üretimimiz 2020 yılında 42 ton ile en fazla seviyeye ulaşmıştır.

Türkiye’deki altın şirketlerinin altın üretim hedefleri yılda 100 ton değerlerine ulaşmaktır (Anonim 2021a).



Çizelge 2.3 Türkiye’de altın üretimi ve ithalatı (2000-2020 yılları arası) (Anonim 2021a).

Madencilik uygulamalarının gerçekleştirilmesinde izin almak için, şirketin (veya devlet kurumlarının) genellikle bir Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yapması gerekmektedir.

ÇED süreci ve ÇED belgesi, karar vericilerin belirli bir madencilik projesinin çevre üzerindeki etkisinin büyüklüğünü ve kapsamını anlamalarına ve bir projenin bir sonraki aşamaya geçip geçemeyeceğine veya daha önce herhangi bir eylemin uygulanması gerekip gerekmediğine karar vermelerine yardımcı olmaktadır (Ceylan vd. 2000).

Türkiye’de ilk kurulan altın işletmesi Koza Altın İşletmeleri olup, 31 Aralık 2020 itibarıyla Türkiye genelinde 109 işletme ve 137 arama ruhsatına sahip olduğu belirtilmektedir. Bünyesinde beş adet üretim yapan maden bulunmaktadır.

Ovacık'ta yeraltı işletmeciliği, Çukuralan'da yeraltı işletmeciliği, Kaymaz'da açık ocak işletmeciliği, Himmetdede'de açık ocak işletmeciliği ve Mastra'da açık ocak işletmeciliği ağustos ayında tamamlanmış olup, yeraltı işletmeciliği devam etmektedir. Koza Altın İşletmeleri, 2020 yılı on iki aylık dönemde 258 678 ons altın üretilmiş ve 3 249,6 milyon TL gelir elde edildiği belirtilmektedir (İnt. Kyn. 5).

Koza Altın İşletmeleri bünyesindeki madenlerin 2020 yılına ait ortalama altın tenörleri Çizelge 2.4'de yer almaktadır.

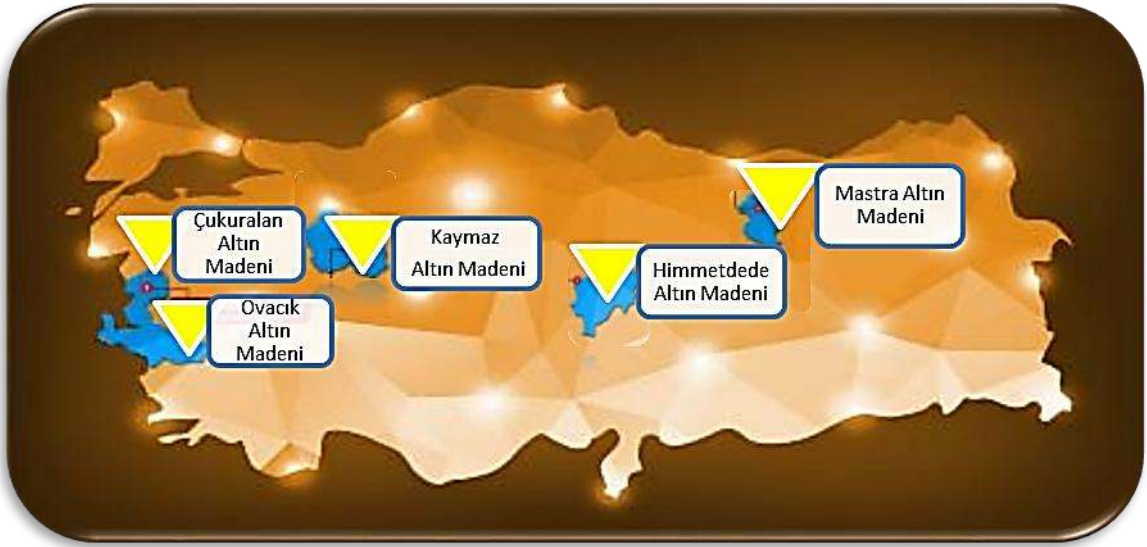
Çizelge 2.4 Koza Altın İşletmeleri bünyesindeki madenlerin altın tenörleri (İnt. Kyn. 5).

<i>Tenör</i>	<i>Çukuralan</i>	<i>Kaymaz</i>	<i>Himmetdede</i>	<i>Ovacık</i>	<i>Mastra</i>
g/t	5.16	3.37	0.56	4.29	5.85

31 Aralık 2020 itibariyle Koza Altın İşletmeleri'nin görünür ve muhtemel rezervin 2,1 milyon ons olarak hesaplandığı belirtilmektedir (İnt. Kyn. 5).

Türkiye çıkarılabilir altın miktarı 2019 yılı verilerine göre 1 446 ton olarak verilmiştir (Şahiner 2019). Türkiye'nin jeolojisinin altın cevherleşmesi için çok elverişli olmasından hareketle beklenen altın potansiyelinin 4 660 ton olduğu ifade edilmiştir (Anonim 2020a).

2020 Yılı itibariyle Koza Altın İşletmelerinin altın üretimi gerçekleştirdiği yerlerin gösterimi Şekil 2.9'da verilmiştir (İnt. Kyn. 5).



Şekil 2.9 Koza Altın İşletmeleri altın üretim yerleri (İnt. Kyn. 5).

2020 Yılı itibariyle Koza Altın İşletmeleri dışında Türkiye’de altın üretimi yapan şirketlerin gösterimi Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10 Türkiye’de altın üretimi yapan şirketler (Anonim 2020b).

Pomza Export tarafından işletilen Manisa-Sart Altın İşletmesi, çevreye duyarlı gravite yöntemi benimsendiği belirtmekte olup, siyanür kullanılmadan ve sıfır atık prensibi ile çalışan çevre dostu altın madeni işletmesidir (İnt. Kyn. 6).

96 mg/m³ Au içerikli plaser tip Sart altın yatağında 20 milyon m³ altın rezervine (metal altın içeriği 1,9 t) sahip olduğu belirtilmektedir. (Anonim 2010b).

TÜPRAG tarafından işletilen Kışladağ Altın Madeni, yığın liçi yöntemiyle altın kazanımı elde edildiği belirtilmektedir. Cevherin ortalama tenörünün 0,66 g/t olarak belirlenmiştir. Rezervinin ise 180 milyon ton olduğu vurgulanmaktadır. (İnt. Kyn. 7). Yine TÜPRAG tarafından işletilen Efemçukuru Altın Madeni, cevherin ortalama tenörü, bugüne kadar gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına göre altın (Au) için 7,31 g/t olarak belirlenmiştir. Maden yeraltı işletmesi olarak tasarlanmıştır. Flotasyon yöntemi ile konsantre üretimi yapılmaktadır. Efemçukuru'ndaki cevher, düşük sülfütlü epitermal damar sistemine bağlı olarak gelişmiştir. Altın cevherleşmesi, alterasyona uğramış hornfelsler ve fillitler içinde dik şekilde dalan kuvars ve kuvarslı rodonit damarları içerisinde yer almaktadır. Altın; kuvars ve rodonit ganglar içinde, ince ve serbest taneler halinde gözlenmekte, pirit, kalkopirit ve sfaleritler içinde ise kapalı taneler halinde bulunmaktadır. 2012 yılında kapasite artışının gerçekleştirildiği proje kapsamında, 15 yıllık işletme dönemi sonunda yaklaşık 8,5 milyon ton cevher çıkartılmış olacağı belirtilmektedir (Aydın 2013).

Efemçukuru'nda her yıl 600 000 ton cevher işlenerek yılda yaklaşık 3 ton altın üretilmektedir. Cevher zenginleştirilmesinde flotasyon ve sodyum siyanür liçi uygulanmaktadır (Aydın 2018).

Anagold Madencilik tarafından işletilen Çöpler Altın Madeni, cevher zenginleştirmesinde oksitli cevhere yığın liçi, sülfürlü cevherlere ise basınçlı oksidasyon uygulanarak yapılmaktadır. Madende bulunan cevherin ortalama tenörü 1,31 g/t olup, muhtemel maden rezervi ise 41,2 milyon ton olduğu belirtilmektedir (Aydın 2018).

Gümüştaş Madencilik tarafından işletilen Niğde-Bolkardağ Altın Madeni, yeraltı üretim yöntemiyle elde edilen cevherler, nakliye araçları ile Tepeköy Cevher Zenginleştirme tesisine taşınmakta ve tank liçi yöntemiyle işlenerek dore altın ve gümüş elde edilmektedir.

Tesise beslenen altın cevherinin ortalama tenörü 4 g/t olup, toplam 250 000 ton işletilebilir oksitli cevherin olduğu belirtilmektedir. Niğde Bolkar Oksit yeraltı madeninden yıllık yaklaşık 60 000 ton oksitli cevher üretimi yapılmaktadır.

Gümüştaş Madenköy yatağı tamamen oksidize olmuş olup, yoğun limonit + götit ile birlikte oksitli çinko (smitsonit, hidrozinkit, hemimorfit), oksitli kurşun (serüzit, plombo-jarosit çok az galen'le) nabit altın ve gümüş, elektrum (altın+Ag alaşımı), pirit, silis, kalsit, psilomelan; kil, mika ve feldispat minerallerinden oluşmuştur (İnt. Kyn. 8).

Yıldız Bakır Madencilik tarafından işletilen Gümüşhane Midi Hammadde Sahası ve Cevher Zenginleştirme Tesisi 2011 Ağustos ayında kapasitesinin dörtte biri olan 150 t/sa kapasite deneme üretimine başlamış. Açık işletmeden elde edilen tüvenan cevher flotasyon tesisinde birincil zenginleştirme işlemine tabi tutulmakta ve nihai ürün olarak pirit (FeS_2) altın konsantresi elde edilmektedir (İnt. Kyn. 9). MTA tarafından tespit edilen Midi Madeninde yüzeyden alınan, cevheri bol örnekten yapılan kimyasal analizlerde ortalama % 0,15 Cu, % 1,28 Pb, % 17,9 Zn, 55 g/t Ag, 7,8 g/t Au değerleri saptandığı belirtilmiştir (Kahraman vd. 1984). Esas cevher minerali sfalerit olup az miktarlarda galen, kalkopirit ve pirit bulunduğu belirtilmektedir. Mostranın yakınındaki damar oksitlenmiş, Limonit ve simitsonit gibi ikincil ayrışma mineralleri de gözlemlendiği vurgulanmıştır (Demir ve Yılmaz 2006).

Altıntepe Madencilik tarafından işletilen Altıntepe Altın madeninden çıkarılan cevher, yığın liç prosesi ile zenginleştirilerek dore altın elde edilmektedir. Mevcut ocak alanlarından patlatmalı açık ocak işletmeciliği yöntemi ile üretimler gerçekleştirilmekte ve ortalama tenörü 1,34 g/t altın olan yıllık ortalama 2 229 120 t kazı (cevher + pasa) üretimi ile ortalama tenörü 0,35 g/t altın olan ortalama yıllık 2 215 296 t düşük tenörlü kazı (cevher + pasa) üretimi gerçekleştirilmektedir (Keskin 2018).

Demir Export tarafından işletilen Bakırtepe Altın Madeninden çıkarılan cevher yığın liçi yöntemiyle işlenerek dore altın ve gümüş elde edilmektedir. Ortalama cevher tenörü Au 0,85 g/t olarak belirlenmiştir. Proje kapsamında toplam 4 289 036 ton cevher üretimi planlanmaktadır.

Projenin hedefi 82 487 ons altın üretmek olduğu belirtilmekte. Bakırtepe Altın Sahası, konumu ve jeolojik özelliklerine göre ayrılan iki farklı sektörden oluşmaktadır. Kuzey sektör’de altın cevherleşmesi (Bakırtepe’nin merkezi ve kuzeybatısı), kuvarsitlerin içindeki kırık ve çatlaklar boyunca hidrotermal olarak yerleşmiştir. Güney sektördeki (Bakırtepe’nin güneyi) altın cevherleşmesi ise klorit şistler ile kuvars-serisit şistler arasında dokanak/süreksizlik düzlemi boyunca gelişmiş ankeritik zon içerisinde gözlenmektedir. Nabit halde bulunan altın tanecikleri kuvars damar ve damarcıkları içerisinde saçınımlı olarak çıplak gözle görülür boyutlarda ve serbest taneler halinde gözlemlendiği belirtilmiştir (Akkaya 2015).

Esan Eczacıbaşı tarafından işletilen İnlice Maden İşletmesi, Konya-İnlice bölgesinde 2,36 g/t Au tenörlü 629 000 ton görünür rezerve sahip bir işletme olduğu belirtilmektedir. Cevher sülfürlü ve oksitli cevher olarak ikiye ayrılmıştır. Kimyasal analiz sonucuna göre oksitli tüvenan cevherde 2,38 g/t Au ve gri renkteki sülfürlü tüvenan numunede 1,39 g/t Au bulunduğu vurgulanmaktadır. Altın madeninden çıkarılan cevher yığın liçi yöntemiyle altın üretimi gerçekleştirmektedir (Bayoğlu 2013).

Zenit Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen Kızıltepe Altın Madeninde, cevher zenginleştirme işlemi, siyanür çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilecek tank liçi prosesi esaslarına dayanmaktadır. Cevher içerisindeki karbon oranından dolayı CIL (Liç İçerisinde Karbon) prosesiyle altın kazanılmaktadır. Kızıltepe Altın ve Gümüş Madeni, damar tipi epitermal cevherleşmelere örnek bir yataklanma olduğundan bahsedilmektedir. Volkanik kayalar (bölgede, genelde dasitik ignimbiritler) içerisinde post-tektonik süreçlerde gelişen faylanmalar boyunca yeryüzüne yakın pozisyonlarda yataklanmış, ekonomik miktarda altın ve gümüş içeren, düşük sülfidasyonlu kuvars damarları şeklinde görülmektedir. Kızıltepe’de ortalama 7 g/t Au tenörlü 400 000 ton cevher hesaplandığı belirtilmektedir (Özkoçak 1993).

TÜMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen Lapseki Altın-Gümüş Madeninde üretilen cevher, tank liçi prosesi ile zenginleştirme işlemine tabi tutulacağı ve son ürün olarak cevher elde edileceği belirtilmektedir.

Altın tenörü ortalama 1,85 g/t dur. Maden sahasında hesaplanan rezervin, toplam 930 000 oz altın olarak raporlandığı belirtilmektedir. Madenin ekonomik ömrü 10 yıl olarak belirlenmiştir (Kılıçhan ve Gündüz 2017). Çanakkale İli Lapseki İlçesi sınırlarında yer alan proje, düşük sülfürleşmeye sahip bir epitermal yatak cevherleşmesi görülmektedir (Aydın 2018)

Şirketin ikinci projesi İvrindi Altın Madeninde yığın liçi prosesi ile altın zenginleştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Projede toplam 964 602 ons altın ve 2 350 997 ons gümüş içerdiği tahmin edilmektedir. Ton başına altın ve ton başına gümüş tenörleri sırasıyla 0,67 g ve 1,62 (Kılıçhan ve Gündüz 2017). İvrindi düşük sülfidasyonlu epitermal Au-Ag yatağının normal faylar tarafından sınırlandırılan KD-GB gidişli yapısal bir koridor içerisinde bulunduğunu belirtmişlerdir (Gürler 2019)

Öksüt Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından işletilen Öksüt Altın Madeninde yığın liçi ve kolonda karbon (CIC) işlemlerinden geçirilerek dore altın elde edilmektedir. Genel itibarıyla andezitik volkanik kayalar içerisinde gelişmiş, “Yüksek Sülfidasyon Epitermal” tipi saçınımlı altın yatağıdır. Öksüt Projesi kapsamında iki açık ocak alanı bulunmaktadır (Keltepe ve Güneytepe). Keltepe ve Güneytepe rezervlerinden çıkarılacak cevherin tamamı oksitli ve geçiş zonuna ait olduğu belirtilmektedir. Keltepe cevherinin altın tenörü 1,2 g/t Au, Güneytepe cevherinin altın tenörü ise 0,9 g/t Au olduğu ve Keltepe alanında 29 milyon ton Au, Güneytepe alanında 4,7 milyon ton Au mineral kaynak olarak belirlenmiştir (Sezener 2016).

2.4.1 Kaymaz Altın Madeni

Kaymaz Altın Madeni, Eskişehir il merkezine yaklaşık 70 km, Sivrihisar İlçesine 20 km mesafede olan Kaymaz Mahallesi’ndedir. Damdamca, Topkaya ve Mermerlik sahalarından oluşmaktadır. Damdamca Proje Sahası’nda; cevher hazırlama ve zenginleştirme ve atık depolama tesisi, açık ocak, pasa depolama sahası ve yardımcı üniteler yer almaktadır. Topkaya Proje Sahası’nda ise sadece açık ocak bulunmaktadır. Ana cevherleşmenin yankayacı serpantinittir.

Kaymaz bölgesindeki cevherleşme genel olarak lisvenit tipi, sedimanter kayalar ile Karakaya granitinin kontağında gelişmiş olan silisleşmiş serpantin damarları şeklindedir. Mermerlik sahasında da cevherleşmenin yankayacı serpantinittir. Kaymaz Altın Madeni 2011 yılı sonunda inşaatı tamamlanarak devreye alınmıştır. Kaymaz İşletmesi'nde yer alan cevher işleme tesisi liçli ile altın üretimi yapmaktadır. Kırıktan geçen cevher, çubuklu ve bilyalı değirmenler aracılığı ile öğütülmekte ve liçli tanklarına beslenmektedir Planlanan cevher üretim ve zenginleştirme faaliyetleri neticesinde altın için % 88, gümüş için % 75 verim değerleri ile yaklaşık 15,24 ton altın ve 14,69 ton gümüş elde edilmesi hedeflenmiştir. Tesisteki liç ünitesi üç adet liç tankından oluşmaktadır ve liç tankların hacmi 690 m³ olduğu belirtilmektedir (İnt. Kyn. 5).



Resim 2.1 Kaymaz Sahası'nda cevher zonunun yaklaşık sınırları.

2.4.2 Çukuralan Altın Madeni

KOZA, Türkiye'nin ilk altın madeni olan Çukuralan Altın Madenini (İzmir ili, Bergama ilçesi) 2005 yılından beri işletmekte olup son dönemde yeraltı işletmesi ile yakın bölgelerde yer alan diğer maden ocaklarından getirilen cevheri mevcut tesislerinde zenginleştirmekte ve neticede dore altın ve gümüş üretimi gerçekleştirmektedir (İnt. Kyn. 5). Çukuralan madeni yaklaşık 1,3 km uzunluğunda yer yer masif kuvars damarı, stokwork damarcıklar veya breşik tip cevherleşme sunan bir cevher zonudur. Burada cevherleşme hem yapısal hem de litoloji kontrollü olarak gelişmiştir.

Sünümlü deformasyon geçirmiş metamorfiklerin veya metamorfikler ile granodiyoritin kantağındaki süreksizliklere yerleşen asidik bileşimli subvolkanik dayklar kendileriyle eş yaşlı düşük sülfidasyon tipi porfiri ilişkili epitermal cevherleşmeye neden olmuşlardır (İnt. Kyn. 5).

Ovacık Altın Madenine 40 km uzaklıkta bulunan Çukuralan İşletmesinde cevherin işlenmesi, iki aşamalı kırma ve öğütme devreleri olan geleneksel altın proses devreleri ve CIP (pülp içinde karbon) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Özgün tasarım üzerinde yapılan modifikasyonlar, cevher işleme kapasitesinin 300 000 t/yıl artmasını sağlamıştır. Yılda 900 000 t cevher işlenmektedir. Dore altın geri kazanım oranı %95'in üzerindedir (İnt. Kyn. 5).

2.5 Altın Cevheri Üretim Yöntemleri

Mudder ve Botz (2008), altın cevherinden altını ekonomik bir şekilde kazanmak için yapılacak yöntem ve yöntemlerin belirlenmesinde en önemli etken cevherin mineralojik yapısının olduğunu belirtmektedir. Cevherin karmaşık mineralojik yapısı altın kazanmak için kullanılması planlanan proseslerin de karmaşık olmasına neden olduğunu ve dünyada üretilen altının yaklaşık %90'ı siyanür liçi yöntemi ile yapıldığı vurgulamıştır. Altın üretimlerinde tenörü düşük ve çok küçük tane boyutunda serbestleşen altın cevherleri için siyanürleme yöntemine alternatif olabilecek ekonomik olan yöntem henüz bulunmamaktadır.

Ekonomik olarak uygulanabilir altın kazanma uygulamalarının ana kategorilerini aşağıdaki şekilde incelemiştir (Dağılı 2019).

- 1- Gravite ayırma
- 2- Flotasyon
- 3- Kimyasal Madencilik
- 4- Amalgamasyon

Gravimetri ile ayırma, mineralleri ayırmak için kullanılan ilk yöntem olduğunu ve uzun yıllar altın kazanımında kullanıldığından bahsedilmektedir. Flotasyon yani köpükle yüzdürme, gravite ayırmaya rakip olmuştur, ancak flotasyonun iyi bir ayırma verimine sahip olmadığını belirtilmektedir. Gravite ile ayırmanın iki ana özelliği vardır, birincisi iri altın parçacıkları kazanabildiği, diğeri de işletim maliyetinin düşük olmasıdır (İnt. Kyn. 10).

Altının özgül ağırlığı ($19,0 \text{ g/cm}^3$) ile yan kayaçların ortalama özgül ağırlığı ($\sim 2,7 \text{ g/cm}^3$) düşük olmasından dolayı aralarındaki özgül ağırlık farkı, gravite yöntem ile altın kazanımının gerçekleştirdiğini belirtilmektedir (İnt. Kyn. 11).

Genel olarak, gravite ayırmanın flotasyon ve liç üzerinde bazı avantajları vardır, önemli ölçüde daha düşük sermaye yatırıma, daha az güce ve düşük taşıma maliyetlerine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca çevreye bırakılan atık malzemeler daha az zararlıdır. Altının yüksek özgül ağırlığı bir avantajdır, ancak serbest altının kazanılmasını engelleyen olumsuz özellikleride mevcuttur. Temel olarak, düzleştirilmiş parçacıklar, boşluklar ve düzensizlikler altının etkili özgül ağırlığını azaltır ve batmak yerine yüzmesine neden olabilir. Küçük parçacıkların düz şekli hidroplaning oluşturabilir. Bir parçacığın boyutu, şekli ve kütlesi, gravite ayırmada çökelme hızı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olmaktadır.

Flotasyonun, en önemli altın kazanım süreçlerinden biri olduğu ve temel kısıtlaması, $400 \text{ }\mu\text{m}$ ile $250 \text{ }\mu\text{m}$ arasında değişen iri altın parçacıklarının kazanıldığı vurgulanmaktadır. Bu işlem, belirli bir oksidasyon derecesine sahip polimetallik birikintilerde bulunan ince serbest altını kazanmaktır. Uzun yıllar boyunca, amalgamasyon, siyanürleme ve flotasyon kombinasyonu ile yüksek altın kazanımı gerçekleştirildi. Zamanla teknoloji ve tasarım düşüncesi değişerek, flotasyon ve / veya siyanürleme süreçleri favori kombinasyon olmuştur. Doğal altın ve elektromun değişken bileşime sahip olduğu ve aynı parçacığın farklı kısımlarının farklı bileşime sahip olabileceği göz önüne alındığında, bu parçacıkların yüzdürülebilir olmaları nedeniyle yüzdürme ile geri kazanılması mümkün olmaktadır. Ayrıca gümüş içeriğinin altın flotasyon oranına etkisi hakkında bir teori vardır.

Bu teoriye göre, iki gümüş-altın parçacığı varsa, daha yüksek gümüş içeriğine sahip parçacık yüksek bir yüzdürme oranına sahiptir. Bu etki muhtemelen gümüş, altın ve öğütme ortamı arasındaki galvanik etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (İnt. Kyn. 11).

Aydın vd. (2020), flotasyonda altın parçacıkların şekli önemli olduğunu ve düzleştirilmiş altın partiküllerinin daha iyi bir yüzey alanına sahip olması ve toplayıcı ile daha verimli reaksiyona girebilmesi sebebiyle, yuvarlak partiküllere göre çökeltme eyleminin çok yavaş olması altın kazanımını etkilediğini belirtmektedir.

Logsdon vd. (1999), hidrometalurjik işlemlerden bahsetmemiz gerektiğinde, altın madenciliği endüstrisinde uzun süredir kullanılan siyanürleme işleminden bahsetmek gerektiğini belirtmiştir. Siyanürleme süreci, 1887 yılında, iyi teknoloji eksikliğinden dolayı altın kazanımının bazı problemler yaşamaya başlamasıyla icat edildi. Temel olarak işlem iki aşamada gerçekleşir: altın, seyreltik siyanür çözeltilerinde çözünür ve ikinci olarak, doygun çözelti, çinko tozu veya aktif karbon ve elektro-kazanım kullanılarak başarılı bir şekilde altın kazanılmaktadır.

Marsden ve House (2006), altın çözünme hızının, NaCN konsantrasyonuna ve çözeltinin alkalinitesine bağlı olduğunu, optimum pH'ın ise 10,5 civarında olduğunu belirtmiştir. Verimli kazanım için, altın bir cevher içinde serbest, ince boyutlu, temiz parçacıklar halinde oluşmalıdır. Oksitlenmiş bakır mineralleri gibi bazı minerallerin varlığı proses için zorlayıcıdır, çünkü bakır ilk etapta çözünecek ve serbest siyanür altın çözüldürülmesinde kullanılmayacaktır. Ayrıca, siyanür işleminde yeterli bir çözünmüş oksijen kaynağının mevcut olması gerektiğinin de belirtmektedir.

Sayın (2010), Efemçukuru yöresine ait altın cevheri ile yapmış olduğu sodyum siyanür liçi çalışmalarında tane boyutu düştükçe verimin arttığının gözlemlendiğini belirterek - 0,075 mm ve -0,053 mm tane boyutları için verim değerlerinin birbirine yakın olduğundan, -0,053 mm tane boyutunda verimde beklenen artışın olmadığını belirtmiştir. Bu sonucun cevherin çok ince öğütülmesinden kaynaklandığını, cevherin konvansiyonel liçinde öğütme masrafından kaçınmak ve şlam boyutuna geçmeyi

engellemek için 0,075 mm tane boyutu altının kabul edilir boyut olduğundan bahsedilmiştir. Cevhere konvansiyonel olarak direkt siyanür liçi uygulandığında -0,106 mm tane boyutu için zenginleştirme liç verimi %82'dir. -0,075 mm tane boyutu için altın verimi %95 iken tane boyutu -0,053 mm'ye düştüğünde verimin %96'ya çıktığını tespit etmiştir.

Ahmad (2007), refrakter altın cevherlerinin ortak tanımı, standart gravite konsantrasyonu veya doğrudan siyanür liçi ile altının kazanılmasına izin vermeyen cevherler olduğunu belirtmiş. Refrakter cevherlerin ana kategorilerinden birinin, pirit ve arsenopirit gibi sülfid minerallerinin kristal yapısında bulunan altın değerleri olduğunu vurgulamaktadır.

Siyanürün altına sızması için, siyanür çözeltisinin altın molekülleri ile doğrudan temas etmesi gerekmektedir. Pek çok sülfür cevheri ile cevher, altın parçacıklarını açığa çıkaracak kadar ince öğütülemediğini, bu cevherler için ön işlemin amacının, tüm altın parçacıklarının en azından küçük bir kısmının doğrudan elementlere maruz kalması için sülfidin yeterince uzaklaştırılmasıdır denmektedir.

Amalgamasyonun, metalik altın veya gümüşün veya ikisinin bir alaşımının cıva ile karıştırıldığı, bir birleştirme tamburunda veya kıymetli metalin cıva ile birleşerek metal yüklü cıva oluşturduğu bir birleştirme masasında karıştırıldığı bir yoğunlaştırma işlemi olduğu belirtilmektedir. Amalgamasyon nispeten kaba altını geri kazanmak için kullanılır ve bu nedenle altın geri kazanım sistemlerinde çok önemli olmuştur. Siyanür, kaba altın üzerinde çok yavaş etki eder, ancak saf altını kolayca çözer. Flotasyon konsantrasyonu iri altın üzerinde etkili olmadığı vurgulanmaktadır (İnt. Kyn. 12).

2.6 Altın Hidrometalurjisi

Yücel vd. (2019), siyanürleme sonucu katı fazdan sıvı faza geçen altın ve gümüşün sıvı fazdan geri kazanımı, altın – gümüş derişimlerine ve çözünme kinetiklerine bağlı olarak, CIP (Pülp içinde Karbon), CIL (Çözelti içinde Karbon) ve CIC (Kolon içinde Karbon) gibi aktif karbona yüzey soğurma veya doğrudan çinko tozu ile çöktürmeyi

takiben elektroliz ve ergitme yoluyla gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Elde edilen külçe ürünler arıtma tesislerinde saflaştırıldığını vurgulamıştır. Bugün, dünyada altın üretiminin kazanılması için siyanür liçi tercih edilen yöntemdir. Bununla birlikte, zaman zaman veya tarihsel olarak kullanılan birçok başka kimyasal çözündürme işlemi vardır. Çoğu durumda, siyanürle yıkama, teknolojik olarak daha etkili ve uygun maliyetli bir yöntem sağlamaktadır.

Gökelma vd. (2016), Aqua Regia (Kral Suyu), konsantre nitrik ve hidroklorik asit karışımı olduğunu, bu reaktifin en güçlü kimyasal çözücüye ait olduğunu ve altını çözme kabiliyeti nedeniyle kral suyu olarak bilindiğini belirtmiştir. Kral suyu, iki asitten oluşmakta ve tek başlarına altını çözmemektedir, yaklaşık 1/4 nitrik asit ve 3/4 hidroklorik asit karışımı altını çözebilmektedir. Güçlü oksitleyici nitrik asit, sonsuz miktarda altını çözerek üç değerlikli altın iyonları oluşturmaktadır. Çözünmüş altın iyonları, hidroklorik asit tarafından sağlanan klorür iyonları ile reaksiyona girerek tetrakloroaurat anyonları oluşturur. Aqua Regia, son derece aşındırıcı özelliği ve kimyasal dengesizliği nedeniyle ekonomik bir çözücü olmadığı düşünülmüştür.

Gökelma vd. (2016), klor, çözücü Ag^{+3} ve daha kararlı Ag^{+1} klorür kompleksleri oluşturarak sulu çözeltilerde altını çözdüğü belirtilmektedir.

Altının çözünmesinin iki aşamada gerçekleşir denmekte: Au^{+1} klorür altın yüzeyinde ilk aşamada oluşur ve daha sonra $AuCl_2$ ikinci aşamada oluşmaktadır. Bu klorürler, çözeltilerin oksitleme potansiyeline bağlı olarak çözelti içinde yayılır veya daha kararlı olan çözelti içinde oksitli olur. Klorlamanın büyük bir avantajı, sudaki klorürlerin daha yüksek çözünürlüğünden kaynaklanan alkali siyanür süzdürmeye kıyasla yüksek çözünme hızıdır. Ancak gümüş ve kurşun içeren minerallerin klor ile temas etmesi, altın yüzeyinde çözünmeyen klorür tabakalarının oluşması nedeniyle sorunludur. Metal kazanımında kayba neden olmaktadır. Diğer bir dezavantaj, kuvvetli korozif klor çözeltisinin zor kullanımı ve oluşan klor gazı nedeniyle kapalı bir reaksiyon kabına ihtiyaç duyulması gerektiğini belirtilmektedir.

Gökelma vd. (2016), brom ve İyot, klora benzer bir çözünme reaksiyonuna sahip diğer

iki önemli halojenür süzme reaktifi brom ve iyot olduğunu vurgulamıştır. Bu reaktifler güçlü bir şekilde oksitleyicidir ve siyanürle süzülmesinden çok daha yüksek çözünme oranları gösterir. Zor kullanımları, yüksek reaktif maliyetleri ve sağlık sorunları nedeniyle brom ve iyot endüstriyel olarak kullanılamadığı anlatılmıştır.

Gökelma vd. (2016), tiyosiyanat iyonu SCN^- siyanüre ($NaCN$ veya $KaCN$) alternatif, daha az zararlı bir reaktif olduğunu belirtmektedir. Sulu bir tiyosiyanat çözeltisindeki altın, kararlı Au^{+1} ve Au^{+3} kompleksleri oluşturduğunu ve tiyosiyanat ile en iyi çözme koşulları, demir gibi uygun bir oksitleyici ajan, çözeltinin yaklaşık iki pH seviyesi ve yükseltilmiş sıcaklık varlığında elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Demir, çözünme kinetiğini yükselterek ve tiyosiyanat iyonunun stabilitesini artırarak altın ekstraksiyonunu katalize etmektedir. Sıcaklık artışıyla, artan oksidasyonu nedeniyle tiyosiyanat tüketiminin arttığı belirtilmektedir.

Gökelma vd. (2016), tiyosülfat ($S_2O_3^{2-}$), siyanür için başka bir alternatifi olduğunu ve daha az çevresel etkiye neden olan ve aynı zamanda altını verimli bir şekilde çözebilen tiyosülfat olduğu vurgulanmıştır.

Metal çözünmesi genellikle oksijen varlığında nötr ortamda gerçekleştiğini, altının alkali tiyosülfat ile çözünme hızı nispeten yavaş olduğunu, ancak artan reaktif konsantrasyonu ve işlem sıcaklığı ile artırılabilirdi düşüncesini savunmaktadır. Ayrıca, çözünme katalizörlerinin bakır ve amonyağın eklenmesi, çözünme hızı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Yeterli bir çözme verimi elde etmek için yüksek bir reaktif tüketimi gereklidir. Bu nedenle, tiyosülfatın en büyük dezavantajı siyanürden daha az ekonomik olduğu belirtilmektedir.

Gökelma vd. (2016), organik bileşik thiourea, ekstraksiyon hızı, verim ve çevresel konular açısından etkili bir altın çözünme reaktifi oluşturduğu belirtilmiştir. Düşük pH seviyesi 1-2 olan, optimal koşullarda ve ayrıca oksidan olarak oksijen ve demir mevcudiyetinde % 99 altın çıkarma oranı elde edilebileceği belirtilmektedir. Dezavantajı, oksidasyon yoluyla reaktif kaybından dolayı proses sırasında yüksek

tüketim olmasıdır. Bu, yüksek tiyoüre ise maliyeti nedeniyle büyük bir sorun oluşturmuştur.

Gökelma vd. (2016), bioleaching, altının çözündürülmesi için bir yöntem olmadığını, ancak sülfid mineral kaynaklarının süzdürme koşullarını iyileştirmek için kullanıldığını belirtmektedir. Böylelikle ekstraksiyon kimyasallarına olan talep ve bunların çevresel tehditleri azaltılabileceği düşüncesini savunmuştur. Bu kaynakların kavurma veya basınçla oksitlenen süzdürme ile işlenmesi ekolojik ve ekonomik açıdan daha az etkilidir. Kükürt ve demir oksidasyonundan enerji üreten ve dolayısıyla sülfid minerallerinin ayrışmasını katalize eden doğal olarak oluşan bakteriler vardır. Bu bakteriler, kapsüllenmiş altın tanelerini serbest bırakmak için kullanılabilir. Bakterilerin katalitik etkisi şu şekilde tanımlanabilir: Elemental kükürt, Fe^3 ve kükürt minerali içeren oksidasyon reaksiyonları ile oluşur ve bu sayede partikül yüzeyinde bir kükürt kaplaması oluşur. Kaplama, mineralin daha fazla oksidasyonunu engeller ve böylece kapalı altın parçacıkları artık süzülerek çıkarılamaz. Bakteriler kükürt kaplamayı oksitleyerek sülfür parçacıklarının gözenekliliğini artırır. Biyo ekstraksiyonun ilk ve muhtemelen en önemli yararı, çevreye verdiği minimum zarardır. Bioleaching'in diğer bir avantajı, işletmek için çok fazla uzmanlık veya karmaşık makine gerektirmeyen oldukça basit bir süreçtir.

Bakteri süzdürme işlemi etkili ve temiz bir yöntemdir ancak 48 - 72 saatlik yavaş reaksiyon hızı ve zor bir proses kontrolü gibi maalesef bazı dezavantajlarının olduğu vurgulanmaktadır. Yavaş hızın nedeni, sülfür ve sülfür cevherlerinin bakteriyel sindirimiminin, sıcaklıkta artışa neden olan ekzotermik bir reaksiyon oluşturmamasından kaynaklandığını belirtmiştir. Mezofilik bakterilerin çalışma sıcaklığının aşılmasıyla tüm reaksiyonlar ölmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek sülfid içeriğine sahip cevherlerin işlenmesi zordur. Ayrıca pH, pülp yoğunluğu ve oksijen konsantrasyonu gibi diğer faktörlerin proses üzerinde yüksek bir etkisinin olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak yukarıda belirtilen siyanüre alternatif kimyasallar, çözme işlemi, çözündürme parametreleri ve reaktifin geri dönüştürülebilirliği gibi geliştirilmeyi bekleyen büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

2.7 Siyanürün Tarihçesi

Koçak (2009), siyanür, çeşitli biçimlerde bulunabilen, hızla etki eden, potansiyel olarak ölümcül bir kimyasal olduğunu belirtmektedir. Siyanür, hidrojen siyanür (HCN) veya siyanojen klorür (CNCl) gibi renksiz bir gaz veya sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) gibi bir kristal form olabilir. Noller vd. (2008), siyanür bazen “acı badem” kokusu olarak tanımlanır, ancak her zaman bir koku yaymaz ve herkes bu kokuyu algılayamadığını belirtmektedir. Siyanür ayrıca askeri isimler AC (hidrojen siyanür için) ve CK (siyanojen klorür için) olarak da bilinmektedir (McNutt 2015).

Siyanür, bir nitrojen atomuna üçlü bağlı bir karbon atomundan oluşan bir moleküldür. Siyanürün kimyasal formülü CN^- şeklindedir. Siyanürün diğer atomlarla reaksiyona girme yeteneği nedeniyle, birçok farklı fiziksel form alabilir. Örneğin, siyanür hidrojen ile bağlandığında renksiz bir gaz olan hidrojen siyanür (HCN) haline gelir. Sodyum siyanür (NaCN) ise beyaz bir kimyasal tuzdur. Bir katyon bir anyona bağlandığında kimyasal tuzlar oluşur. Katyon, pozitif yüklü bir iyon, anyon ise negatif yüklü bir iyondur. Sodyum siyanür durumunda, sodyum katyon, siyanür ise anyon olmaktadır. Şekil 2.11’de siyanürün kimyasal formülü verilmektedir (Sayiner 2012).



Şekil 2.11 Siyanürün kimyasal formülü (Noller vd. 2008)

Logsdon vd. (1999), bir nitrojen atomuna üçlü bağlı tek bir karbon atomu olan siyanür (CN), cevherden altının çıkarılmasında son derece yararlı olduğunu kanıtlamıştır. Bununla birlikte, zehirli bir üne sahip olduğu için, madencilikteki kullanımı çok tartışmalı hale geldi.

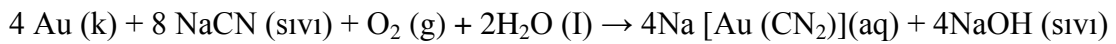
“Altın siyanürleme” “siyanür işlemi” veya “siyanür süzdürme madenciliği” adı verilen bir işlem yoluyla, siyanür çevredeki kayalardan altın çıkarmak için kullanıldığını belirtmektedir.

Siyanür hem etkili hem de ekonomik olmakla birlikte, kullanımı ve taşınması önemli çevresel riskler içerdiği vurgulanmıştır. Siyanür “yığın liçi”, açıkta kaya yığınlarında altın çıkarmak için kullanılabilir. Siyanür “tank liçi”, ince öğütülmüş cevheri suda bir siyanür tozu ile karıştırır. Siyanür altın iyonlarına bağlanarak onları suda çözünür hale getirerek kayadan ayrılmasına izin verir. Siyanür "yığın liçi", çok düşük kaliteli cevher için veya atık malzemeyi yeniden işlemek için kullanılır. Büyük bir cevher yığınının, zamanla kayadan damlayan bir siyanür çözeltisi verilir. Elde edilen sıvı dipte toplanır ve altın kimyasal olarak ekstrakte edilir.

Yığın liçi, cevherin bir tankta işlenmesinden daha az altın çıkarır, ancak çok daha ucuzdur (Manning vd. 2016).

Hilson vd. (2006), düşük kaliteli cevherleri işlemek için siyanüre birkaç alternatif olduğunu, ancak hiçbirini bugüne kadar çok yaygın olarak kullanılmadığını belirtmektedir. Bu alternatifler ya pahalıdır, aynı zamanda toksiktir, daha az etkilidir ya da yeterince çalışılmamıştır denmektedir. Cevherden siyanür kullanılarak altın lici için iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Tank liçi ve yığın liçi. Tank liçi altın cevherinin kırılarak bir milimetreden küçük tane büyüklüğünde öğütüldüğü geleneksel yöntemdir

Altının çözünmesine yönelik kimyasal denklem, "Elsner Denklemi" şu şekildedir.



Bu denklemde, oksijen, iki aşamadan oluşan reaksiyon yoluyla, Au (CN) oluşturmak için her bir altın atomundan bir elektron çıkarmaktadır. Pratikte kullanılan tipik siyanür konsantrasyonları, cevherin mineralojisine bağlı olarak 300 mg/l ila 500 mg/l (NaCN olarak % 0,03 ila 0,05) arasında değişmektedir (Kuyucak vd. 2013).

Cevher hazırlamanın ilk adımı, cevherin partikül boyutunu küçülten ve kıymetli metallerin kazanımı için serbest bırakan kırma ve öğütmedir. Geleneksel bir öğütme ve karıştırılmalı liç devresinde, cevher, toz kıvamına gelene kadar yarı otojen bilyeli veya çubuklu değirmenlerde öğütülür. Öğütülmüş cevher bir dizi liç tankına taşınır. Öğütülen cevher, siyanür ve oksijenin altın ve gümüş ile temasını arttırmak ve liç işleminin verimliliğini arttırmak için ya mekanik olarak ya da hava enjeksiyonu yoluyla süzdürme

tanklarında karıştırılır. Siyanür daha sonra cevherden altın ve gümüşü çözer ve kararlı bir metal- siyanür kompleksi oluşturur. Liç işleminde sıvı haldeki siyanür moleküllerinin toksik hidrojen siyanür gazının oluşmamasını ve altını çözmek için siyanürün çözelti içinde tutulmasını sağlamak için liç devresinin başında kireç kullanılarak pH 10-11'e yükseltilir.

Madencilik endüstrisinde siyanür kullanımı, paradoksal olarak önemli kazaların olmadığı yüz yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. Bu kimyasal, çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak tartışmaların çoğu, değerli metallerin elde edilmesinde kullanılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Medyada yer alan 2000 yılında Baia Mare'deki kaza, halk, sivil toplum kuruluşları ve yetkililer arasında çok güçlü bir tepkiye yol açmıştı (İnt. Kyn. 13).

Baia Mare'de siyanür, 1939'dan beri, çeşitli bilgi aşamalarındaki teknolojiler ve standartlarla birlikte, güvenlik kurallarına az çok saygı gösterilen farklı tarihsel aşamaları kapsayacak şekilde kullanılmaktadır. Bu dönemde üretim sürecinde siyanürün neden olduğu rahatsızlığı kanıtlamak için halktan şikayetler alınmıştır ve herhangi bir kaza yaşanmamış, siyanür kullanımına bağlı hastalık tespit edilmemiştir. (İnt. Kyn.13).

Altın çıkarmak için kullanılan ilk aletlerin son derece basit olduğu ve bıçaklar, kazma ve kürek gibi küçük ahşap el aletleri kullanıldığı anlatılmaktadır. Altının cevher içeren çakıllardan susuz çıkarılması "kuru yıkama" olarak adlandırılıyordu. Kaba ve verimsizdi, ama aynı zamanda da ucuzdu. Kirli toprak kazıldıktan sonra büyük bir tuval üzerinde güneşte kurutuldu ve ardından toz haline getirildi.

Daha sonra, rüzgârın daha hafif elementleri uçurmasına ve daha ağır altın tozunun tavaya geri düşmesine izin vermek için tava tarafından havaya tamamen atıldı. Bu başlangıçta eski bir tarımsal yöntemdi ve ilk olarak 1842'de San Feliciano Kanyonu'nda Los Angeles Pueblo yakınlarındaki madenciler tarafından kullanıldı. (Anonim 2021b)

Altının konsantreden geri kazanılması için klorlama işlemi gibi diğer kimyasal teknikler, Avrupa'dan Kaliforniya'ya getirildi ve yaygın olarak kullanılma noktasına

dönüşüm, düşük dozaj, düşük maliyetli ve uygun saklama gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmektedir.

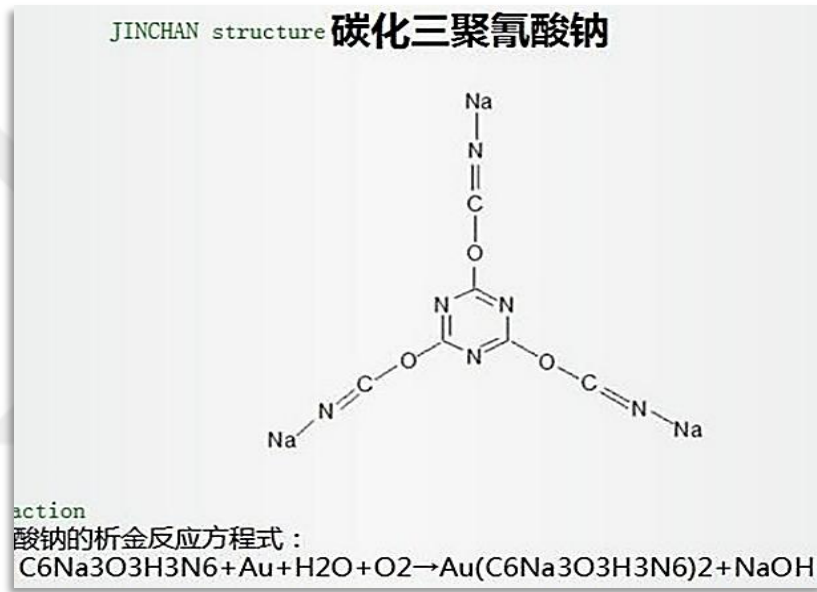
Jin Chan kullanım tanıtımında, uygulanabilir cevher türlerinden altın ve gümüş oksitlenmiş cevher, birincil cevher, yüksek kükürtlü ve yüksek arsenikli altın cevheri, siyanürleme cürufu, altın konsantresi, pirit cürufu ve anot çamuru gibi türlere uygulanabileceği belirtilmektedir. Jin Chan Ürün Formunun Granül veya toz formda olabileceği belirtilmektedir. Jin Chan çözünme yöntemi için; ürünün, oda sıcaklığında çalkalayarak veya tam olarak çalkalayıp çözdükten sonra kullanılabilir olduğundan bahsedilmektedir (İnt. Kyn. 14).

Alkalinite Ayarı: Genel olarak, pH değeri 11-12 arasında stabil olan kireç veya kostik soda ile ayarlama yapılır; Geri kazanımın pH değeri düştüğünde, alkalinite zamanında ayarlanmalıdır; pH değeri çok uzun bir süre çok yüksek olduğunda (12'den fazla), kirli alkali oluşur ve aktif karbon adsorpsiyonunu etkiler veya sıvı pasivasyon meydana gelir ve kazanım etkisini etkilediği belirtilmektedir. Tüketimin ise yaklaşık tonda 200-300 gram olduğu belirtilmektedir (İnt. Kyn. 14) (Resim 2.2).



Resim 2.2 Jin Chan kimyasalının paket ve ürün formu görseli (İnt. Kyn. 14).

Jin Chan kullanan madenler incelendiğinde en fazla Kuzey Avrupa Ülkeleri ve Asya Ülkeleri başta gelmektedir. Kazakistan Astana Altın Madeni, Endonezya, Jakarta Altın Madeni, Vietnam Hanoi Altın Madeni, Asupo Polyvise Altın Madeni, (Ekstra büyük yığın liçi ve CIP tesisi), Güney Amerika Surinam Paramaribo Altın Madeni, Endonezya Çin- Uluslararası Yatırım Şirketi- Kalimantan Altın Madeni'dir. Şuan için ürünü geliştiren firma tarafından paylaşılan dış pazarların bu ülkeler olduğu belirtilmektedir. Şekil 2.2'de Jin Chan kimyasalının bağ yapısının olduğu görsel yer almaktadır (İnt. Kyn. 14).



Şekil 2.12 Jin Chan kimyasal bağ yapısı görseli (İnt. Kyn. 14).

2.8.1 Jin Chan Kimyasalıyla Daha Önce Yapılan Çalışmalar

2016 Ağustos ayında bildirisi yayınlan ve Güney Afrika'da bulunan Gold Fields Ghana Limited şirketinde Jin Chan ve siyanür karşılaştırma deneyleri yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, Jin Chan kimyasalının liç kinetiğinin NaCN'den daha yavaş olduğu belirtilmektedir. Çözücünün % 97'lik altın kazanımı Jin Chan ile 48 saat liç yaptıktan sonra elde edildiği, aynı kazanım NaCN kullanılarak 24 saat üzerinde elde edildiği anlatılmaktadır. Jin Chan liç çözeltisi kireç tüketimi siyanüre göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir. En yüksek altın kazanımının % 91 ile 400 mg/l konsantrasyonda elde edildiği vurgulanmıştır.

Liç sonrası elde edilen atık çözeltisinin toksisitesini doğrulamak için kimyasal analiz yapılmış. Sonuçlarda, Jin chan liç atık çözeltisinde önemli ölçüde daha az miktarda serbest siyanür yer aldığı belirtilmiştir.

Amonyak hariç, liç sonrası numunelerde analiz edilen diğer tüm kimyasal türler NaCN liç atık çözeltisinden daha yüksek olduğu vurgulanmış. NaCN ile liçlendikten sonra Jin Chan'dan daha fazla detoksifikasyona gerek duyulduğu çıkarımı yapılmaktadır. Çizelge 2,5'de atıkta yapılan analiz sonuçları yer almaktadır (Beyuo vd. 2016).

Çizelge 2.5 Liç sonrası atık çözeltisinde kimyasal analiz (Beyuo vd. 2016).

Kimyasal Türler (mg/l)	NaCN	JGD
Nitrat NO ₃ -	51,80	44,50
Fosfat PO ₄ 3-	0,18	0,15
Sülfat SO ₄ 2-	49,00	13,00
Klor Cl-	510,20	287,50
Amonyak NH ₃	13,86	18,45
Serbest CN ⁻	101,84	17,15

2.9 Çevre Mevzuatı

Siyanür, tehlikeli ve toksitite bir kirletici olmasına rağmen, endüstriyel kullanımının doğal bir ürünü olarak çevrede bulunmaktadır. Siyanür, EPA tarafından bilinen en toksik madde olarak tanımlanmıştır. Geçmişten günümüze değin siyanür en öldürücü ve yıkıcı zehir olarak bilinmekte ve tanımlanmaktadır. Siyanür bileşikleri çok toksik olmalarına karşın kaza zehirlenmelerine ve ölümlere beklenilenden daha az yol açar.

Siyanür ve türevleri etki şekline göre dejeneratif, kimyasal yapısına göre gaz ve uçucu zehirler arasında sınıflandırılırlar. Hidrosiyanik asit ve tuzları (Na, K, Ca, Cu) en yaygın bulunan siyanür bileşikleridir.

Yüksek yoğunluktaki HCN'nin birkaç kez solunması NaCN ya da KCN'nin 50-100 mg'ının ağız yoluyla alınmasına eş değerdir ve çok kısa sürede anoksi ve ölüme neden olabilir.

Siyanür için belirlenen uluslararası kurallar (ABD Çevre Koruma Ajansı) şunlardır:

- İçme suyunun bir litresinde azami 200 mikrogram siyanür,
- Depoda saklanan yiyeceklerden domates, marul, salatalık ve turpta siyanür üst sınırı 5 mg/l, baharatlarda 250 mg/l,
- İşyeri atmosferinde siyanür tuzlarını konsantrasyon sınırları [$\text{Ca}(\text{CN})_2$, KCN, NaCN, HCN-10 mg/m³] atmosferin her m³'ü için 5 mg siyanür (ABD İşyeri Emniyeti ve Sağlığı İdaresi). Kasti veya kaza eseri zehirlenmelerden elde edilen verilere dayanılarak siyanürün insanlar için öldürücü dozajının 1,52 mg/kg olduğu hesaplanmıştır.

Siyanür için Türk Ulusal Mevzuatına göre;

- İçme suyunda, bir litre suda 50 mikrogram (Türk Gıda Kodeksi)
- Ambarlanmış gıdalarda, 1 kg yiyeckte limit 1 mikrogram siyanür (Türk Gıda Kodeksi)
- İşyeri atmosferinde HCN'nin üst limiti 10 mg/m³ dür (İşyeri Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü)

Türk madenciliğinde ilk siyanür kullanımı 1987'de, kamu kesimince işletilen bir gümüş madeninde gerçekleşmiştir. Türkiye'de yılda 1200 tonu 1987'den beri Kütahya Gümüşköy Gümüş Tesisinde olmak üzere yılda yaklaşık 2500 ton sodyum siyanür kullanılmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen siyanür konsantrasyonları;

Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri, siyanür (toplam) su kalite sınıfı I, 10 µg CN/l, su kalite sınıfı II 50 µg CN/l, su kalite sınıfı III 100 µg CN/l, su kalite sınıfı IV > 100 µg CN/l olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.6 Maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları

Parametre	Kompozit Numune 2 Saatlik
Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,1 mg/l

Çizelge 2.7 Maden kömür hazırlama, işleme ve enerji üretme tesisleri (Kok ve havagazı üretimi ve benzerleri) sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları

Parametre	Kompozit Numune 24 Saatlik
Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,5 mg/l

Çizelge 2.8 Metal sanayii (genelde metal hazırlama ve işleme)

Parametre	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,5 mg/l	0,1 mg/l

Atık su Çıkış Suyu Standardına göre, yüzey sularına yapılan deşarjlar 0,5 mg/l WAD siyanür değerini aşmamalı veya alıcı yüzey suyu ortamında ve geçerli yetki alanında onaylanan herhangi bir karışım bölgesinin mansabında serbest siyanür konsantrasyonunun 0,022 mg/l'yi geçmesiyle sonuçlanmamalıdır. WAD siyanürü, zayıf asit koşulları pH 4,6 - 6 altında ayrılan metal siyanür komplekslerini (Zn, Cd, Cu, Hg, Ni ve Ag) ifade eder. Serbest siyanür bir örnekteki hidrojen siyanürü (HCN) ile siyanür iyonunun (CN⁻) toplamını ifade eder. Serbest siyanür biyolojik olarak mevcuttur ve sucul ortamlardaki organizmalar için toksiktir. İçme suyu standartlarına göre belirlenen miktarlar Türk standardı 0,05 mg/l, AB Standardı ise 0,01 mg/l olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.9 Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları

Parametre	Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Kanalizasyon Sistemleri Derin Deniz Deşarjı ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde
Toplam siyanür (Toplam CN ⁻)	10 (mg/l)	10 (mg/l)

Maden Atıkları Yönetmeliği, Madde 21’de maden atığının siyanür içermesi durumunda tesise deşarj noktasında zayıf asitte çözünebilen siyanür konsantrasyonu 10 mg/l’i aşamayacağı belirtilmiştir. Ayrıca, zayıf asitte çözünebilir siyanür tanımı yapılmış ve belli pH (4.5 – 6) değerleri arasında çözünüp serbest siyanüre dönüşen tüm basit veya kompleks siyanür bileşikleri olarak tanımlamıştır.



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Tesisin ve Cevher Sahalarının Yeri

Çalışmada, Koza Altın işletmeleri, Kaymaz ve Çukuralan Altın Madenlerinden temin edilen cevher numuneleri kullanılmıştır. Bu iki maden yatağı kimyasal içeriği ile birbirinden ayrılmaktadır. Dolayısıyla farklı mineralojik özelliğe sahip iki altın cevherinin farklı bir altın kazanım kimyasalındaki kinetiği incelenmek üzere tercih edilmiştir.

Çalışmalar numune almak için saha araştırması, ve tercih edilen sahaların incelenmesi ile başlamıştır. Kaymaz Altın Madeni'nin stok sahasından ve Çukuralan Altın Madeninden numune alma prosedürüne uygun olarak yaklaşık yüzer kg numune alınmıştır.

Kaymaz Altın Madeni, Eskişehir'den yaklaşık 86 km mesafede yer almaktadır (Resim 3.1). Eskişehir ili sınırları içindeki maden alanına erişim köy yolları ile sağlanmaktadır (Resim 3.2). Kaymaz Altın Madeni epitermal-mezotermal özelliğinde orojenik bir altın yatağıdır.



Resim 3.1 Kaymaz köyü ve maden ocağının uydu görüntüsü (İnt. Kyn. 15).



Resim 3.2 Kaymaz Maden İşletmesi'nden bir görünüm (İnt. Kyn. 16).

Ovacık Altın Madeni, İzmir'den yaklaşık 100 km mesafede yer almaktadır (Resim 3.3).

Ovacık Altın Madeni 2019 Yılı itibariyle sadece cevher zenginleştirme işlemi yapılmaktadır. Koza Altın İşletmesine ait Çukuralan Altın Madeni yeraltı maden ocağından gelen cevherler, Ovacık Zenginleştirme tesisinde işlenmektedir. Çukuralan Altın Madeni'nde açık ocakta cevher bitmiş olup, yeraltı maden ocağından cevher üretimi gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.3 Ovacık Maden İşletmesi'nden bir görünüm (İnt. Kyn. 16).



Resim 3.4 Çukuralan Maden İşletmesi'nden bir görünüm (İnt. Kyn.16).



Resim 3.5 Çukuralan Yeraltı Maden İşletmesi'nden bir görünüm (İnt. Kyn. 16).

3.2 Numune Alma ve Hazırlama

Çalışmalarda kullanılan altın cevheri için, İzmir, Çukuralan Altın Madeni ve Eskişehir, Kaymaz Altın Madeni'ne gidilerek yaklaşık yüzer kg numune alınmıştır (Resim 3.6).



**Ovacık Tesisinden
Değirmen Girişi
Alınan Numune.**



**Kaymaz Tesisinden
Değirmen Girişi
Alınan Numune.**

Resim 3.6 Maden Müh. Bölümü numune deposuna getirilmiş altın cevheri numune çuvalları, yaklaşık 100 kg.

Tesislerden alınan numuneler homojen olarak ayrı ayrı karıştırılıp çalışmalar için hazırlanmıştır. Tez kapsamında boyut küçültme ve liç çalışmaları için farklı aşamalarda temsili numuneler alınmıştır. Çubuklu değirmene beslemek için yapılan numune bölme işlemini takiben değirmen çıkışından alınan numuneler harmanlanarak tekrar liç çalışmaları için numune bölmeye tabi tutulmuştur. Liç çalışmasında kullanılacak numuneler kavanozlu numune bölücü kullanılarak hazırlanmıştır (Resim 3.7).

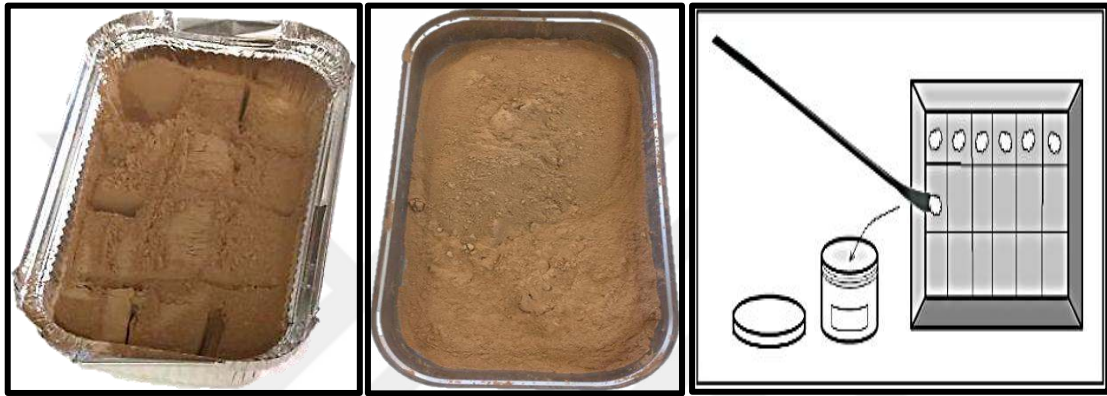


Resim 3.7 Kavanozlu numune bölücü cihaz (PT100).

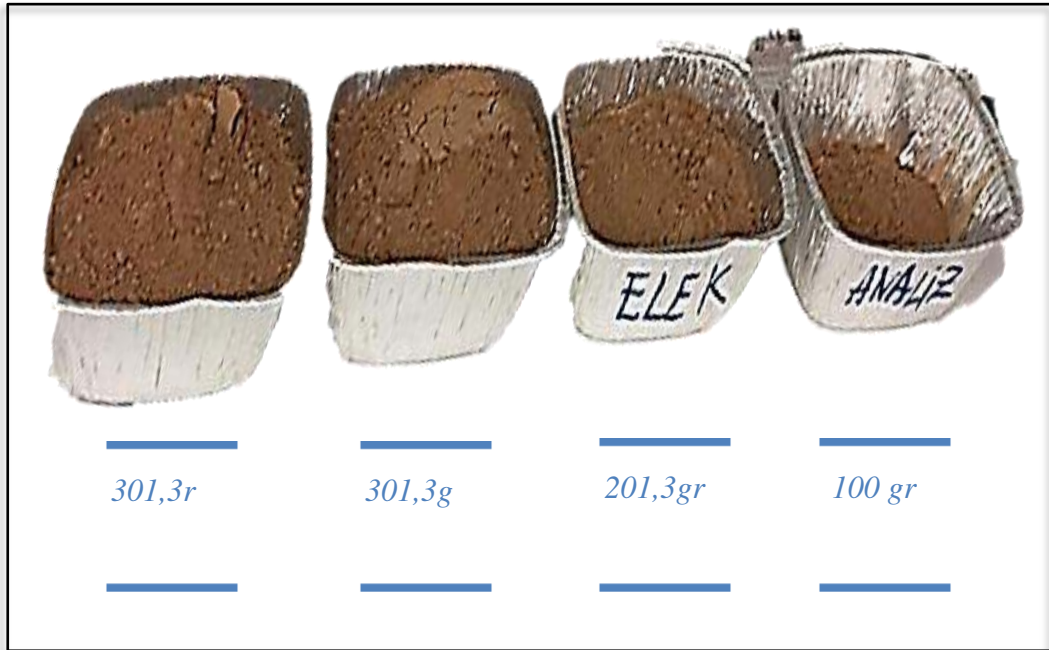
Kavanozlu numune bölücüde karşılıklı şişeler alınarak homojen bir numune alma işlemi gerçekleştirildi.

Kaba boşaltılan numune ince bir tabaka halinde serildi. Liç işlemi için malzemelerin hazırlanmasında 2. aşama olarak kareleme yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntemde malzeme bir spatula yardımı ile satranç tahtasına benzer şekilde karelere bölünerek yine spatula yardımı ile her bir karenin merkez noktasından bir miktar numune alınarak liç için hazırlanmıştır (Resim 3.8). Ayrıca elek analizleri ve kimyasal analizler içinde numuneler alınmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.8 Kareleme yöntemiyle örnek alma işlemi.



Resim 3.9 Deneyler için ayrılan numuneler.

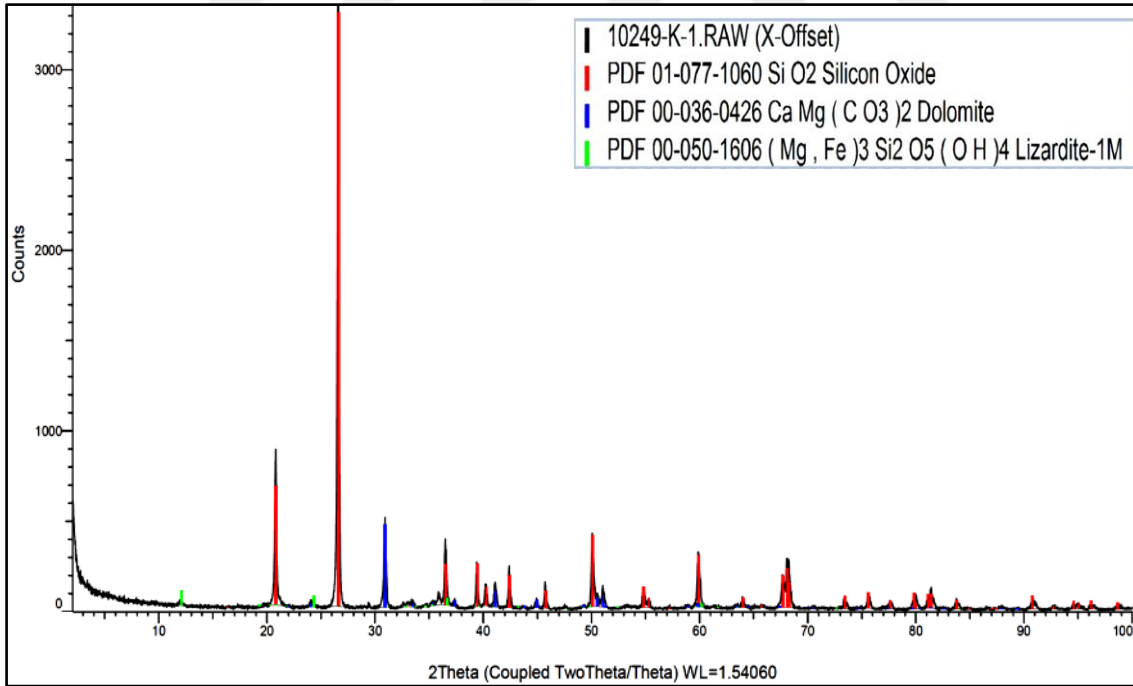
3.3 Cevherlerin Karakterizasyon Çalışmaları

İki farklı cevher numunesinin karakterizasyon çalışmaları; kimyasal ve mineralojik analizler, tane boyut dağılımı, elek analizi, XRD ve SEM-EDS analizleri yapılmıştır.

3.3.1 Cevherlerin Mineralojik Analizi

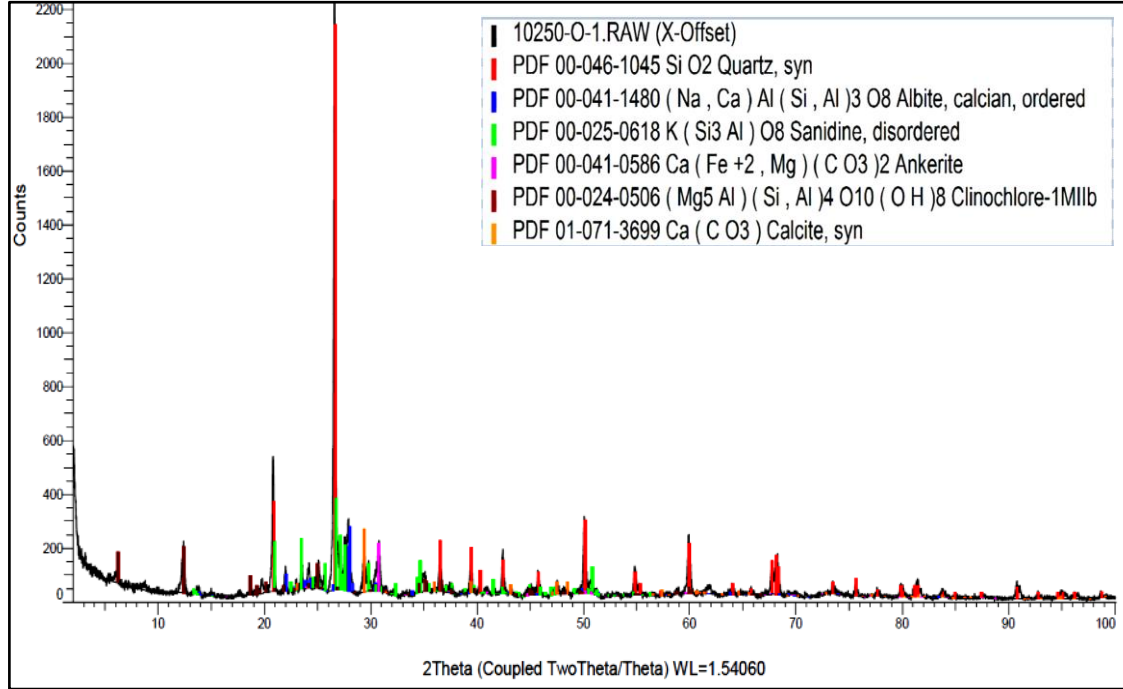
Numunelerin mineral bileşiminin saptanması amacıyla XRD analizi yaptırılmıştır. Hazırlanan analiz numuneleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM), Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda çekimleri ve analizleri yaptırılmıştır. XRD analizleri sonucunda numunelerin içeriği hakkında bilgi edinilmiştir.

Kaymaz altın cevherinin X ışını kırınım deseninde karakteristik kuvars, dolomit ve lizardit pikleri Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Kaymaz cevheri besleme malı XRD sonuçları.

Çukuralan altın cevherinin X ışını kırınım deseninde karakteristik kuvars, albit, sanidin, ankerit, klinoklor ve kalsit pikleri tespit edilmiştir (Şekil 3.2).



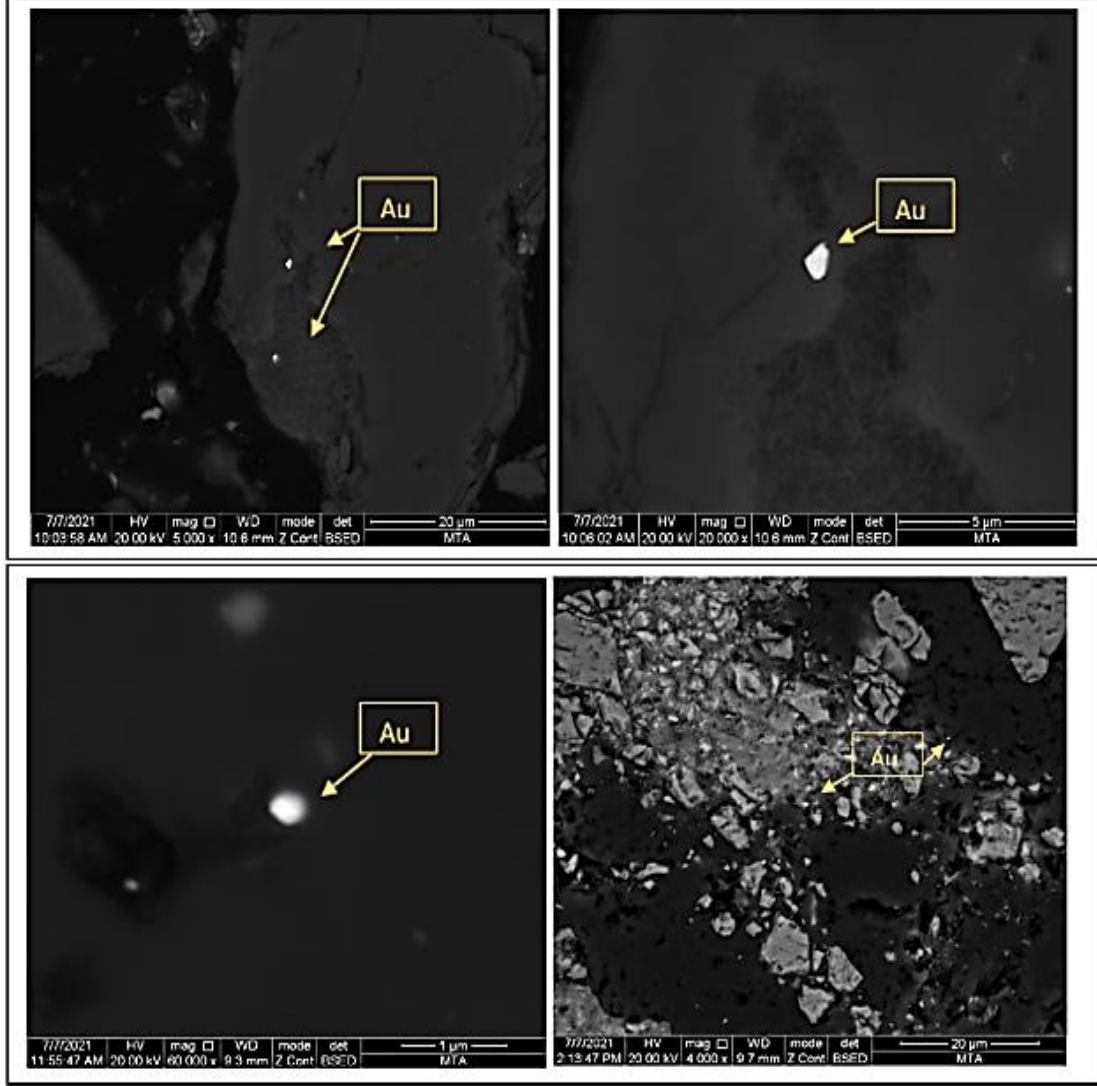
Şekil 3.2 Çukuralan cevheri besleme malı XRD sonuçları.

MTA Genel Müdürlüğü analiz laboratuvarlarında kalitatif detay kil analizi yaptırılmıştır. Sonuçlara göre Kaymaz İşletmesinden alınan cevherin içerisinde bulunan mineraller; kuvars, dolomit, götit, hematit, serpantin grubu mineral, kaolinit, manyezit, kalsit olarak tespit edilmiştir. Çukuralan Altın Madeninden alınan cevherin içerisinde bulunan mineraller ise; kuvars, plajiyoklas, klorit grubu mineral, kaolinit, kalsit, alkali feldispat, dolomit, montmorillonit, mika grubu mineral (biyotit), illit, hematit olarak tespit edilmiştir.

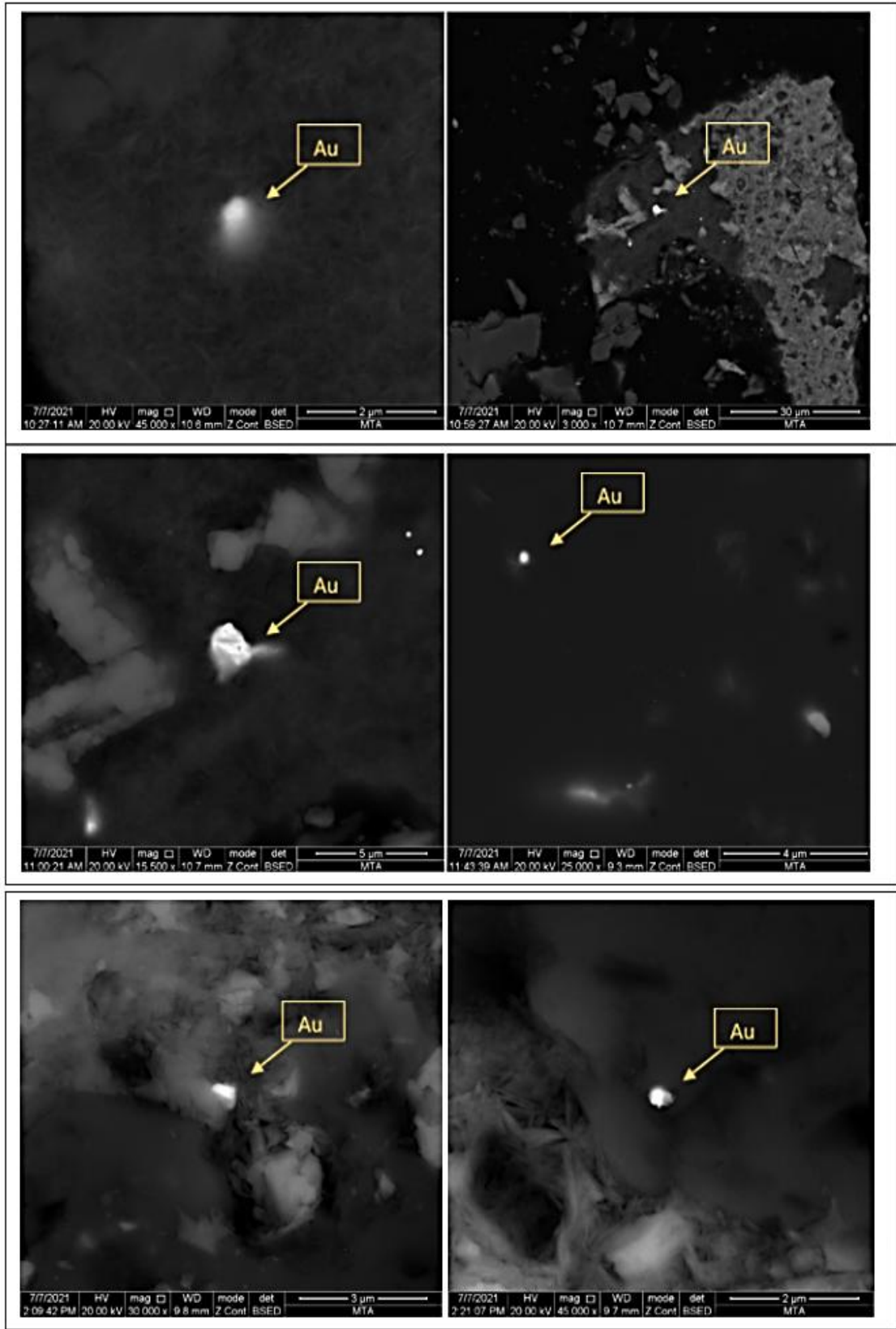
3.3.2 Cevherlerin Taramalı Elektron Mikroskop ve Mikrokimyasal Analizleri

MTA analiz laboratuvarlarında numunelerin FEI INSPECT F50 Marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntü alma ve Mikrokimyasal (EDS) analizi yaptırılmıştır. Kaymaz cevherinden alınan numunenin SEM cihazında incelenmesi sonucu elde edilen görüntüler Şekil 3.3’de verilmektedir.

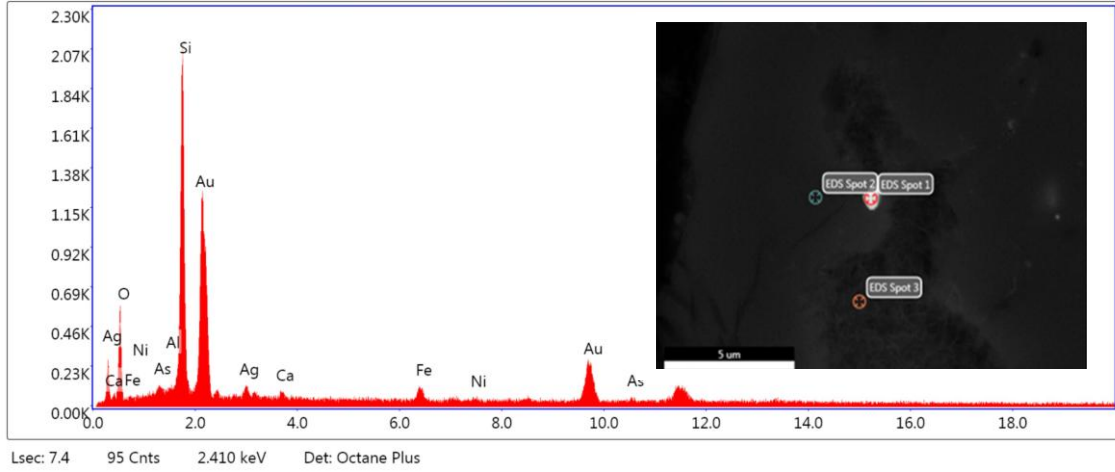
Kaymaz cevherine ait EDS analizleri ise Şekil 3.4’de verilmektedir. Görüntülerden anlaşıldığı üzere altın tane boyutu 200-400 nm arasında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 3.3 Kaymaz cevher numunelerinin SEM görüntüleri.

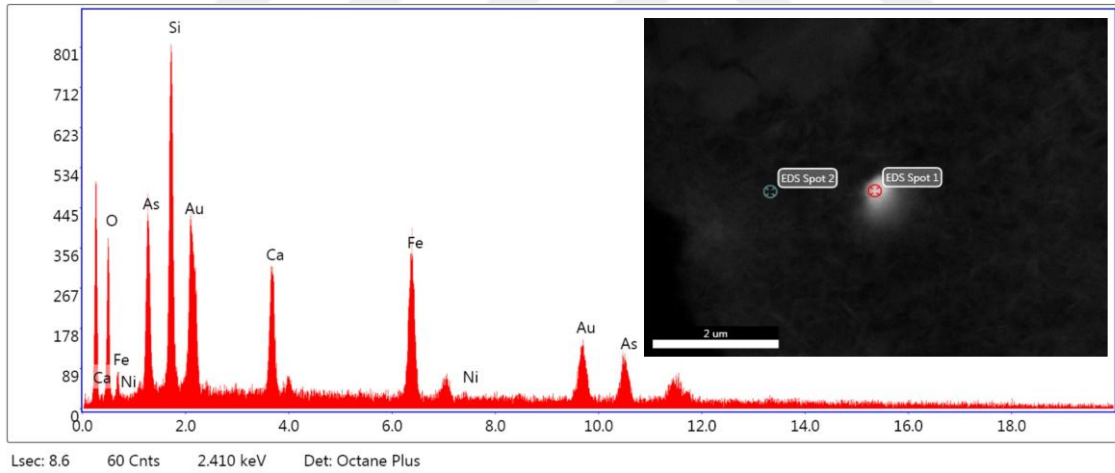


Şekil 3.3 (Devam) Kaymaz numunelerinin SEM görüntüleri.



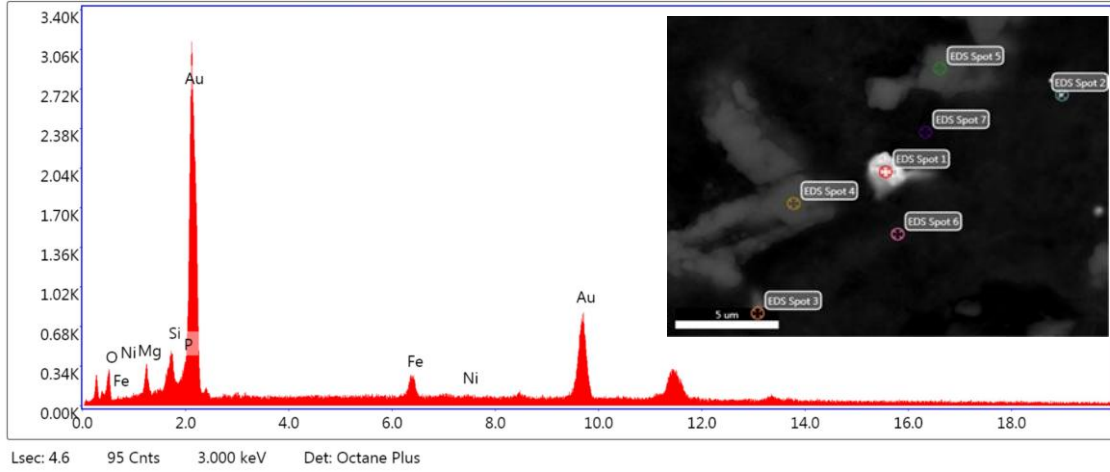
Şekil 3.4 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 1.alan.

Şekil 3.4’de Kaymaz cevheri 1 nolu numune için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere Au ve Ag pikleri ile birlikte Al, As, Si, O, Fe, Ca, Ni pikleri mevcuttur. Tanımlanan tanenin altın olduğu açıktır. EDS 2 incelemesinde Al, As, Si ve O pikleri, EDS 3 incelemesinde ise As, Si, O, Fe ve Ca pikleri tespit edilmiştir.



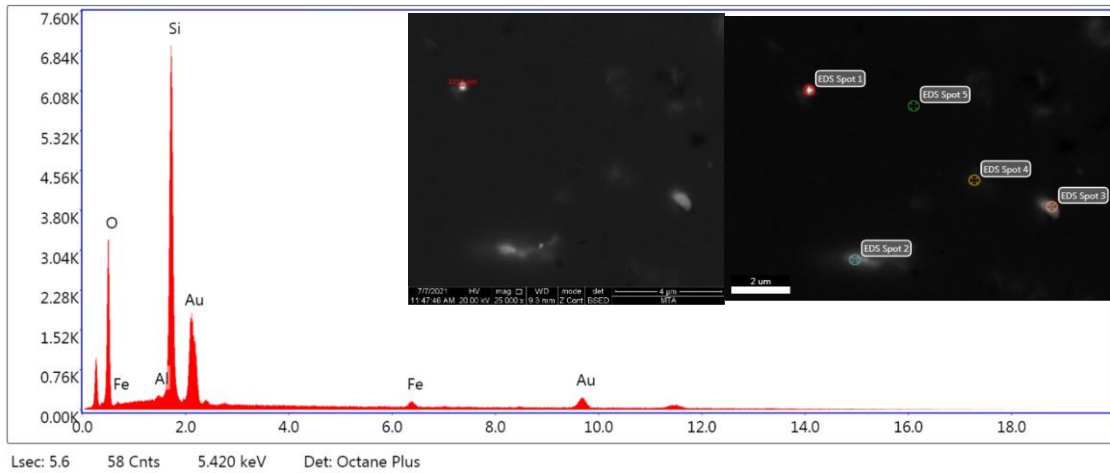
Şekil 3.5 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 2.alan.

Şekil 3.5’de Kaymaz cevheri 1 nolu numune 2. alanı için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere tanecik Au ve Ag pikleri ile birlikte As, Si, O, Fe, Ca, Ni pikleri mevcuttur. Tanımlanan tanenin altın olduğu açıktır. EDS 2’de As, Si, O, Ca, Fe, Ni pikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.6 Kaymaz cevheri numune 1 EDS analizi 3.alan.

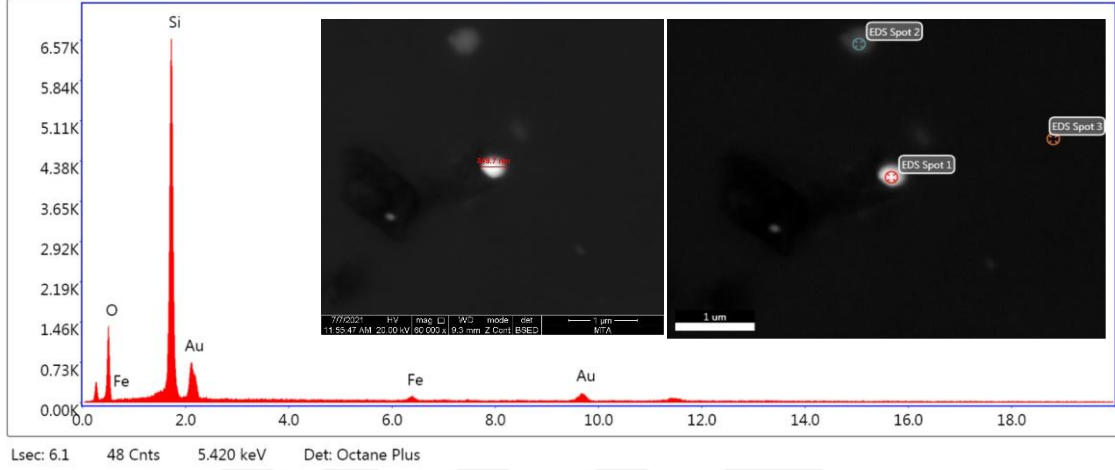
Şekil 3.6’da Kaymaz cevheri 1 nolu numune için 3. alan EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere tanecik Au ve Ag pikleri ile birlikte Si, O, Fe, Mg, P ve Ni pikleri mevcuttur. EDS 2 ve EDS 3’de yine bir altın tanesini işaret etmektedir. Au ve Ag pikleri ile birlikte Si, O, Fe, Mg, Al ve Ni pikleri mevcuttur. Tanımlanan tanenin altın olduğu açıktır ve boyutu 233,1 nµ, EDS 4’de As, Si, O, Ca, Fe, Ni ve Al pikleri tespit edilmiştir. EDS 5’de As, Mg, Si, O, Ca, Fe, Ni ve Al pikleri tespit edilmiştir. EDS 6’da Au pikleri ile birlikte Al, Si, Mg, O, Ca, Fe, Ni ve pikleri tespit edilmiştir. EDS 7’de ise Au pikleri ile birlikte Al, Si, Mg, O, Ca, Fe, Ni ve As pikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.7 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 1.alan.

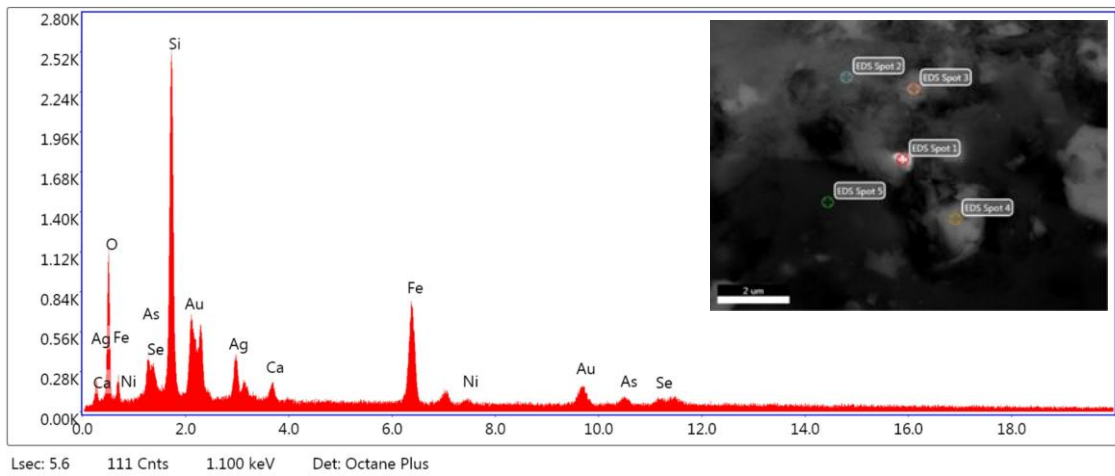
Şekil 3.7’de Kaymaz cevheri 2 nolu numune için 1. alan EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere numunede Au pikleri ile birlikte Si, O, Fe, Al pikleri mevcuttur.

Altın tanesinin boyutu 233,1 nm olarak ölçülmüştür. EDS 2 Si, As, Ba, Ca, Cr, O, Fe, Hg, Al pikleri mevcuttur. EDS 3'de Ba, O, Fe, Al As, Si, O, pikleri tespit edilmiştir. EDS 4'de Si, O, Fe, As pikleri tespit edilmiştir. EDS 5'de ise Al, Si, Fe, O pikleri tespit edilmiştir.



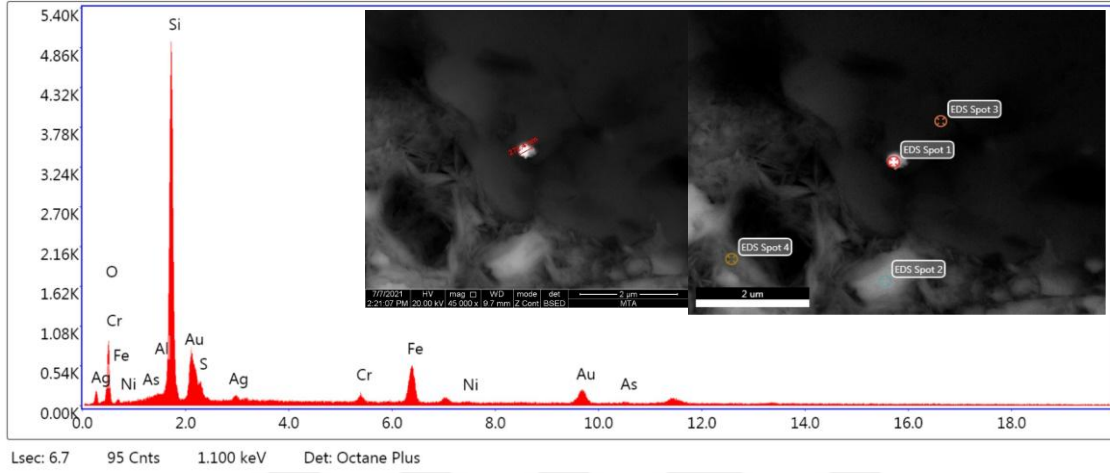
Şekil 3.8 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 2.alan.

Şekil 3.8'de Kaymaz cevheri 2 nolu numune 2. alan için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1'de görüldüğü üzere numunede Au pikleri ile birlikte Si, O, Fe, pikleri mevcuttur. Altın tanesinin boyutu 349,7 nm olarak ölçülmüştür. EDS 2, Si, As, Al, O, Fe pikleri mevcuttur. EDS 3'de O, Fe, Al, Si pikleri tespit edilmiştir. EDS 4'de Si, O, Fe, As pikleri tespit edilmiştir. EDS 5'de ise Al, Si, Fe, O pikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 3.alan.

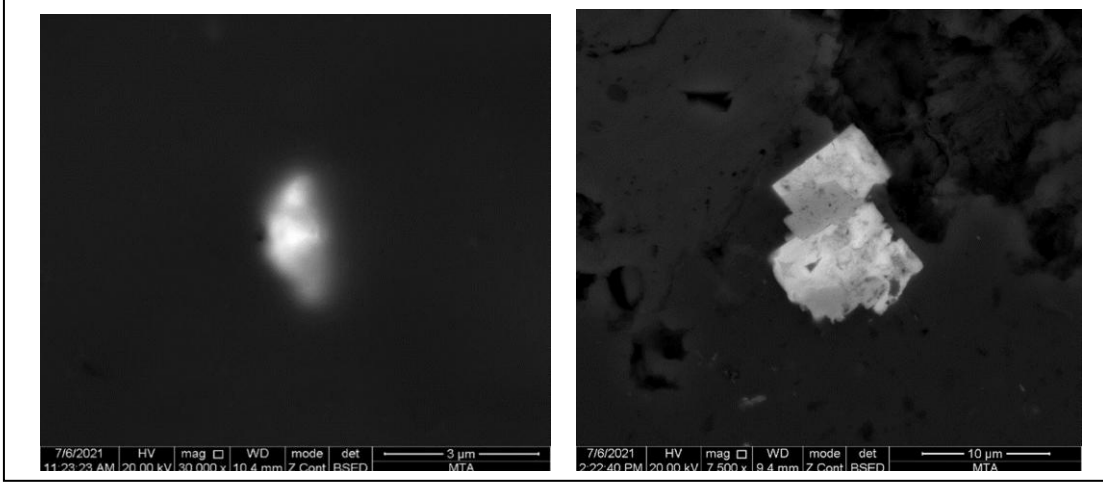
Şekil 3.9’da Kaymaz cevheri 2 nolu numune 3. alan için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere Au ve Ag pikleri ile birlikte Si, O, Fe, Ni, As, Se, Ca, pikleri mevcuttur. EDS 2’de Si, S, As, Ca, Cr, Ni, O, Fe pikleri mevcuttur. EDS 3’de O, Fe, As, Si, Ca, Cr, Ni pikleri tespit edilmiştir. EDS 4’de Si, S, O, Fe, As, Ni, Ca, Al pikleri tespit edilmiştir. EDS 5’de ise Al, As, Si, S, Fe, O, Ni, Ca pikleri tespit edilmiştir.



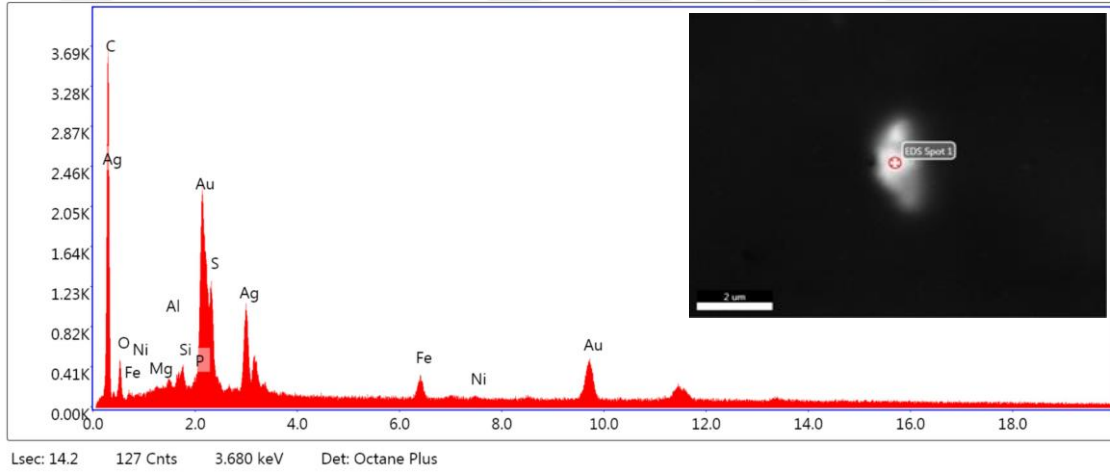
Şekil 3.10 Kaymaz cevheri numune 2 EDS analizi 4.alan.

Şekil 3.10’da Kaymaz cevheri 2 nolu numune 4.alan için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1’de görüldüğü üzere numunede Au ve Ag pikleri ile birlikte Si, O, Al, Fe, Ni, As, Cr, S pikleri mevcuttur. Altın tanesinin boyutu 272,4 nm olarak ölçülmüştür. EDS 2, Si, S, As, Al, Ca, Cr, O, Fe pikleri mevcuttur. EDS 3’de O, Fe, Si, Cr, S pikleri tespit edilmiştir. EDS 4’de Si, S, O, Fe, As, Ni, Ca, Cr, Al pikleri tespit edilmiştir.

Çukuralan cevherinden alınan numunenin SEM cihazında incelenmesi sonucu elde edilen görüntüler Şekil 3.11’de verilmektedir.



Şekil 3.11 Çukuralan Altın Madeni'nden alınan örneğin SEM görüntüsü.



Şekil 3.12 Çukuralan cevheri numune 1 EDS analizi.

Şekil 3.12'de Çukuralan cevheri 1 nolu numune için EDS 1 analizi verilmiştir. EDS 1'de görüldüğü üzere numunede Au ve Ag pikleri ile birlikte Si, O, Al, Fe, Ni, C, S, P, Mg pikleri mevcuttur. Diğer örneklerde altın ve gümüşün yanı sıra, O, C, Mg, Mn, Al, Si, Y, P, K, Th, Ca, Fe, Co, Ni, Zr, Hf, U'un pikleride tespit edilmiştir. Karbon piki karbon kaplamadan gelmektedir. Cevher içeriğinde bulunmamaktadır.

3.3.3 Kimyasal Analiz Sonuçları

Numunelerin analizi, Koza Altın İşletmeleri Kimya Laboratuvarında ve Acme Analitik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Atomik Absorpsiyon Spectrometre (AAS) cihazı kullanılmıştır.

Atomik Absorpsiyon Spectrometre cihazı ile katıda/sıvıda altın, gümüş analizleri, Optical Emission Spectrometre cihazı ile çoklu element analizleri ve UV-VIS Spectrometre cihazı ile suda siyanür analizleri deneysel çalışmalar esnasında gerektiğçe yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmektedir.

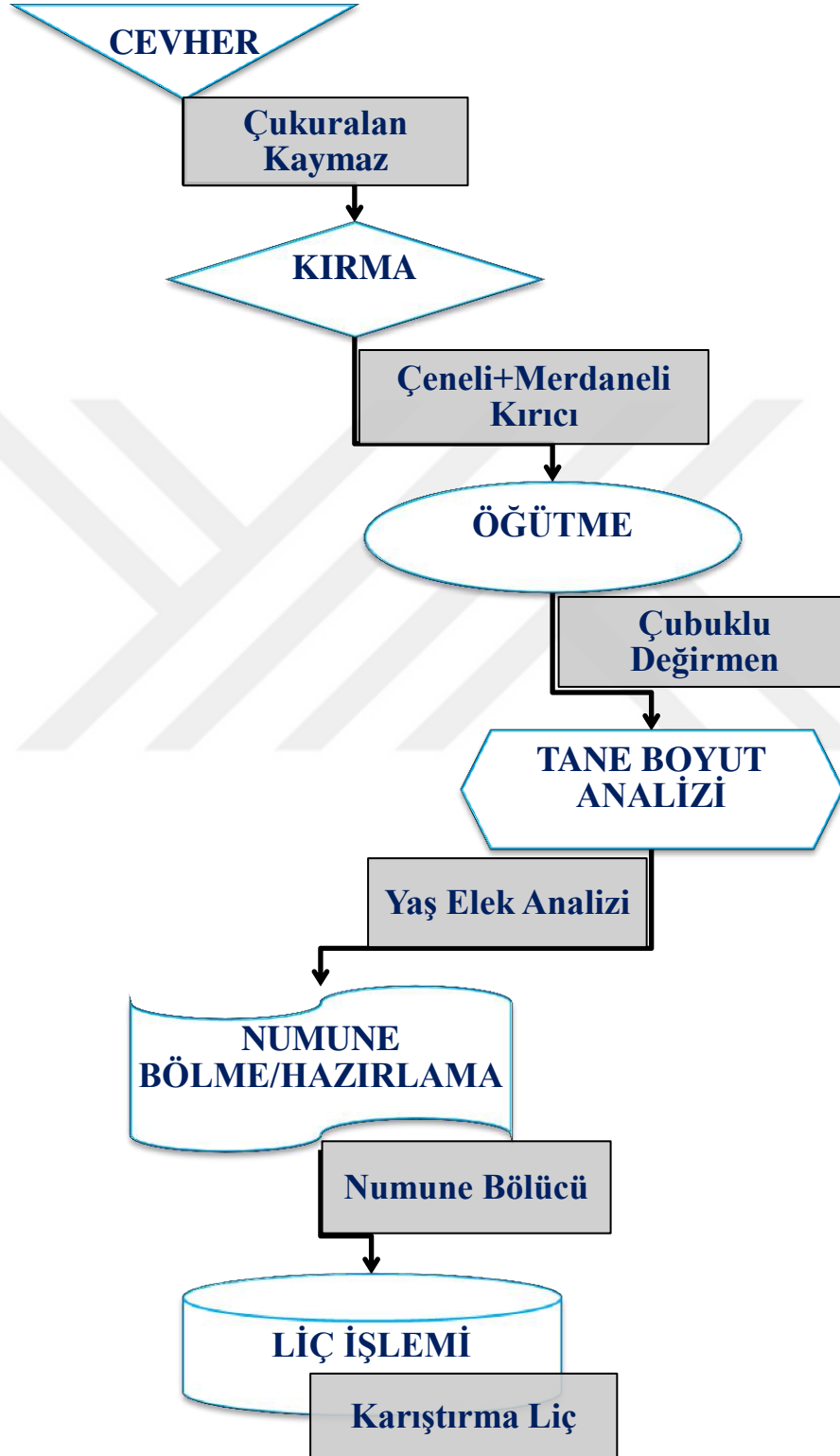
Çizelge 3.1 Acme analitik laboratuvarı besleme malı kimyasal analiz sonuçları.

Mineral	Besleme malı Çukuralan	Besleme malı Kaymaz	Mineral	Besleme malı Çukuralan	Besleme malı Kaymaz
Au g/t	4,743	5,354	Bi g/t	0,2	2,8
Mo g/t	3,3	7,3	V g/t	40	19
Cu g/t	34,3	16,9	Ca %	3,8	3,37
Pb g/t	37,4	48,8	P %	0,0059	0,004
Zn g/t	86	30	La g/t	18	0
Ag g/t	1,3	3,7	Cr g/t	47	222
Ni g/t	42,4	1372,8	Mg %	1,32	2,63
Co g/t	11,3	69	Ba g/t	130	691
Mn g/t	583	301	Ti %	0	0
Fe %	2,56	4,99	Al %	1,14	0,09
As g/t	14	3970	Na %	0,017	0,013
U g/t	1,5	11,5	K %	0,14	0,03
Th g/t	8,3	0,9	W g/t	0,2	9,8
Sr g/t	93	152	Hg g/t	0,04	0,94
Cd g/t	0,6	0,3	Sc g/t	4,5	3,1
Sb g/t	1,2	56,2	S %	0,46	0,39

3.4 Deneysel Çalışmaların Tasarlanması

Karakterizasyon çalışmaları sonucu elde edilen verilerden Kaymaz cevher numunesinin ortalama 13 mm tane boyutuna, Çukuralan cevher numunesinin ise 30 mm tane boyutuna sahip olduğu fiziksel gözlemler ile tespit edilmiştir. Bu nedenle liç öncesi cevher numunelerinin ufalamaya tabi tutulması gerektiğine karar verilmiştir. Ufalamanın ilk aşamasında kırma ardından ise çubuklu değirmende öğütme çalışmaları planlanmıştır. SEM görüntülerinden altın tanelerinin 200-400 nm civarında olduğu belirlendiğinden zenginleştirme çalışmalarında liç yöntemi tercih edilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları ile belirlenen altın tenörlerine istinaden liç yöntemlerinden karıştırma liçinin uygulanmasına karar verilmiştir. Elde edilen veriler dikkate alınarak Şekil 3.13’de çalışmanın başından itibaren deneysel aşamaları ve devamında uygulanan yöntemleri gösteren genel akım şeması oluşturulmuştur.

Akım şemasından da anlaşılacağı üzere, çalışmaya öncelikle ufalama ile başlanmıştır ardından karıştırma liç yöntemi uygulanarak deney seti tamamlanmıştır.



Şekil. 3.13 Deneysel çalışmalara ait akım şeması.

3.5 Kırma, Öğütme ve Eleme İşlemleri

Deneyin bu aşaması Afyon Kocatepe Üniversitesi Cevher Hazırlama Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kaymaz ve Çukuralan Altın Madenlerinden temin edilen cevherlerin tane boyutlarının öğütme işlemiyle küçültülmesi, elek analizinin ardından harmanlanarak liç işlemine hazırlanmıştır. Çukuralan ve Kaymaz cevherinin liç işlemine hazırlık aşamaları; kırma, öğütme, eleme ve harmanlama basamaklarını içermektedir.

3.5.1 Kırma Çalışmaları

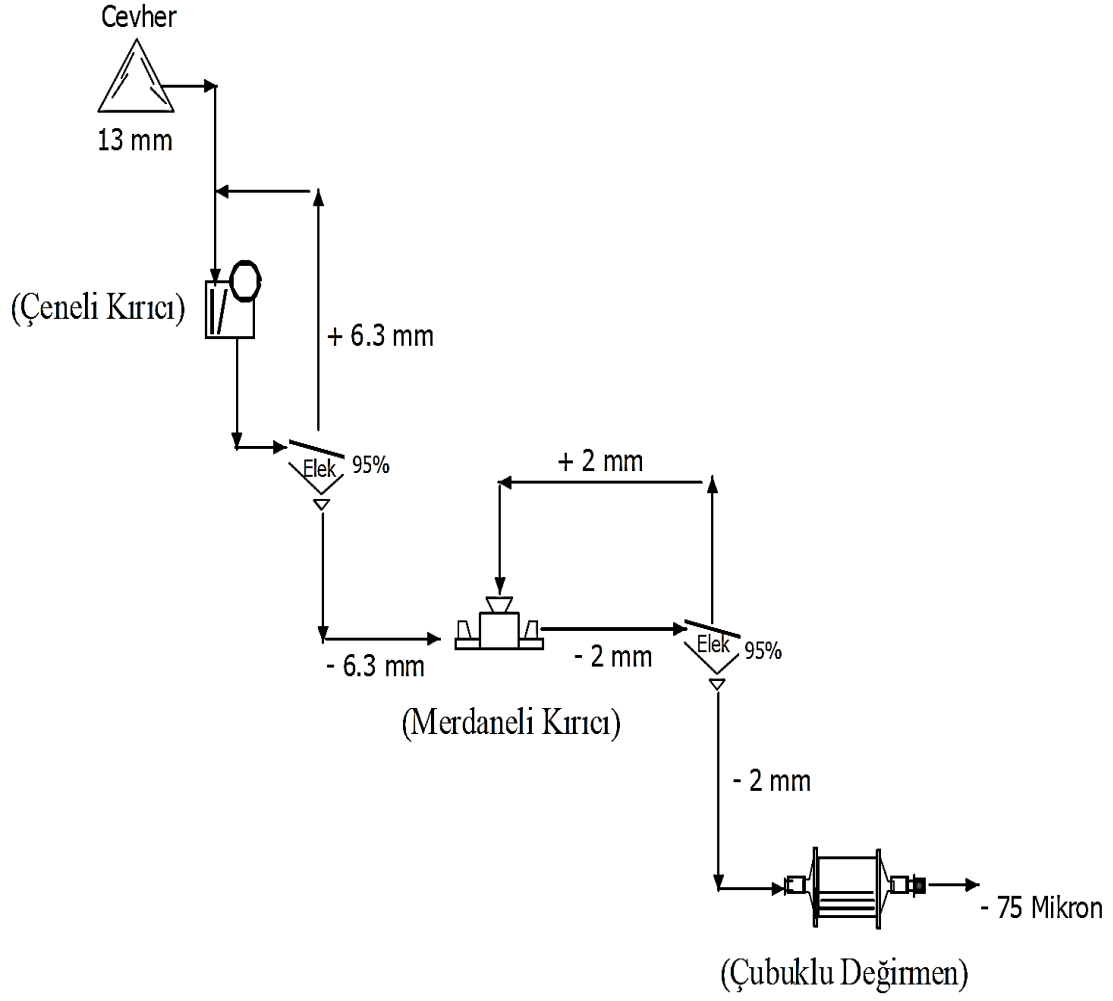
Her iki sahaya ait numune tesislerin değirmen girişi kısmından alınmıştır. Numune boyutları ortalama 30 mm olarak gözlemlenmiştir. Numuneler önce laboratuvar tip çeneli kırıcıya beslenerek yaklaşık 1-1,2 mm boyutu altına kırıldıktan sonra, çubuklu değirmene beslenerek 0,75 mm tane boyutu altına öğütülmüştür (Resim 3.10). Çalışma tane boyutu olarak halihazırda tesislerde uygulanan liç tane boyutu olarak belirlenmiştir.



Resim 3.10 Boyut küçültmede kullanılan laboratuvar tip çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen.

3.5.1.1 Çukuralan Cevher Numunesi Kırma Çalışmaları

Kırma işleminde, çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılmıştır. Çalışmaya ait akım şeması Şekil 3.14’de verilmektedir.



Şekil 3.14 Kırma işlemi akım şeması.

Kırma işlemi sonucunda boyut küçültme oranı hesaplanmıştır (3.1).

$$BKO = \frac{b}{u} \quad (3.1)$$

BKO= Boyut küçültme oranı

b= Beslenen malzemenin maksimum tane boyu

u= Ufalanmış malzemenin maksimum tane boyu

Ortalama 13 mm tane boyutundaki cevher numunesi (Resim 3.11) 6-7 mm çıkış açıklıklı Macit Makine markalı laboratuvar tip çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Çıkış ürününün %80'inin 6 mm tane boyutu altında olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen ürün 1-2 mm çıkış açıklıklı Vommak Makina Mühendislik marka merdaneli kırıcıdan geçirilerek kademeli olarak besleme malı tane boyutu küçültülmüştür (Resim 3.12).

Merdaneli kırıcı kapalı devre çalıştırılarak çıkan ürün öğütmeye tabi tutulacağından malzemenin tamamının 2 mm'nin altına geçmesi sağlanmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.11 Çeneli kırıcıya beslenen Çukuralan cevher numunesi.



Resim 3.12 Laboratuvar ölçekli çeneli ve merdaneli kırıcı.

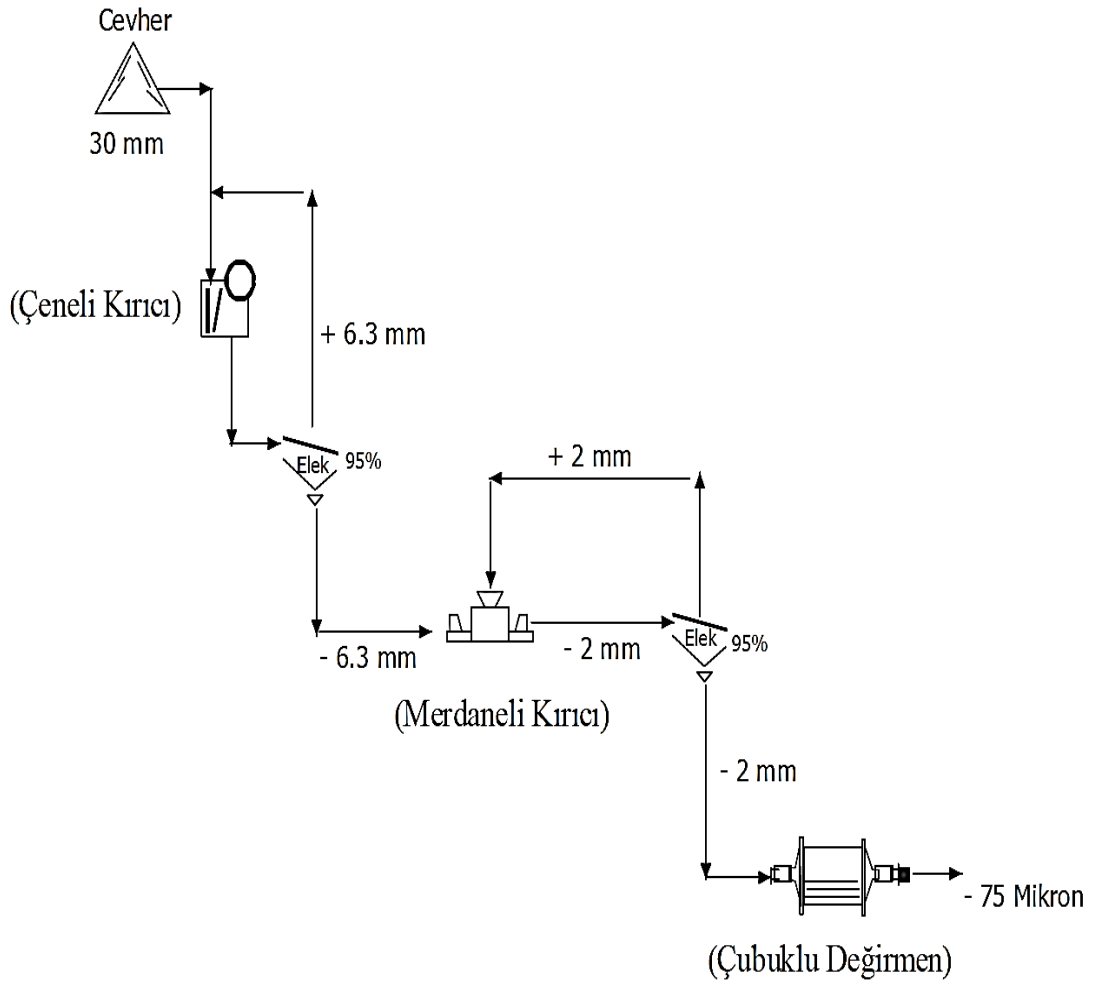


Resim 3.13 Çukuralan cevheri boyut küçültme aşamaları.

Cevherin tamamı tane boyutu -2 mm olacak şekilde kırıcılara beslenmiştir. % 95 verimle kırma çalışması sonucu öğütme devresi için boyut küçültme aşaması tamamlanmıştır.

3.5.1.2 Kaymaz Cevher Numunesi Kırma Çalışmaları

Kaymaz Cevherinin kırma işleminde, çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Kaymaz cevheri kırma işlemi akım şeması.

Ortalama 30 mm tane boyutundaki Kaymaz cevheri önce laboratuvar tip çeneli kırıcıdan geçirilerek %91'i 6,3 mm altında olan tane boyutuna indirilmiştir. Daha sonra 1-2 mm ağız açıklığı olacak şekilde ayarlanan merdaneli kırıcıya beslenen malzeme 2 mm lik elekten elenerek 2 mm üstü tekrar merdaneli kırıcıya beslenmiştir. Bu şekilde tamamı 2 mm nin altında olacak şekilde kapalı devre merdaneli kırıcıya beslenmiştir (Resim 3.14-3.15-3.16).



Resim 3.14 Çeneli kırıcı ağız açıklığı ve kırıcıdan çıkan cevher boyutu.



Resim 3.15 Çeneli kırıcıya beslenen Kaymaz cevheri elek analizi.



Resim 3.16 Merdaneli kırıcıya beslenen cevherin elek analizi.

Merdaneli kırıcıdan çıkan -2 mm boyutundaki cevher, P_{80} boyutu 75 mikron olacak şekilde öğütme işlemine geçilmiştir.

3.5.2 Öğütme ve Tane Boyut Analizi Çalışmaları

Ufalama, altın cevherinden altın kazanımında en önemli adımlardan biridir. Çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcıda kırılarak 2 mm tane boyutu altına alınan altın cevheri numunesi liç çalışmalarına uygun boyuta getirmek için Defne Mühendislik marka 200 x 300 mm çap ve uzunluğa sahip laboratuvar tip çubuklu değirmene beslenmiştir. Çubuklu değirmene beslenecek numune miktarının seçiminde, değirmen içine şarj edilecek malzeme ve çubukların oranı % 45 olarak seçilmiştir. Bu oranlara göre çubuk boşluk hacmi hesaplanarak yaklaşık 2 500 ve 3 000 g malzeme ayrı ayrı beslenerek öğütme şartları değerlendirilmiştir.

Çubuklu değirmenler kritik hızlarının %50 ile % 75 aralıklarında bir hızda çalıştırılırlar. Böylece çubuklar serbest düşme yerine kayarak hareket eder ve yuvarlanarak taneleri öğütürler. Çubukların değirmen içerisindeki hareketi esnasında en iri taneye kuvvet uygulandığından öncelikle en iri taneler ufalanır, öğütme sonrası homojen tane dağılımına sahip malzeme elde edilir. Çubuklu değirmenin çapı ve uzunluğu ölçülmüştür. Değirmenin kritik hızı, kritik hız denklemi ile bulunmuştur. Çalışmada kullanılan hız varyasyonları 60 dev/dak, 65 dev/dak'dır (Resim 3.17).



Resim 3.17 Laboratuvar ölçekli çubuklu değirmen.

Çubuklu değirmene beslenmesi gereken numune miktarı, çubuk yükü ve devir sayısı aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011), (Yıldız 2022).

Çubuk yoğunluğu, her bir çubuğun tartılarak elde edilen kütlenin çubuk hacmine bölünmesi ile bulunmuş olup, 12,67 g/cm³ olarak hesaplanmıştır (3.3), (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

Boşluk doldurma oranı için denklem (3.2) kullanılmıştır (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

$$u = \frac{fc}{0.4} \times J \quad (3.2)$$

U= Boşluk doldurma oranı

Fc= Malzeme yükü (%)

J= Çubuk yükü (%)

Çubuk yükü için denklem (3.3) kullanılmıştır (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

$$J = \frac{\frac{m}{dc}}{Vd} \times \frac{1}{0.6} \quad (3.3)$$

J= Çubuk yükü (%)

m= Şarj miktarı (g)

d_c= Çubuk yoğunluğu (g/cm³)

Vd=Değirmen hacmi (cm³)

Buradan çubuk yükü %28 olarak bulunmuştur ve malzeme yükünün tespitinde denklem (3.4) kullanılmıştır (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

$$fc = \frac{\frac{m}{dn}}{Vd} \times \frac{1}{0.6} \quad (3.4)$$

Fc= Malzeme yükü (%)

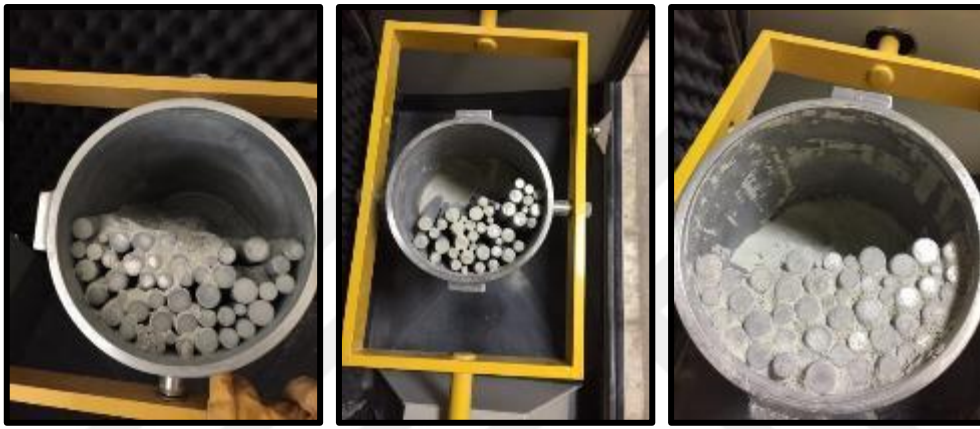
m= Numune miktarı (g)

d_n= Numune yoğunluğu (g/cm³)

Vd=Değirmen hacmi (cm³)

Denklem (3.4) yapılan hesaplama göre malzeme yükü %16 olarak bulunmuştur. Boşluk doldurma hesabı için verilen (3.2) denkleminde, 3.3 ve 3.4 denklemlerinden elde edilen veriler hesaplandığında boşluk doldurma oranı 1.43 olarak bulunmuştur.

Bu formüller kullanılarak 1,43 boşluk doldurma oranı için numune miktarı 2 500 g 1,78 için numune miktarı 3 000 g her bir set için kullanılacak olan miktar olarak belirlenmiştir. Kullanılan çubuklu değirmendeki çubuk yükü ise; 20 200 g olarak tespit edilmiştir (Resim 3.18).



Resim 3.18 Laboratuvar ölçekli çubuklu değirmene çubuk ve numune şarj görüntüsü.

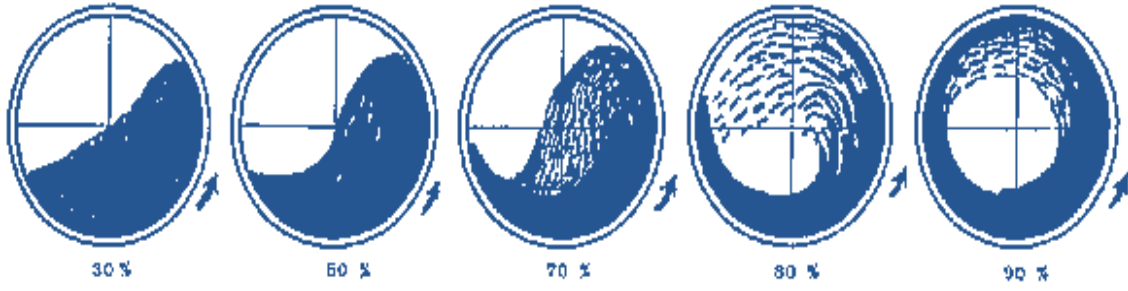
Numune miktarının belirlenmesinin ardından değirmen için gerekli olan kritik hız hesabı yapılmıştır (3.6). Yukarıda belirtilen çubuklu değirmen için yapılan kritik hız hesabında denklem (3.5) kullanılmıştır (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011);

$$\text{Kritik hız} = \frac{42,3}{\sqrt[2]{d_1 (m)}} - \sqrt{d_2 (m)} 0.28 \quad (3.5)$$

d_1 = Değirmen iç çapı (m)

d_2 = Değirmen içindeki en büyük çubuk çapı (m)

Kritik hız hesabı için kullanılan (3.5) denkleminde kritik hız 101,71 dev/dak olarak bulunmuştur.



Şekil 3.16 Kritik hızın değirmenin öğütme oranına etkisinin şematik gösterimi.

Öğütme işlemlerinde kritik hızın %60 - %70 arasında bir seçim yapılmış ve işlemlerimizde kritik hız % 65 olarak kullanılmıştır. Denklem (3.5) elde edilen kritik hız verisinin %65'i alınarak değirmenin kritik hızı 65,46 dev/dak olarak hesaplanmıştır. (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

Malzemeye ait değerlerin belirlenmesinin ardından (numune miktarı 3 000 g, toplam çubuk şarjı 20 200 g) öğütme yapılacak çubuklu değirmene 1-2 mm tane boyutlu malzeme beslenmiştir. Bu beslemeye göre beslenmesi gereken en büyük çubuk çapı 22,5 mm olarak bulunmuştur (3.6), (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

$$\varnothing mm = \left(\frac{B^{0.75}}{160} \sqrt{\frac{W_i \cdot p}{(\%K_h) \sqrt{3,281 D}}} \right) \times 25,4 \quad (3.6)$$

B: Besleme tane boyunun % 80'inin geçtiği eleğin açıklığı, μ (1000 Mikron)

p: Cevherin özgül ağırlığı (2,65 g/t)

K_h : Kritik hız yüzdesi, (65)

D: Değirmen çapı, metre (0,2 m)

W_i : İş (öğütülebilirlik) indeksi (12,77 kWh/t)

$\varnothing mm$ = Çubuk Çapı (mm)

Değirmene beslenen çubuk karışımının ortalama çapı (3.7) denklemi kullanılarak bulunmuştur (İpekoğlu ve Tanrıverdi 2011).

Çubukların çapları sırasıyla, 10 mm, 15 mm, 20 mm olacak şekilde seçilerek, ortalama çubuk çapının 19mm olduğu tespit edilmiştir.

$$\varnothing_{\text{ort.}} = \frac{(a \times d) + (b \times d) + (c \times d)}{e} \quad (3.7)$$

$\varnothing_{\text{ort}}$ = Ortalama çubuk çapı (mm)

a= Çubuk çapı (10mm)

d= Adet

b= Çubuk çapı (15mm)

c= Çubuk çapı (20mm)

e=Çubuk çapların toplamı (mm)

Öğütme süresi arttıkça değirmenden elde edilen ürünün tane boyutunun azaldığı bilinmektedir. Öğütme süresinin ürün tane boyutu üzerindeki etkisini görmek amacıyla 65 dev/dak'da 10, 15 ve 20 mm çaplı çubuklar harmanlanarak kullanılmıştır.

Çukuralan cevheri öğütme sonrası istenilen boyutta hazırlanan 25 kg'lık yaklaşık 75 mikron malzeme geniş kap içerisinde harmanlanmıştır (Resim 3.19).



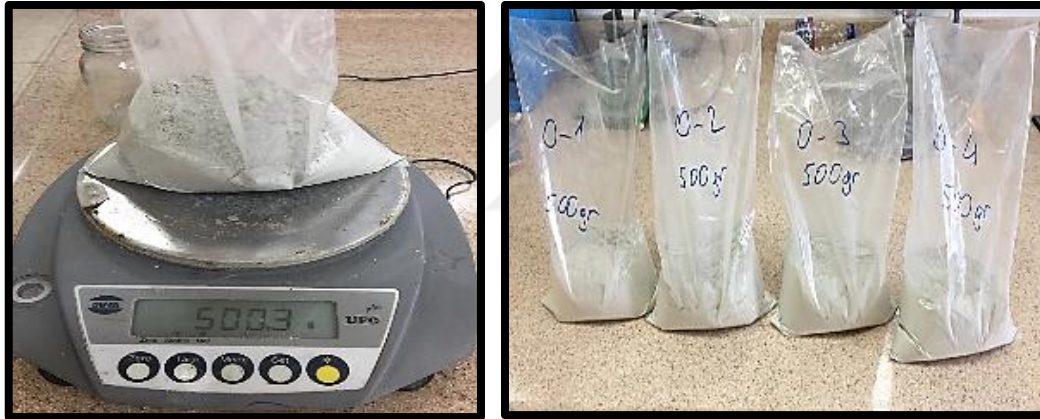
Resim 3.19 Öğütülen Çukuralan cevher numunesinin harmanlanması.

Harmanlanan Çukuralan cevheri numunesi PT 100 kavanozlu numune bölücüde bölünerek cevheri temsil edebilecek homojen hale getirilmesi amaçlanmıştır (Resim 3.20).

PT 100 kavanozlu numune bölücüde bölünerek karşılıklı numune şişeleri alınarak 500'er gramlık numune poşetleri hazırlanmıştır (Resim 3.21).



Resim 3.20 PT 100 kavanozlu numune bölücü.



Resim 3.21 Liç deneyleri için hazırlanan numune poşetleri.

3.5.2.1 Çukuralan Cevher Numunesi Öğütme Sonrası Tane Boyut Analizi

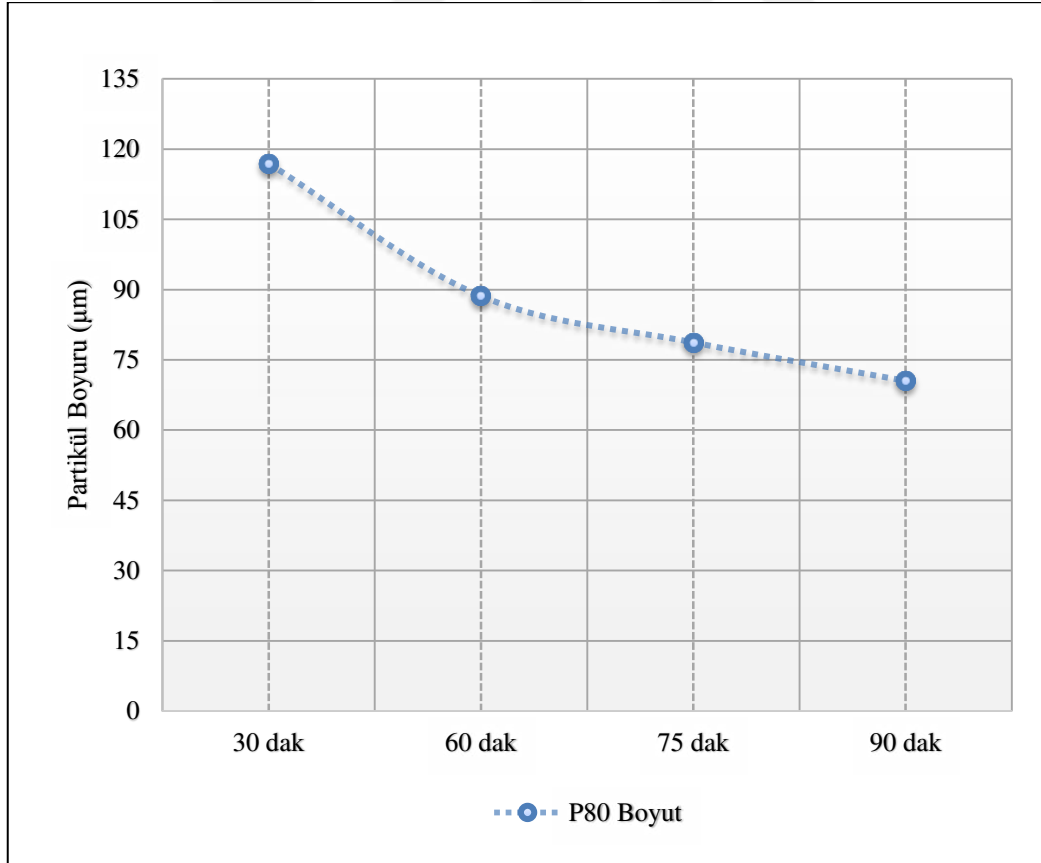
Çukuralan cevher örneği belirtildiği üzere farklı parametreler eşliğinde çubuklu değirmende öğütmeye tabi tutulmuştur. Çizelge 3.2’de 2 500 g numune miktarı ve 60 dev/dak değirmen dönüş hızında, 30, 60, 75 ve 90 dak’lık öğütme sürelerinde yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde öğütme süresinin artışı ile P_{80} (μm) tane boyutunda da azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.17’de ise çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.3'te ise parametrelerden değirmen dönüş hızı 65 dev/dak olarak değiştirildikten sonra elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.2 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (2 500 g, 60 dev/dak)

Örnek Miktarı (g)		2 500	
Hız (dev/dak)		60	
Çubuk Miktarı (g)		20 200	
Besleme Boyutu (mm)		-2,00	
Çubuk Çapı (mm)		10-15-20	
Öğütme Süresi (dak)	30	P ₈₀ (μm)	116,88
	60	P ₈₀ (μm)	88,61
	75	P ₈₀ (μm)	78,71
	90	P ₈₀ (μm)	70,5

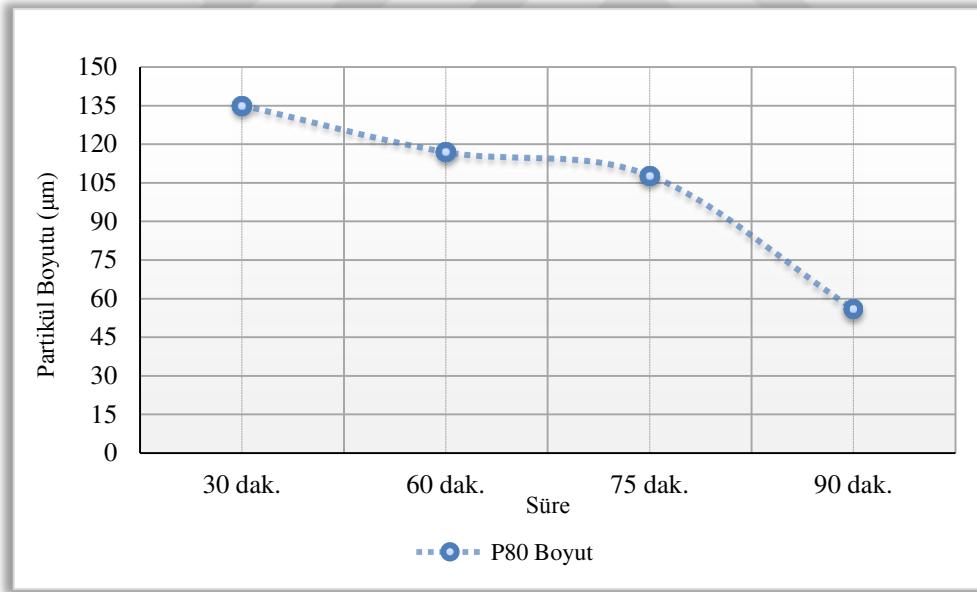


Şekil 3.17 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P₈₀ tane boyut grafiği (2500 g, 60 dev/dak)

Şekil 3.18’de ise 65 dev/dak’da yapılan çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.3 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (2 500 g, 65 dev/dak)

Örnek Miktarı (g)	2 500		
Hız (dev/dak)	65		
Çubuk Miktarı (g)	20 200		
Besleme Boyutu (mm)	-2,00		
Çubuk Çapı (mm)	10-15-20		
Öğütme Süresi (dak)	30	P ₈₀ (µm)	135,02
	60	P ₈₀ (µm)	116,88
	75	P ₈₀ (µm)	107,81
	90	P ₈₀ (µm)	55,87



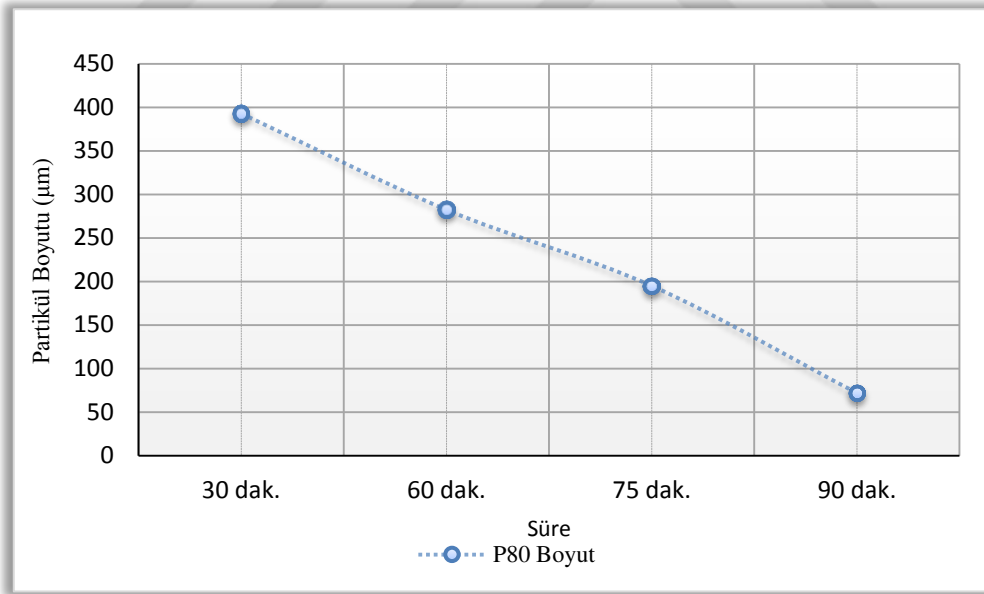
Şekil 3.18 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P₈₀ tane boyut grafiği (2500 g, 65 dev/dak)

Elde edilen veriler ile numune miktarı artışında (3 000 g) 60 dev/dak’da çalışması iptal edilerek 65 dev/dak ile çalışmaya devam edilmiştir. Çizelge 3.4’de 3 000 g numune miktarı ve 65 dev/dak değirmen dönüş hızında, 30, 60, 75 ve 90 dak’lık öğütme sürelerinde yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde öğütme süresinin artışı ile P_{80} (μm) tane boyutunda da azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.19’da ise çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.4 Çukuralan numunesi öğütme parametreleri ve sonuçları (3 000 g, 65 dev/dak)

Örnek Miktarı (g)		3 000	
Hız (dev/dak)		65	
Çubuk Miktarı (g)		20 200	
Besleme Boyutu (mm)		-2,00	
Çubuk Çapı (mm)		10-15-20	
Öğütme Süresi (dak)	30	P_{80} (μm)	392,76
	60	P_{80} (μm)	282,09
	75	P_{80} (μm)	194,68
	90	P_{80} (μm)	71,56



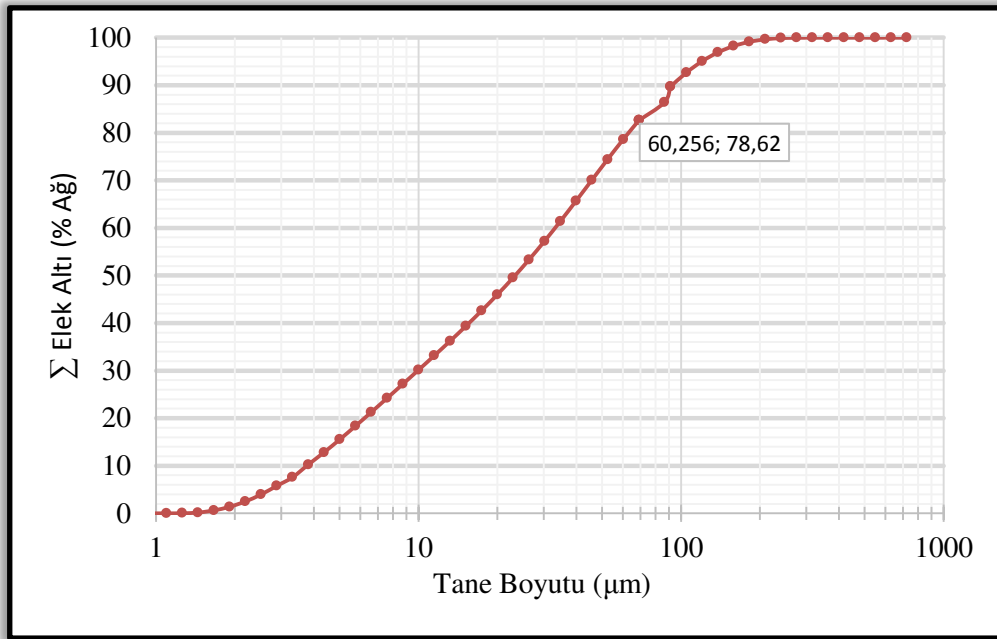
Şekil 3.19 Çukuralan numunesi öğütme süresine bağlı P_{80} tane boyut grafiği (3000 g, 65 dev/dak)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde numune miktarı 2 500 g olduğunda aşırı öğütme ile P_{80} tane boyutu 55,87 μm olarak tespit edilmiştir. 3 000 g, 65 dev/dak ve 90 dakika sürede yapılan çalışma ile optimum öğütme parametrelerine P_{80} tane boyutunda 71,56

μm olduğu tespit edilmiştir. Liç çalışmaları için Çukuralan numunesinin bu şartlarda öğütülmesine karar verilmiştir. Öğütme aşamasında değirmenden alınan numuneler $75\ \mu\text{m}$ açıklıklı eleklerden elenmiştir. Değirmende öğütme parametreleri belirlenen Çukuralan numunesinin tane boyut dağılımı MS2000E Partikül Boyut Cihazında yaş yöntem ile analiz edilmiştir (Resim 3.22). Analiz sonucunda Çukuralan cevheri P_{80} tane boyutunun elek altı oranı 66 mikron olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.20).



Resim 3.22 MS 2000E tane boyut analiz cihazı ve yaş analiz sistemi.



Şekil 3.20 Çukuralan cevher numunesinin 90 dak öğütme sonrası partikül boyut dağılım grafiği.

3.5.2.2 Kaymaz Cevher Numunesi Öğütme Sonrası Tane Boyut Analizi

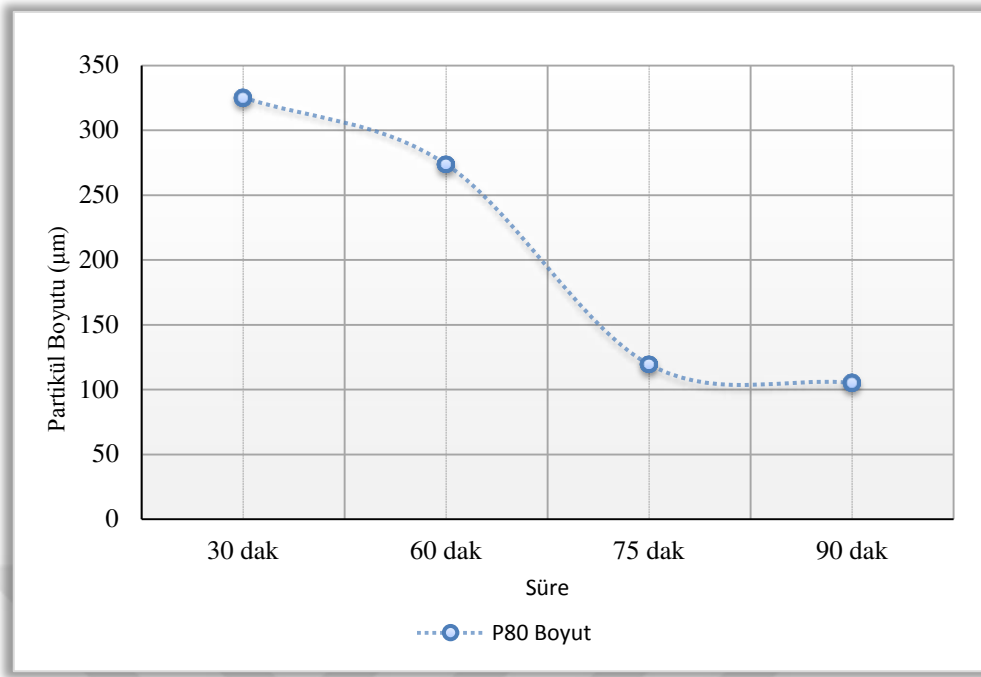
Çukuralan cevher numunesi için yapılan değirmenin optimum öğütme koşulları, Kaymaz Cevheri için de uygulanmıştır. Çubuklu değirmene beslenen 2 500 g cevher, 30, 60, 75, 90 dak sürelerde 60 dev/dak çalıştırılmıştır. Şekil 3.21, Şekil 3.22’de çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. (Resim 3.23), (Çizelge 3.5).



Resim 3.23 2 500 g Kaymaz cevher beslenen laboratuvar tipi değirmen.

Çizelge 3.5 Numune miktarı 2 500 g ve 60 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.

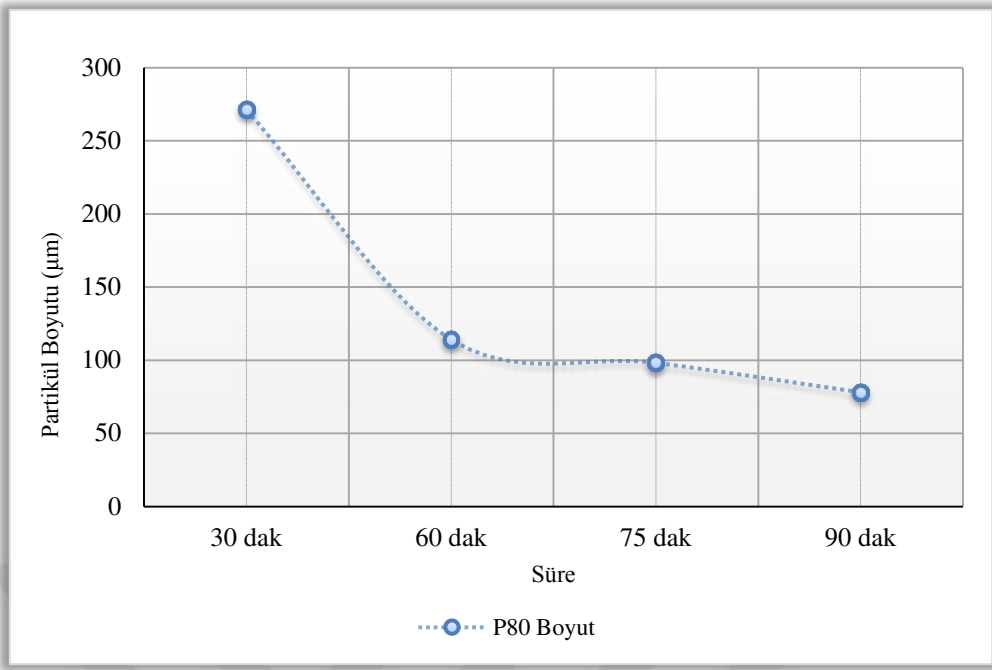
Örnek Miktarı (g)		2 500	
Hız (dev/dak)		60	
Çubuk Miktarı (g)		20 200	
Besleme Boyutu (mm)		-2,00	
Çubuk Çapı (mm)		10-15-20	
Öğütme Süresi (dak)	30	P ₈₀ (µm)	325,14
	60	P ₈₀ (µm)	273,68
	75	P ₈₀ (µm)	119,34
	90	P ₈₀ (µm)	105,02



Şekil 3.21 Numune miktarı 2500 g ve 60 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.

Çizelge 3.6 Numune miktarı 2 500 g ve 65 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.

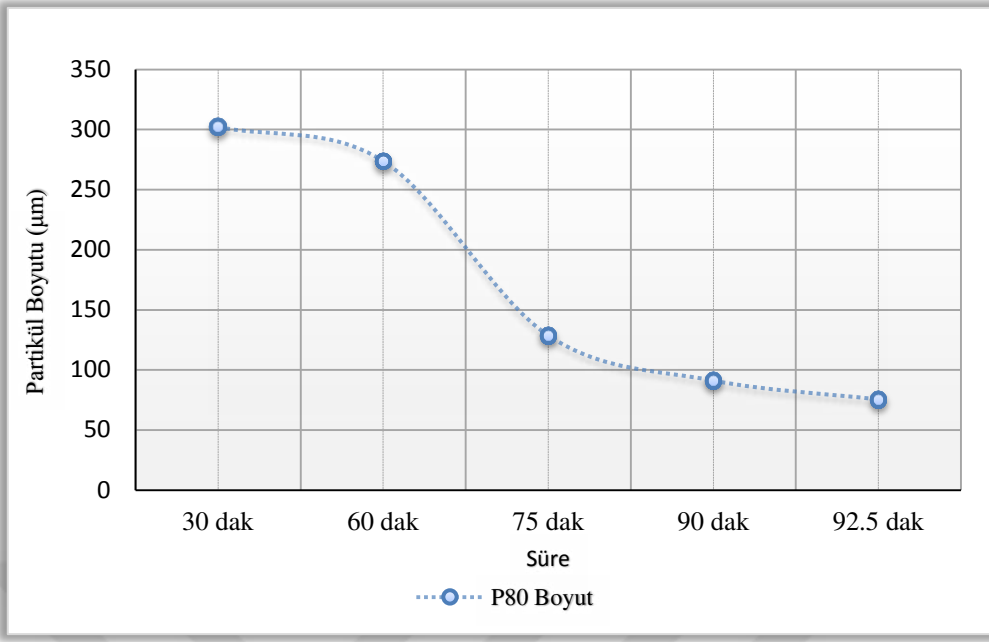
Örnek Miktarı (g)		2 500	
Hız (dev/dak)		65	
Çubuk Miktarı (g)		20 200	
Besleme Boyutu (mm)		-2,00	
Çubuk Çapı (mm)		10-15-20	
Öğütme Süresi (dak)	30	P ₈₀ (µm)	271,12
	60	P ₈₀ (µm)	114,06
	75	P ₈₀ (µm)	98,13
	90	P ₈₀ (µm)	78,01



Şekil 3.22 Numune miktarı 2500 g ve 65 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.

Çizelge 3.7 Numune miktarı 3 000 g ve 65 dev/dak öğütme parametreleri çizelgesi.

Örnek Miktarı (g)		3 000	
Hız (dev/dak)		65	
Çubuk Miktarı (g)		20 200	
Besleme Boyutu (mm)		-2,00	
Çubuk Çapı (mm)		10-15-20	
Öğütme Süresi (dak)	30	P ₈₀ (µm)	302,06
	60	P ₈₀ (µm)	273,68
	75	P ₈₀ (µm)	128,53
	90	P ₈₀ (µm)	91
	92,5	P ₈₀ (µm)	75,3



Şekil 3.23 Numune miktarı 3 000 g ve 65 dev/dak partikül boyut dağılım grafiği.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde numune miktarı 3 000 g, 65 dev/dak ve 92,5 dev/dak sürede optimum öğütme parametrelerine ulaşıldığı görülmektedir.

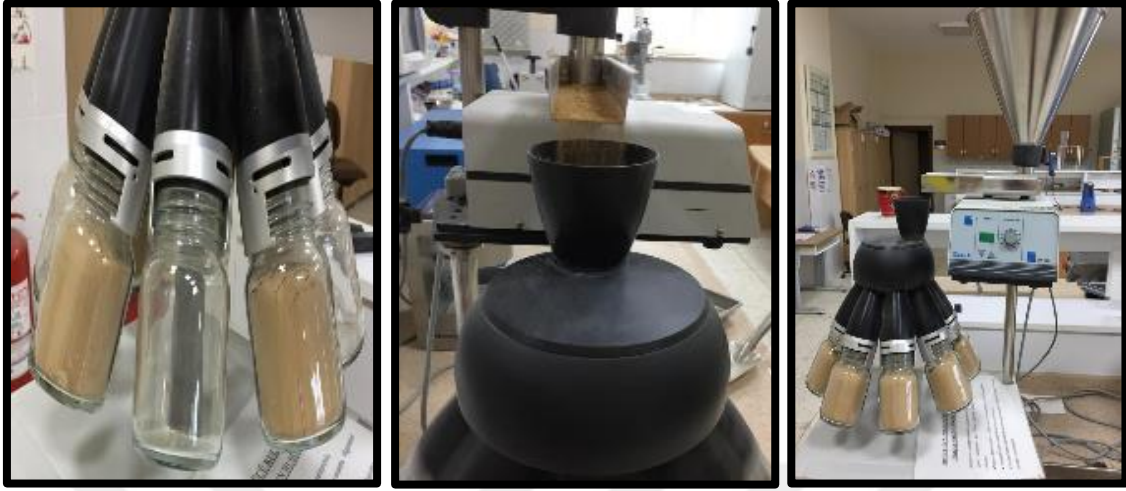
Kaymaz cevher öğütme sonrası istenilen boyutta hazırlanan 25 kg'lık yaklaşık 75 mikron malzeme geniş kap içerisinde harmanlanmıştır (Resim 3.24).



Resim 3.24 25 kg hazırlanan kaymaz cevherinin harmanlanması.

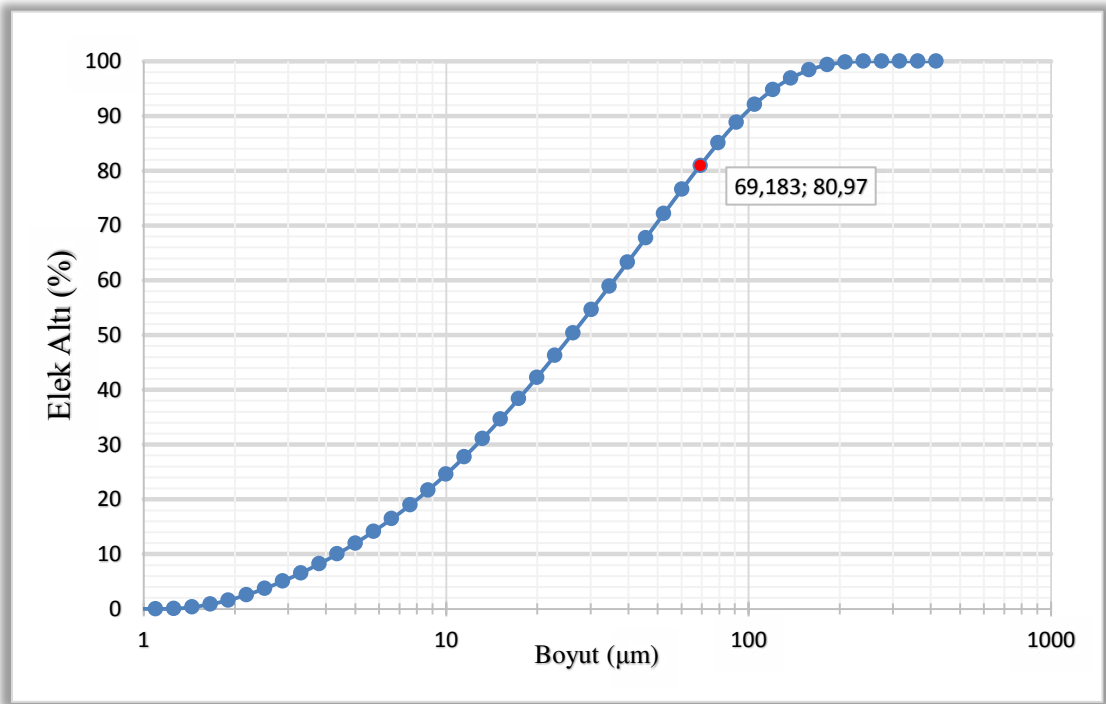
Öğütülmüş Kaymaz cevheri numunesi, PT 100 kavanozlu numune bölücüde bölünmüştür (Resim 3.25).

Karşılıklı numune şişeleri alınarak beş yüzer gramlık numune poşetleri hazırlanmıştır.



Resim 3.25 Kaymaz cevherinin PT 100 kavanozlu numune bölücüde örnek alma işlemi.

Optimum öğütme koşulları tamamlandıktan ve cevher harmanlandıktan sonra, MS2000E Partikül Boyut Cihazında yapılan yaş boyut analizinde Kaymaz cevherinin P_{80} boyutu 69,2 mikron olduğu görülmüştür.



Şekil 3.24 Kaymaz partikül boyut dağılım grafiği.

3.6 Liç Parametrelerinin Belirlenmesi

Liç işlemini etkileyen parametreler halihazırda tesislerde kullanılan parametreler baz alınmıştır. Çizelge 3.8’de deney için hazırlanan numunelere uygulanacak liç parametreleri yer almaktadır. Bu parametrelere göre optimum verilere ulaşılarak iki cevher numunesinin kimyasal liç performanslarına yaptığı etki karşılaştırılmıştır. Liç parametreleri genellikle ortamın sıcaklığı, oksijen miktarı, karıştırma hızı, tane boyu, pH oranı, katı/sıvı yoğunluğu, liç süresi gibi değerlere göre değişiklik göstermektedir.

Başarılı bir çözündürme sisteminde verimi arttırmak ve maliyetleri minimumda tutmak için süreçle ilgili olarak karşılanması gereken bir takım parametreler vardır. Çözücü cinsleri ve çözünü seçimleri de liç parametrelerini etkileyen diğer bir husustur. Örneğin, çözücüler istenmeyen mineralleri çözmemeli, geri kazanılabilmeli ve maliyeti düşük olmalıdır. Çözücüyü seçerken kıymetli metalin etrafında yer alan minerallerin cinsi ve cevher tenörü çözücü seçimini belirleyen faktörler olmaktadır.

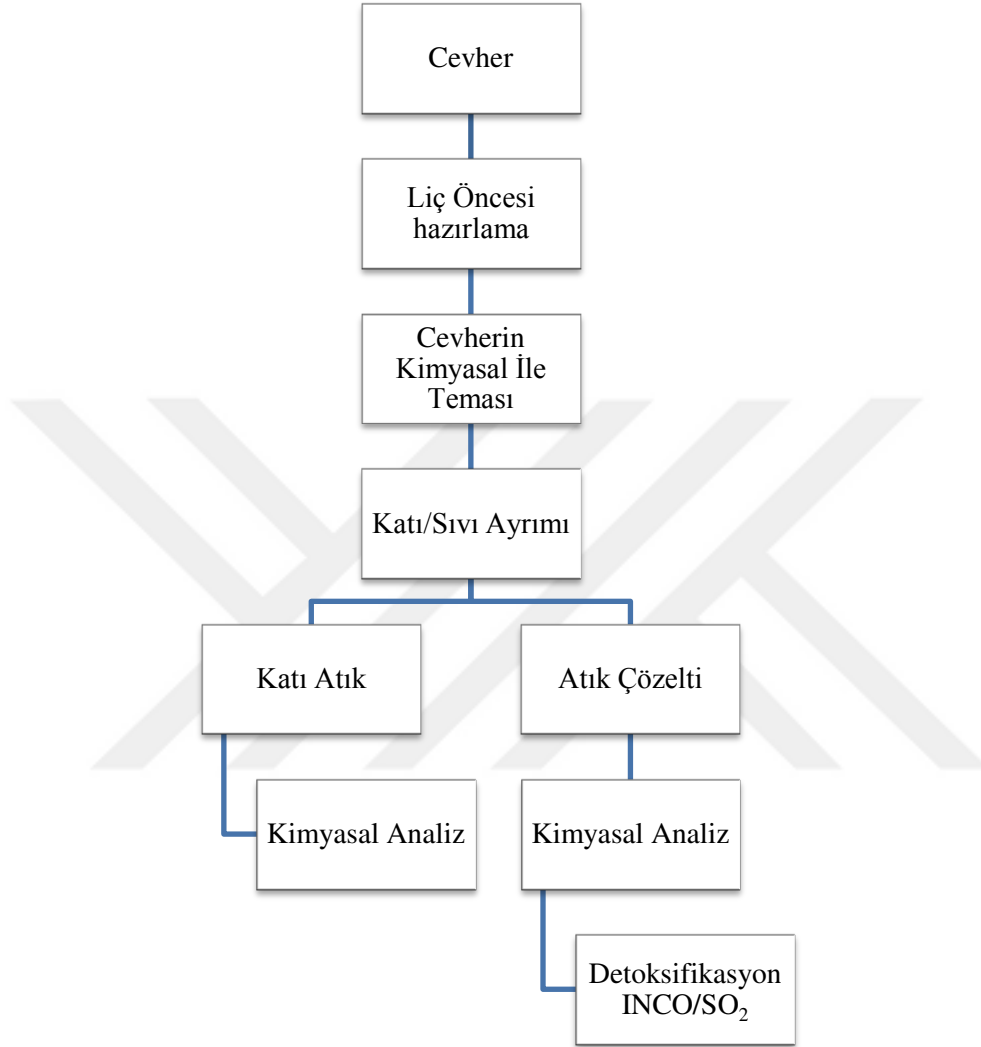
Çizelge 3.8 Liç deney parametreleri.

Çukuralan Cevheri Parametre	Değer	Kaymaz Cevheri Parametre	Değer
Pülör Oranları (g)	300/400/500	Pülör Oranları (g)	300/400/500
Kimyasal Derişimleri (mg/l)	300/400/500	Kimyasal Derişimleri (mg/l)	300/400/500
Karıştırma Hızı (dev/dak)	663	Karıştırma Hızı (dev/dak)	240
Liç Süresi (sa)	2/4/8	Liç Süresi (sa)	2/4/8
pH	10,5-11	pH	10,5-11
Tane Boyutu (μ)	66	Tane Boyutu (μ)	65-69
Sıcaklık °C	20-25	Sıcaklık °C	20-25
Oksijen (mg/l)	20-30	Oksijen (mg/l)	20-30

3.6.1 Liç İşlemine Hazırlanması

Sodyum siyanür ve Jin Chan kimyasal liç parametrelerinin belirlenmesi, çalışma aralıklarının değerlendirilmesi ve elde edilen verilerin kıyaslanması amacıyla liç testleri gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen parametrelerin kimyasal liç deneylerinin etkisinin incelenmesine yönelik liç testleri tasarlanmıştır. Şekil 3.25’de deney akım şeması yer almaktadır.



Şekil 3.25 Liç deneyi akım şeması.

Çalışmanın bu kısmında, Çukuralan ve Kaymaz cevherinin serbest siyanür / Jin Chan derişimi ve pülp katı oranının liç kinetiğine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada Koza Altın İşletmeleri bünyesinde bulunan Kaymaz ve Çukuralan cevherleri kullanılmıştır.

Katı-sıvı oranları % 30, % 40 ve % 45, kimyasal konsantrasyonları ise 300 mg/l, 400 mg/l ve 500 mg/l olarak belirlenmiştir. Sodyum siyanürlü çalışmada en uygun parametreler belirlendikten karşılaştırılması için aynı parametrelerde Jin Chan kimyasalı ile liç tesleri yapılmıştır.

Tüm deneysel çalışmalar Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında çeker ocak içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Birinci behere Çukuralan cevheri % 30, % 40 ve % 45 pülp oranlarında katı sıvı karışımı eklendi (Resim 3.26). İkinci behere Kaymaz cevheri eklenerek aynı parametrelerde işlem yapılmıştır (Resim 3.27). Heidolph RZR 2021 Mekanik karıştırıcıya yerleştirilen pülp halinde beherler, test sırasında test edilecek serbest siyanür derişimi ve pH ölçümleri ile ihtiyaca göre sodyum siyanür ve sönmüş kireç ilavesi yapılmış ve deney koşulları belirlenen esaslarda tutulmuştur. pH ölçümü sonrası, pH değerini 10-11 Aralığına getirecek şekilde sönmüş kireç ilavesi yapılmıştır.



Resim 3.26 Çukuralan cevherinin %45 katı oranı liç hazırlığı.

Karıştırma işlemi önce beher tartılıp dara alındıktan sonra %30, % 40 ve % 45 katıya göre katı ilave edilerek terazi sıfırlanarak sıvı ilavesi yapılp beherler liç işlemine hazır hale gelmiş olmaktadır.



Resim 3.27 Kaymaz cevherinin %45 katı oranlı liç hazırlığı.

Bu testler süresince liç işlemine tabi tutulan pülp ten belirli zaman aralıklarında Resim 3.28’de görüldüğü gibi numuneler alınmıştır. Bu numunelerdeki katı ve sıvı için altın ve gümüş içerikleri belirlenmiş ve zamana göre, çamur yüzde katısı ve serbest siyanür derişiminin liç işlemine etkisi incelenmiştir.



Resim 3.28 20 ml’lik şırınga yardımıyla liç testinden örnek alımı.

Deney kapsamında belirlenen serbest siyanür konsatrasyonuna ulaşacak miktarda sodyum siyanür Resim 3.29’da gösterildiği şekilde tartılarak beher içerisine eklenmiş ve mekanik karıştırma düzeneğinde çözünmesi sağlanmıştır.



Resim 3.29 Kimyasal eklenmesi işlemi.

Liç işlemi süresince oksijen beslemesinin gerçekleştirilebilmesi için oksijen besleme hortumları beherlerin içerisine yerleştirilmiş ve Resim 3.30'da gösterilen vana ile oksijen akışları ayarlanmıştır.



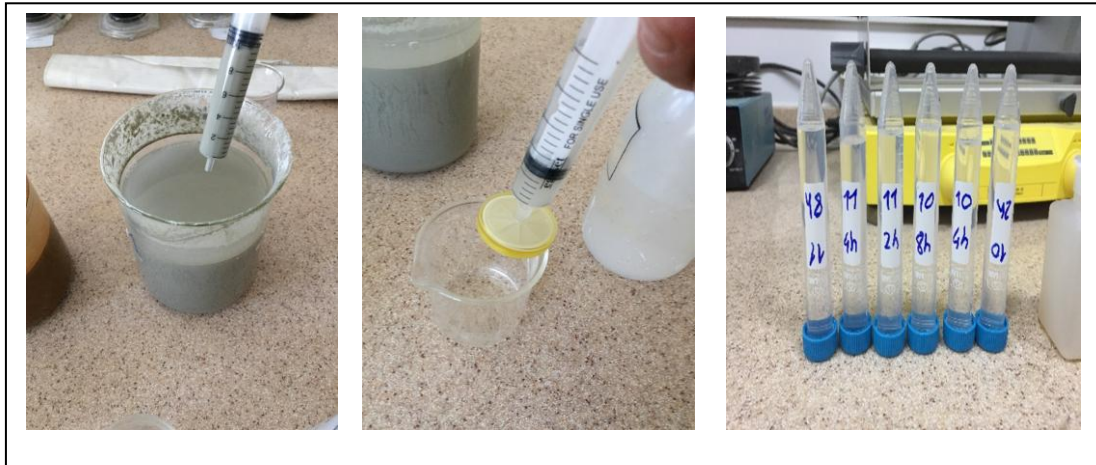
Resim 3.30 Oksijen ilavesi işlemi.

Oksijen akışının çamur içinde sağlıklı bir şekilde gerçekleştiği teyit edildikten sonra Çukuralan cevheri için 240 dev/dak, Kaymaz cevheri için 663 dev/dak, hızda test düzeneği çalıştırılarak düzenek takip edilmiştir.



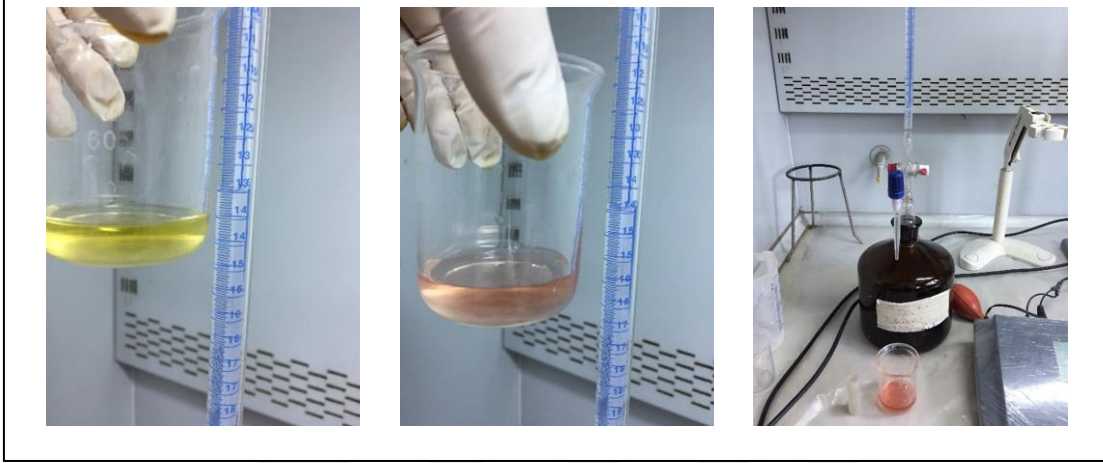
Resim 3.31 Heidolph HZR 2021 mekanik karıştırıcı düzeneği.

Deney parametrelerinde belirlenen süre (2, 4, 8 saat) geçtikten sonra düzenek durdurulmuş, beherler alınarak çözünmüş oksijen ve pH ölçümleri yapılmış, eğer pH 10,50 değerinin altında ise miktarı not edilerek gerektiği kadar sönmüş kireç ilavesi sonrasında, deneyin devam edeceği nihai pH değeri not edilmiştir. Beher içerisinden solüsyon numunesi alabilmek için katının çökmesi 10-15 dakika kadar beklenmiş sonrasında çöken çamurun üzerindeki berrak solüsyondan 10 ml ilave edilmesi gereken kimyasal tayini için çekilmiş, 15 ml ise saatlik altın gümüş analizi için numune kabına enjektör yardımı ile çekilerek alınmıştır (Resim 3.32).



Resim 3.32 Kimyasal tayini ve altın-gümüş analizi için örnek alımı.

Alınan solüsyon numunesinin 10 ml'lik kısmı ile Resim 4.29'de düzeneği gösterilen gümüş nitrat titrasyonu yöntemi ile serbest siyanür ölçümü yapılmış ve analiz koşullarındaki serbest siyanür derişimine ulaşacak kadar sodyum siyanür tartılarak behere ilave edilmiştir. Ton başına kullanılan ortalama siyanüre 300 mg/l göre, NaCN 0,165 g olarak hesaplanmıştır



Resim 3.33 Gümüş nitrat titrasyonu ile serbest siyanür ölçümü.

Kalan 15 ml solüsyon numunesi sıvıda altın analizi için ağzı kapalı numune kabına koyulmuş ve kimyasal analiz numunesi elde edilmiştir (Resim 3.34).



Resim 3.34 Liç işleminden elde edilen numuneler.

Belirlenen toplam liç süresinin sonuna ulaşıldığında deney beherleri düzenekten alınarak nihai çözünmüş oksijen, pH ve serbest siyanür derişimi kontrolleri yapılmıştır.

Sonrasında şişenin son tartımı alınarak içerisindeki çamur vakum pompası yardımıyla filtrelenmiş ve elde edilen sıvı numuneleri altın analizi için Kaymaz laboratuvarına gönderilmiş; katı numunesi ise etüvde (Resim 3.37) kurutularak tartılmış, tartım değerleri not edilerek, altın analizi için laboratuvara yönlendirilmiştir.



Resim 3.35 Liç sonu nihai ağırlık tartım işlemi ve pH ölçümü.



Resim 3.36 Vakum pompası ile katı-sıvı ayırma işlemi.



Resim 3.37 Katı-sıvı ayırma işlemi sonrası Nüve FN 500 marka etüvde kurutulan katı numuneler.

Diğer deneyler de birinci deneyde olduğu gibi belirlenen parametrelere göre aynı şekilde yapılmıştır. Kimyasal ilavesi, pülp oranı ve belirlenen kimyasal konsantrasyona göre hesaplanarak belirlenmiştir. Örneğin, ton başına kullanılan ortalama siyanür 500 g ve %30 katı-sıvı oranına göre, NaCN 0,350 g olarak hesaplanmıştır.



Resim 3.38 Çeker ocak içinde liç düzeneği.

3.6.2 Serbest Siyanür Ölçümü

Çözeltideki serbest siyanür ölçümleri gümüş nitrat titrasyonu yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntemde, öncelikle analiz için ihtiyaç duyulan 10 ml solüsyon eldesine imkân verecek miktarda çamur filtrelenmektedir. Süzüntüden dereceli şırınga yardımı ile 10 ml sıvı alınarak 100 ml'lik behere aktarılır ve üstüne indikatör olarak 3-4 damla rodanin ilave edilir. Titrasyon işlemine başlanmadan önce gümüş nitrat içeren büretteki seviye kaydedilir ve büret musluğu açılarak beher içerisine gümüş nitrat damlatılmaya başlanır.

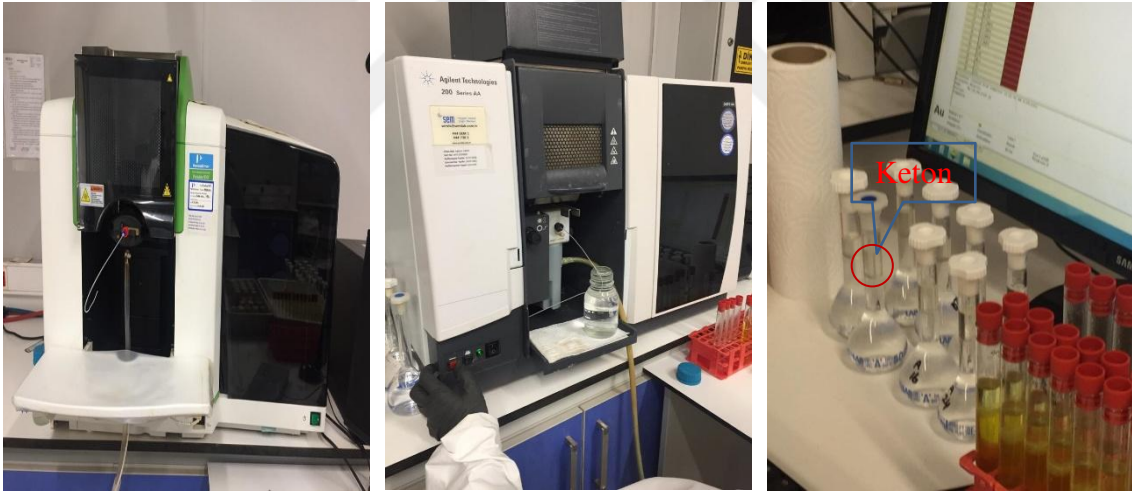
İşlem sırasında beher karıştırılarak renk değişimi gözlenir, renk değişimi gerçekleştiğinde işlem durdurularak eklenen gümüş nitrat miktarı ölçülür. Harcanan gümüş nitrat miktarının ml cinsinden rakamsal karşılığının yüz ile çarpılması sonucunda mg/l cinsinden serbest siyanür miktarı hesaplanmaktadır.



Resim 3.39 Gümüş nitrat titrasyonunda serbest siyanür ölçme işlemi.

3.6.3 Liç Sonrası Kimyasal Analiz

Numunelerin analizi, Koza Altın İşletmeleri Kaymaz kimyasal analiz laboratuvarında PinAAcle 900F marka Atomik Absorpsiyon Spectrometre (AAS) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Atomik Absorpsiyon Spectrometre cihazında altın-gümüş analizinde maddenin iyonlaşması için alev verilmekte, elementel hale dönüştürülen element buharlaştırılmakta ve kaynaktan gelen ışın demetine maruz bırakılmaktadır. Örnekte aranan kıymetli metal o metale has dalga boyundaki ışığı soğurması yardımıyla bulunmaktadır. Sulu numune bir alev içine yükseltgen gaz karışımı ile püskürtülür. Bu şekilde elementler analiz edilirler. Bu işlem ketona tutturulması ya da ketonsuz olarak yapılabilir. Ancak altınla aynı dalga boylarına sahip metallerde ketonsuz yapılan işlem yanıltıcı olabileceğinden, keton kullanılarak altın-gümüş analizlerinin daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmektedir.



Resim 3.40 Atomik Absorpsiyon Spectrometre (AAS) cihazında altın okuma işlemi.

Altın ölçümleri 0,1 mg/l ile 10 mg/l arasında yapılabilir. 10 mg/l üzerinde ise seyreltilerek okuma yapılmaktadır. Keton okumalarının dezavantajının pahalı olması ve kullanan kişi eğer numune tüplerini iyi çalkalamazsa altının ketona tutturulması kısmen gerçekleşir ve analiz sonuçları yanıltıcı olabilir.

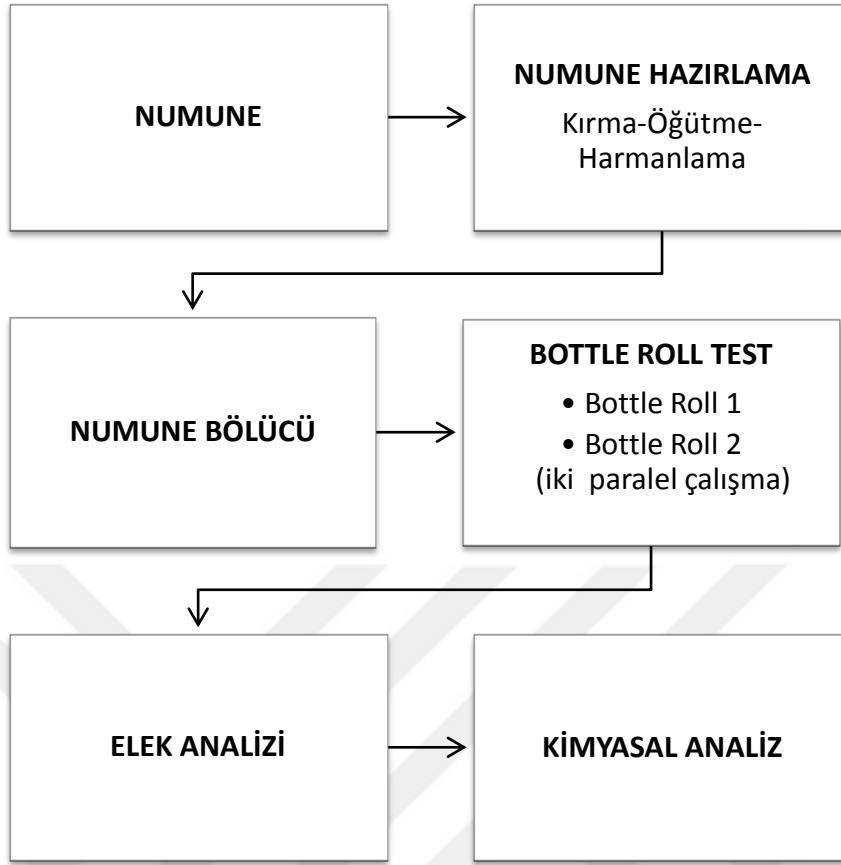
4. BULGULAR

Çalışmada, altın kazanımında NaCN (sodyum siyanür) ve Jin Chan kimyasalları kullanılarak Jin Chan'ın altın kazanımındaki etkinliği değerlendirilmiştir. Parametreler mineralojik yapısı farklı iki cevher kullanılarak liç kinetiğine etkisi ve dolayısıyla altın kazanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmasının ilk aşamasında Koza Altın İşletmeleri Kaymaz ve Çukuralan İşletmelerinden alınan numunelerin liç işlemine hazırlık için tane boyutu küçültülmesi, ikinci aşamasında ise liç çalışması için hazırlanan numunelerin belirlenen parametrelerde liç edilmesidir. Liç çalışmalarında Jin Chan ve NaCN kimyasallarının farklı derişimleri, katı sıvı oranları, liç süreleri, oksijen varlığının liç işlemlerine etkileri incelenmiştir.

4.1 Kaymaz Metalurji Laboratuvarı Bottle-Roll Deneyi

Liç çalışmalarına ilk olarak Koza Altın İşletmeleri Kaymaz Metalurji Laboratuvarında başlanmıştır. Bottle-Roll Liç deneyi yapılmıştır. Burada yapılan çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Laboratuvarında yapılacak olan liç deneylerine katkı sağlamıştır.

Numune önce laboratuvar tip çeneli kırıcıya beslenerek yaklaşık 1-1,2 mm boyutuna kırıldıktan sonra, çubuklu değirmende P_{80} tane boyutu 0,75 mm altına öğütülmüştür. Yapılan deney çalışmasının akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Bottle-roll deney akım şeması.

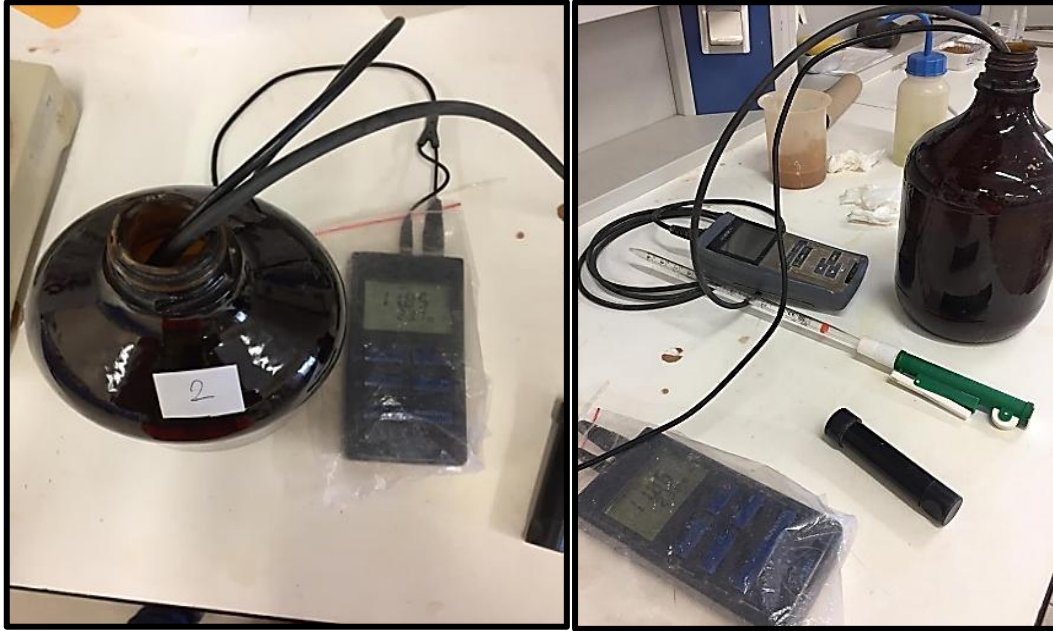
4.1.1 Bottle Roll Liç Test Çalışmaları

Bottle Roll içerisinde yapılacak liç için 2 eş numune hazırlanmıştır. Bottle Roll -1, Bottle Roll-2 şeklinde isimlendirilen 2,5 litrelik şişeler kullanılmıştır. Katı ve su miktarları ayarlanarak liç işlemine hazır hale getirilmiştir. %30 katı oranında hazırlanan karışım (Resim 4.1) sodyum siyanür ilavesi eklenen sıvıya göre yapılmış olup, hesaplamalar sonucunda ton başına kullanılan siyanür 500 mg/l'ye göre hesaplanmıştır. Deneyde ilave edilen NaCN 0,35 g olarak hesaplanmıştır.



Resim 4.1 Bottle Roll testi için 2,5 litrelik liç şişeleri.

Katı-sıvı karışımın homojen hale gelmesi için şişe dairesel olarak sallandıktan sonra WTW marka pH metre ve WTW marka oksimeter ile ilk pH ve oksijen oranları okunup kaydedilmiştir (Resim 4.2).



Resim 4.2 WTW marka pH metre ve WTW marka oksimeter.

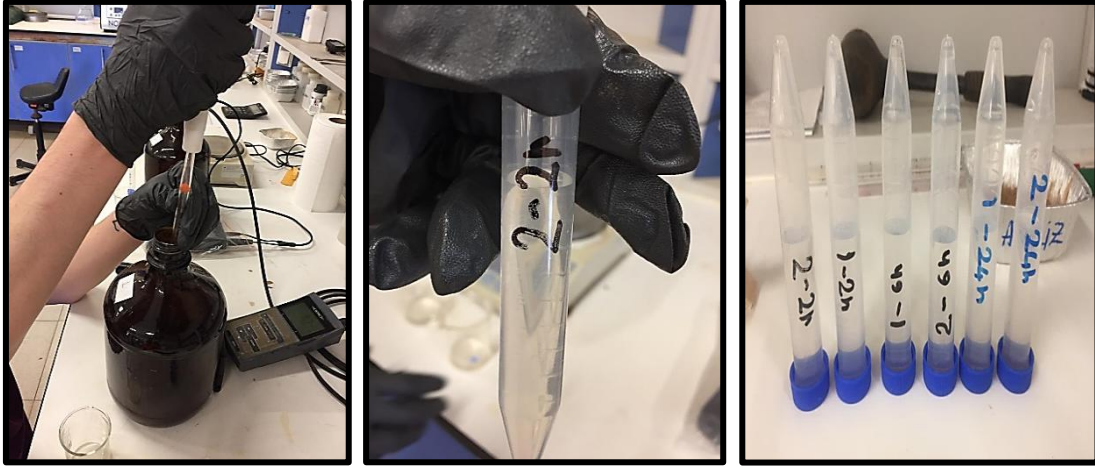
4.1.2 Bottle Roll Siyanür Liçi

Şişelerin toplam ağırlığını kalibreli terazide ölçülüp deney föyüne not ettikten sonra, son bir kere daha dairesel hareketlerle çalkalayıp şişe döndürücü merdanelerin üzerine dikkatle yerleştirilip, şişenin dönüş hızı 30 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Oksijeni rotametreden 15 – 40 l/sa açıp ince hortumları şişenin içine sarkıtarak, oksijenin çamur içinde köpürdüğünü gözlemle teyit ettikten sonra bottle roll çalıştırılmıştır (Resim 4.3).



Resim 4.3 Bottle roll düzeneği ve O₂ rotametre ayarları.

Bottle roll liçi testinde, ilk iki saatin sonunda şişeler, Bottle roll cihazından alındı. Oksijenleri ve pH'ları ölçülüp deney föyüne not edildi. pH 11'in altında olmadığı için kireç ilavesi yapılmadı. Pülpün çökmesi için yaklaşık 45 dakika bekletildi ve pülp yeterince çökünce serbest siyanür ölçümü için üstten pipetle 10 ml solüsyon çekildi. Çekilen solüsyona, NaCN tayini için Gümüş Nitrat (Ag(NO)₃) titrasyonu yapılarak, solüsyondaki serbest siyanür deney föyüne not edildi (Resim 4.4).



Resim 4.4 Gümüş Nitrat ($\text{Ag}(\text{NO})_3$) titrasyonu ve kimyasal analiz için şişeden numune alımı.

Şişeler dairesel hareketlerle çalkalanıp tekrar şişe döndürücülere yerleştirdi. 4. ve 24. saatlerde aynı işlemler tekrarlanarak oksijen, pH ve serbest NaCN kontrollerini yapıldı.

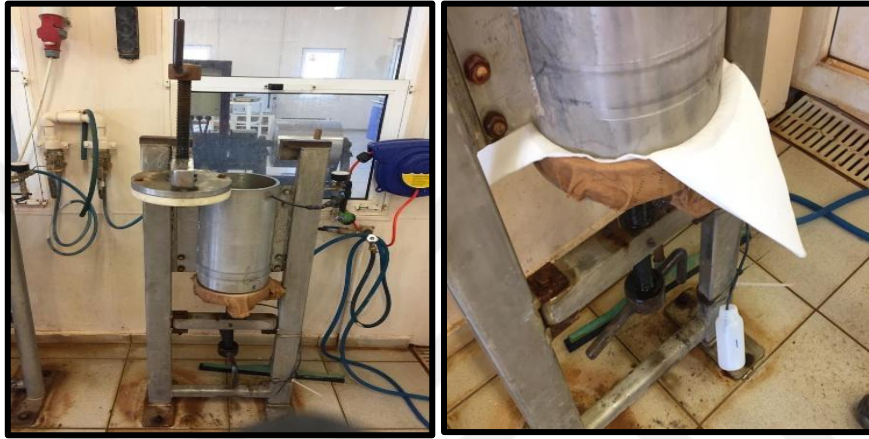
Liç süresi bittiğinde (48 saat) pH ve oksijenler kontrol edilerek kayıt edilmiştir.

Siyanür tüketimi için yapılan teste 7-8 damla rodanin eklenerek Gümüş Nitrat ($\text{Ag}(\text{NO})_3$) titrasyonu yapıldı. Deney sırasında ve sonunda çözeltiden örnekler alınarak siyanür tayini gümüş nitrat titrasyonu ile yapılmış ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. Titrasyon ilk renk değişiminin görüldüğü an, titrasyonun sonu kabul edilmiş ve okunan değer kaydedilmiştir (Resim 4.5).



Resim 4.5 Gümüş nitrat ($\text{Ag}(\text{NO})_3$) titrasyonu görselleri

Katı – sıvı ayırımı için basınçlı pres filtre cihazı kullanıldı (Resim 4.6). 40x40 cm Filtre kağıdını ortadan ikiye çapraz olacak şekilde katlayarak, filtrenin alt kapağına kenarlardan hafifçe taşacak şekilde yerleştirildi. Katı-sıvı ayırımı yapılacak numuneyi kapta tortu kalmaması için çalkalayarak silindir içerisine döküldü. Daha sonra çamur numuneden solüsyon örneği için hafifçe hava açılarak hortumdaki suyun dışarıya akması sağlandı. Süzülen solüsyon yeteri kadar kapta biriktiğinde numune kabını alındı (Resim 4.7). Alınan katı atık kuruması için etüve konmuştur.

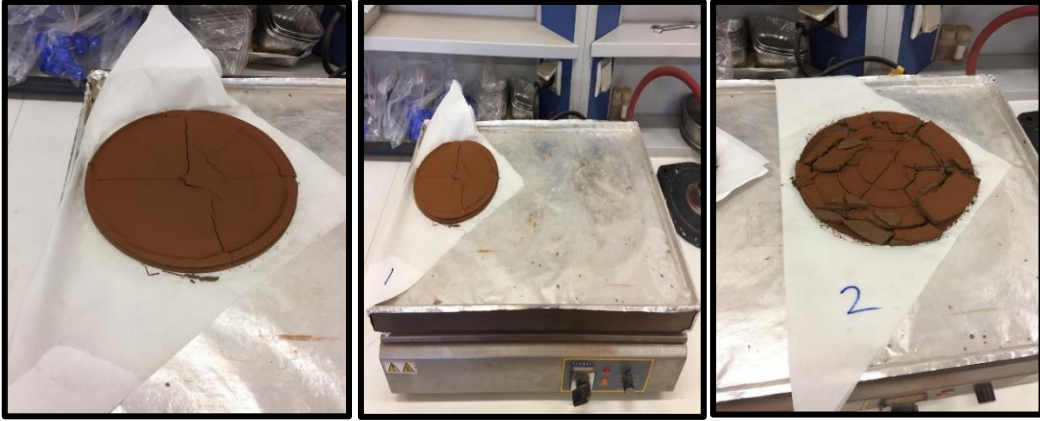


Resim 4.6 Basınçlı filtre pres cihazı.



Resim 4.7 Süzülen solüsyonun alındığı kap.

Alınan katı atık malzemeyi, ısıdan etkilenmeyecek metal, temiz bir tepsiye boşaltıp tepsi yüzeyine homojen miktarlarda yayılarak, kuruması için Memmert marka Etüve konmuştur (Resim 4.8).



Resim 4.8 Basınçlı filtre pres cihazından çıkan katı atık.

4.1.3 Deney Sonu Tablonun Değerlendirilmesi

Yapılan deney sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmektedir. Altın ve gümüş verimi elde edilen verilere göre hesaplanmıştır.

Altın kazanım hesabında, her iki deneydeki verimler karşılaştırılmıştır (4.2-4.3). Bu hesaplama göre numune-1 % 85,56 altın kazanımı gerçekleştirmiş, numune-2’de ise %85,68 oranında altının solüsyona geçtiği görülmüştür.

48 sa liç çalışması sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulan verim değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Besleme malı altın tenörü 5,10 g/t ,gümüş tenörü ise 4,90 g/t’dur. Liç işlemi sonrası atıkta kalan altın tenörü 0,72 g/t, gümüş tenörü ise 2,08 g/t olduğu tespit edilmiştir. İkinci çalışmada ise besleme malı altın tenörü 4,98 g/t, gümüş tenörü ise 4,95 g/t olarak analiz edilmiştir.

Liç işlemi sonrası atıkta kalan altın tenörü 0,73 g/t, gümüş tenörü ise 2,11 g/t olduğu tespit edilmiştir.

Gümüş kazanımına yönelik analizlerde ise numune 1 için Ag verimi %57,99, numune 2 için Ag verimi %58,26 olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1 Deney tablosu numune 1.

Ürünler	500 mg/l NaCN Verim %Au	500 mg/l NaCN Verim %Ag
2 Sa	84,27	51,14
6 Sa	85,08	53,55
24 Sa	85,56	57,99
48 Sa	85,56	57,99
NaCN Tüketimi,(g/t)	290,00	290,00
Ortalama Çözünmüş Oksijen, (mg/L)	27,00	27,00

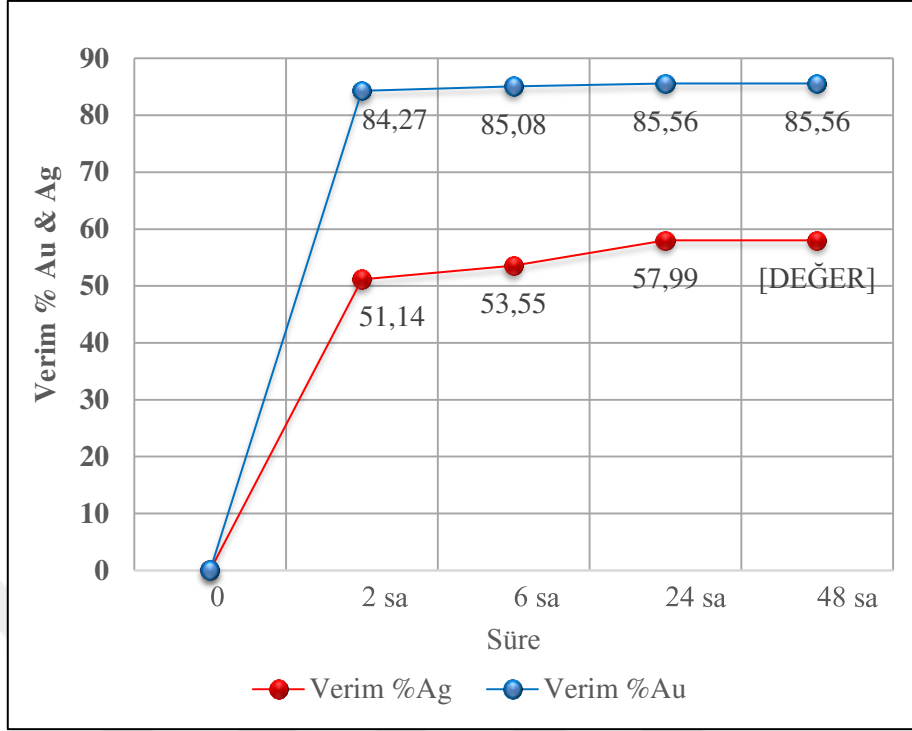
Çizelge 4.2 Deney tablosu numune 2.

Ürünler	500 mg/L NaCN Verim %Au	500 mg/L NaCN Verim %Ag
2 Saat	83,66	49,30
6 Saat	84,78	53,35
24 Saat	85,56	49,95
48 Saat	85,68	58,26
NaCN Tüketimi, (g/t)	310,00	310,00
Ortalama Çözünmüş Oksijen, (mg/L)	28,00	28,00

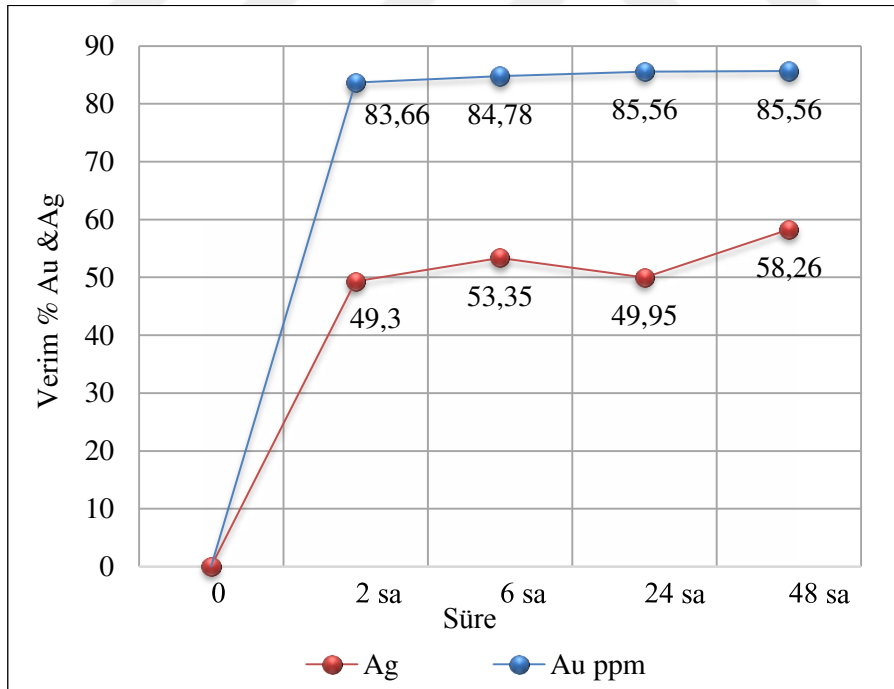
4.2 Liç Sonrası Kimyasal Analiz

Numunelerin analizi, Koza Altın İşletmeleri Kimya Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Atomik Absorpsiyon Spectrometre (AAS) cihazı kullanılmıştır.

Liç kinetiğine bakıldığında 2. saatin sonunda beslenen malzemedeki altının %37'sinin solüsyona geçtiği görülmüştür (Şekil 4.2 - 4.3). 48. saatin sonunda Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 'den incelenebileceği üzere altın kazanımının %85 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 Saatlik altın ve gümüş kazanım grafiği numune 1.



Şekil 4.3 Saatlik altın kazanım grafiği numune 2.

4.3 Bölüm Laboratuvarında Yapılan Liç Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneylerde kullanılan cevherlerin analizleri ACME/Kanada Analiz laboratuvarlarında yaptırılmış olup, altın, gümüş ve diğer minerallerin besleme tenörleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Bu verilere göre, Kaymaz cevherin tenörü 5,35 g/t, Ovacık İşletmesinden alınan Çukuralan cevherin tenörü ise 4,74 g/t olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Bu veriler altın ve gümüş kazanım hesaplarında kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Kaymaz Altın Madeni metalurji laboratuvarı çoklu element analizi

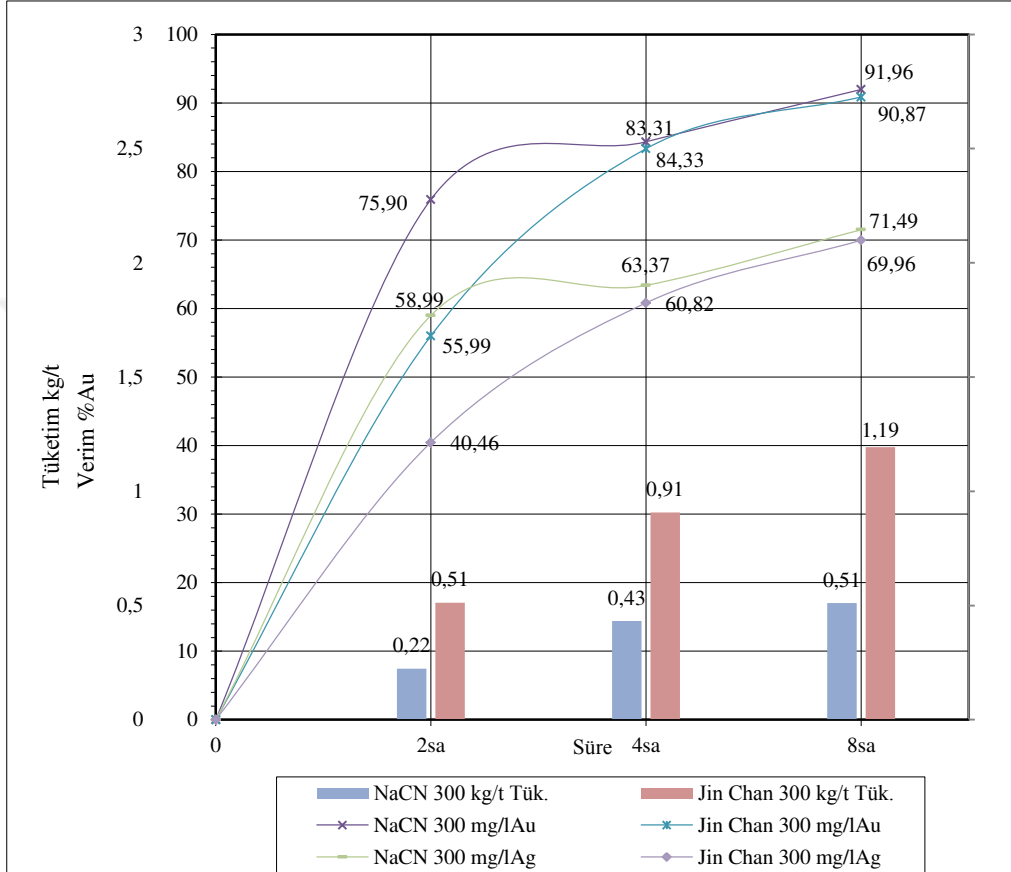
	<i>Au</i> <i>ppm</i>	<i>Cu</i> <i>ppm</i>	<i>Pb</i> <i>ppm</i>	<i>Zn</i> <i>ppm</i>	<i>Ag</i> <i>ppm</i>	<i>Ni</i> <i>ppm</i>	<i>Co</i> <i>ppm</i>	<i>Mn</i> <i>ppm</i>	<i>Fe</i> <i>%</i>	<i>As</i> <i>ppm</i>	<i>Ca</i> <i>%</i>
K2 (Kaymaz)	<u>5,354</u>	16,9	48,8	30	<u>3,7</u>	1372,8	69,0	301	4,99	3970,0	3,37
O1 (Çukuralan)	<u>4,743</u>	34,3	37,4	86	<u>1,3</u>	42,4	11,3	583	2,56	14,0	3,80

Uygulanan kimyasal liç testleri için belirlenen sabit ve değişken siyanür liç parametreleri grafik şeklinde hazırlanmıştır.

Belirlenen parametrelere göre iki farklı kimyasal sodyum siyanür ve Jin Chan yoğunluğunda, 3 farklı katı/sıvı oranında (%30, %40, %45), 3 farklı süre periyodunda (2sa, 4sa, 8sa) çalışılmıştır. AAS cihazından okunan altın ve gümüş verileri doğrultusunda % 30 katı-sıvı oranında ve 300 ppm kimyasal konsantrasyonunda altın-gümüş kazanımları ve kimyasal tüketimleri Çukuralan cevher için, Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Çukuralan cevherin beslemedeki altın tenörü 4,74 g/t, Kaymaz cevherin altın tenörü ise 5,35 g/t dur. Liç testinin ikinci saatinde altının %50 sinin kazanılması ön görülmekte ve %40 oranında bir altın kazanımı gerçekleşmiştir. Kimyasal tüketimlerine bakıldığında NaCN 0,51 kg/t, Jin Chan ise 1,19 kg/t dur (Şekil 4.4).

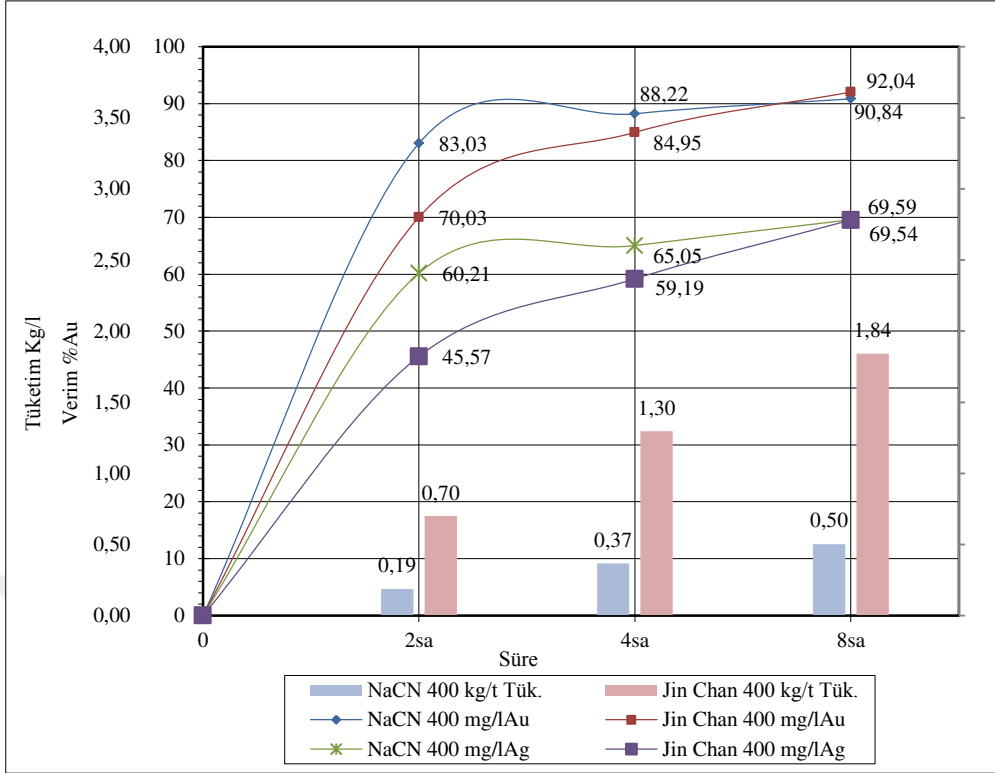
Jin Chan kimyasalı, siyanür tüketiminin 2,33 katı kadar bir tüketim gerçekleştirmiştir. Bu parametrelerde siyanürün daha iyi altın ve gümüşü çözeltiye aldığı görülmektedir. Ancak Jin Chan kimyasalı ikinci saatte çok düşük bir kazanım gerçekleştirmesine rağmen 4 ve 8. saatlerde siyanürün çözme hızına çok yakın bir değer aldığı görülmüştür.



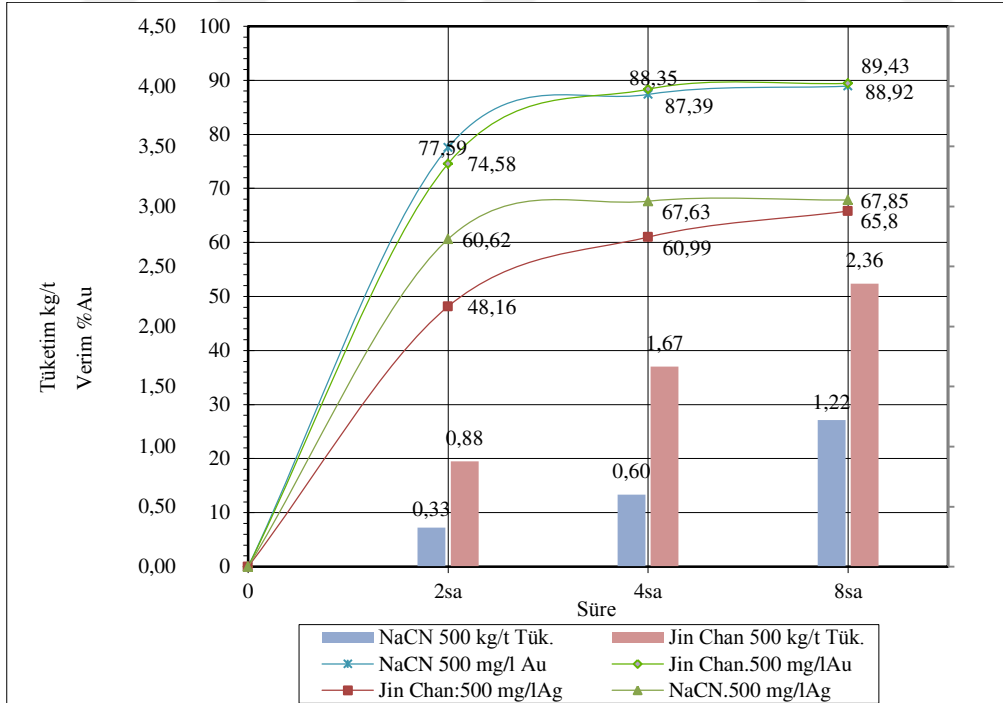
Şekil 4.4 Çukuralan cevheri %30 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

Çukuralan cevheri, %30 pülp oranında ve 300mg/l, 400 mg/l ve 500mg/l kimyasal konsantrasyonunda altın kazanımında Jin Chan kimyasalı, sodyum siyanüre göre iyi olduğu görülmüştür. 300 mg/l ve 400 mg/l sodyum siyanür konsantrasyonunda siyanürün altın kazanımları aynı olmaktadır (Şekil 4.4-4.5).

Her iki kimyasalın liç işlemi sonucunda gümüş kazanımları birbirine eşit ve Jin Chan kimyasalı, siyanürün tüketiminin 3,68 katı tüketim gerçekleştirmiştir (Şekil 4.5). 500 mg/l'lik konsantrasyonda Jin Chan altın kazanımı, siyanüre yakın bir değer aldığı görülmektedir (Şekil 4.6).



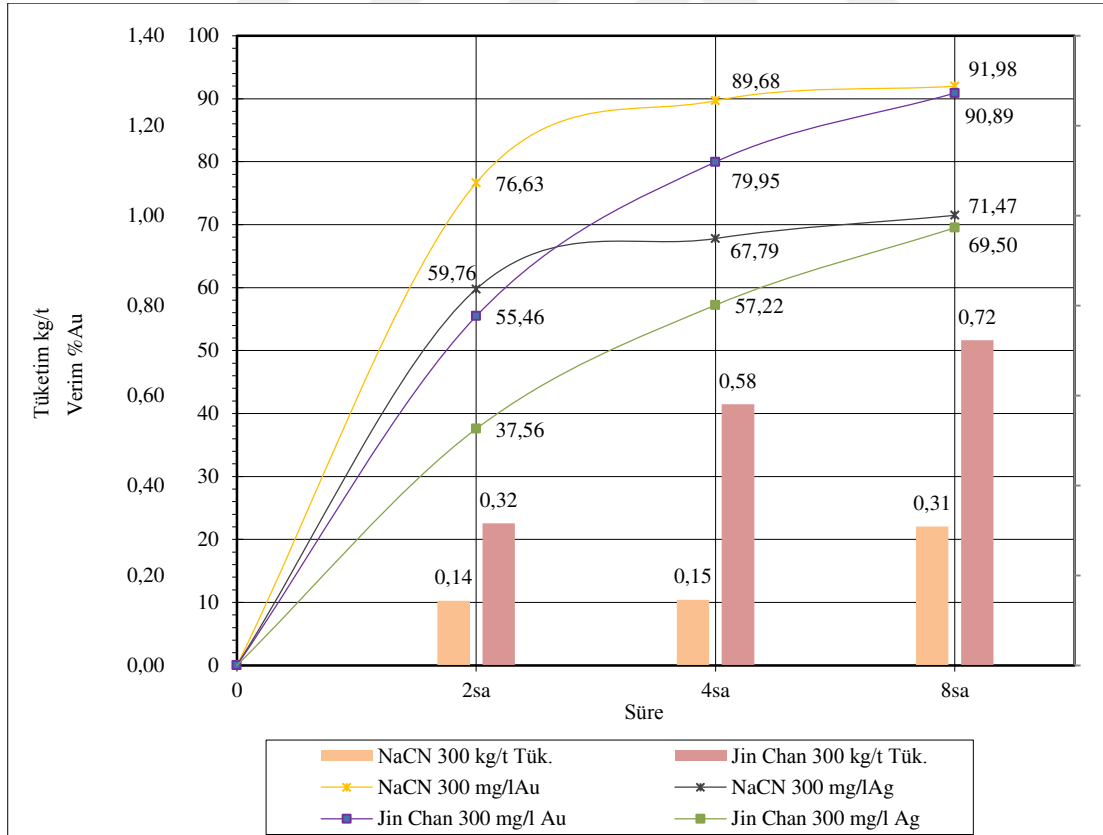
Şekil 4.5 Çukuralan cevheri %30 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



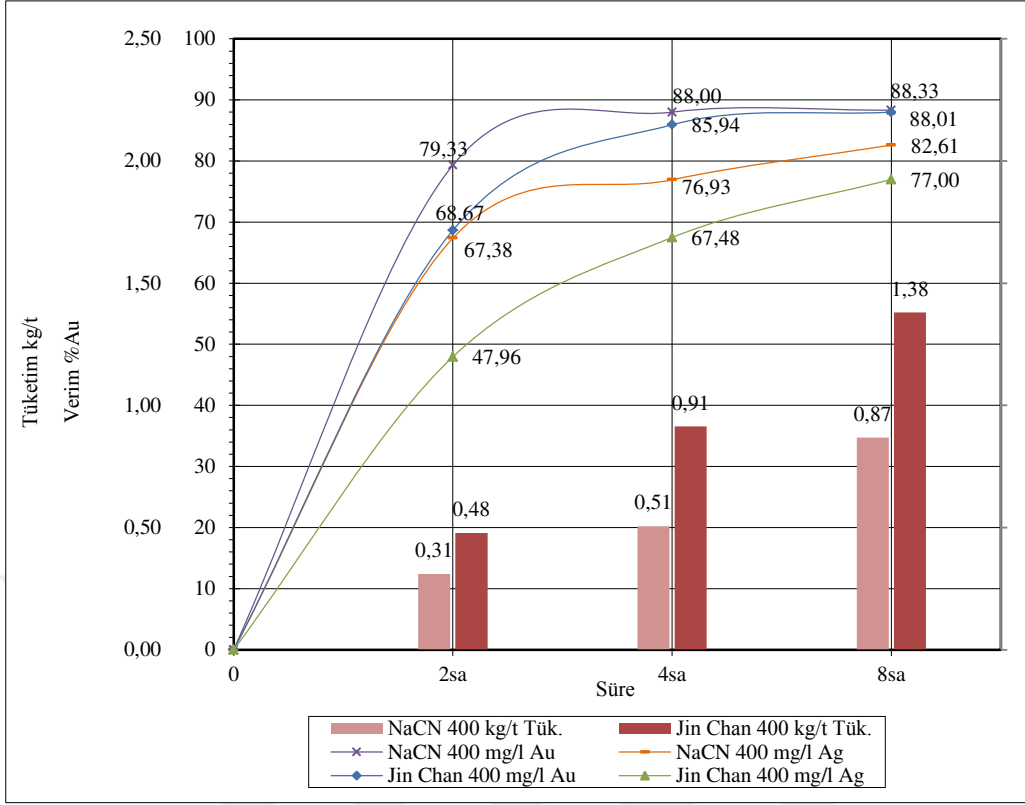
Şekil 4.6 Çukuralan cevher %30 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanım ve kimyasal tüketim grafiği.

Çukuralan cevherin % 40 katı-sıvı oranında ve 300 mg/l, 400 mg/l ve 500 mg/l kimyasal konsantrasyonunda altın-gümüş kazanımları ve kimyasal tüketimleri grafiklerde yer almaktadır. Bu parametrelerde sodyum siyanür, Jin Chan kimyasalına göre daha iyi altın kazanımı elde etmektedir. Optimum altın çözünmesi için kullanılan şartlarda gümüşün çözünme oranları, altının çözünme oranından daha düşüktür. Ancak 500 mg/l konsantrasyonda Jin Chan kimyasalının gümüş kazanımının siyanüre göre iyi olduğu, 400 mg/l konsantrasyonda siyanürün gümüş kazanımı 500 mg/l Jin Chan ile aynı seviyelerde olduğu görülmüştür (Şekil 4.8-4.9). Gümüşün Jin Chan kimyasalında 500 mg/l konsantrasyonunda verimin yüksek olması bazı çözünmeyi geciktirici ve hızlandırıcı etkileri olan iyonların çözelti içerisine geçen yoğunluğa bağlı olduğu düşünülmüştür.

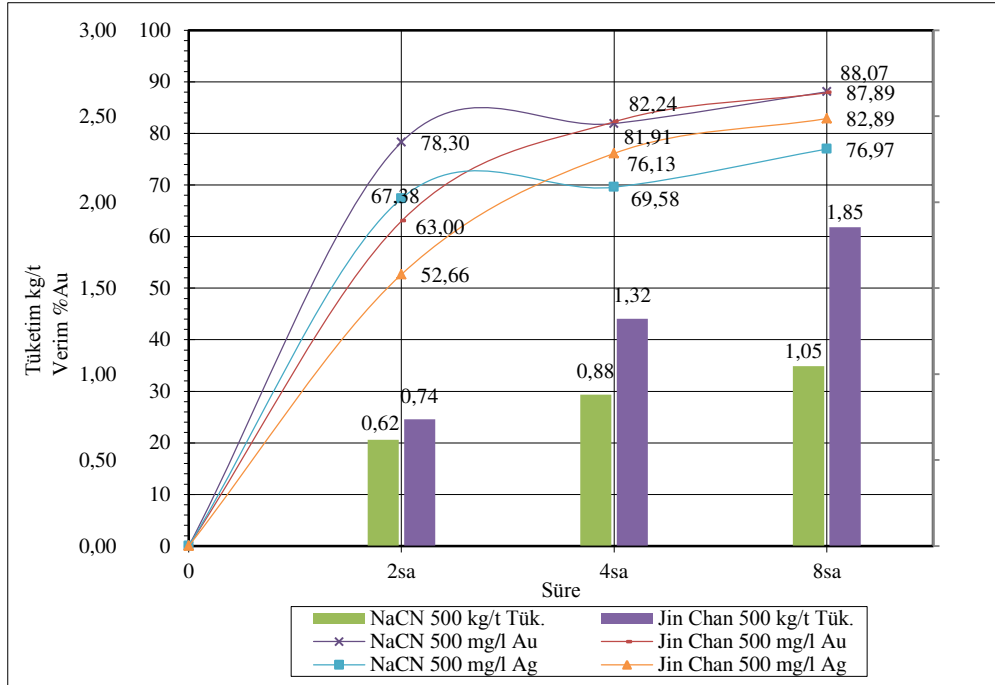
Kimyasal tüketimlerine bakıldığında Jin Chan, siyanür tüketiminin 300 mg/l de 2,32, 400 mg/l de 1,59 ve 500 mg/l de 1,76 katı olduğu görülmektedir (Şekil 4.4, 4.5, 4.6).



Şekil 4.7 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

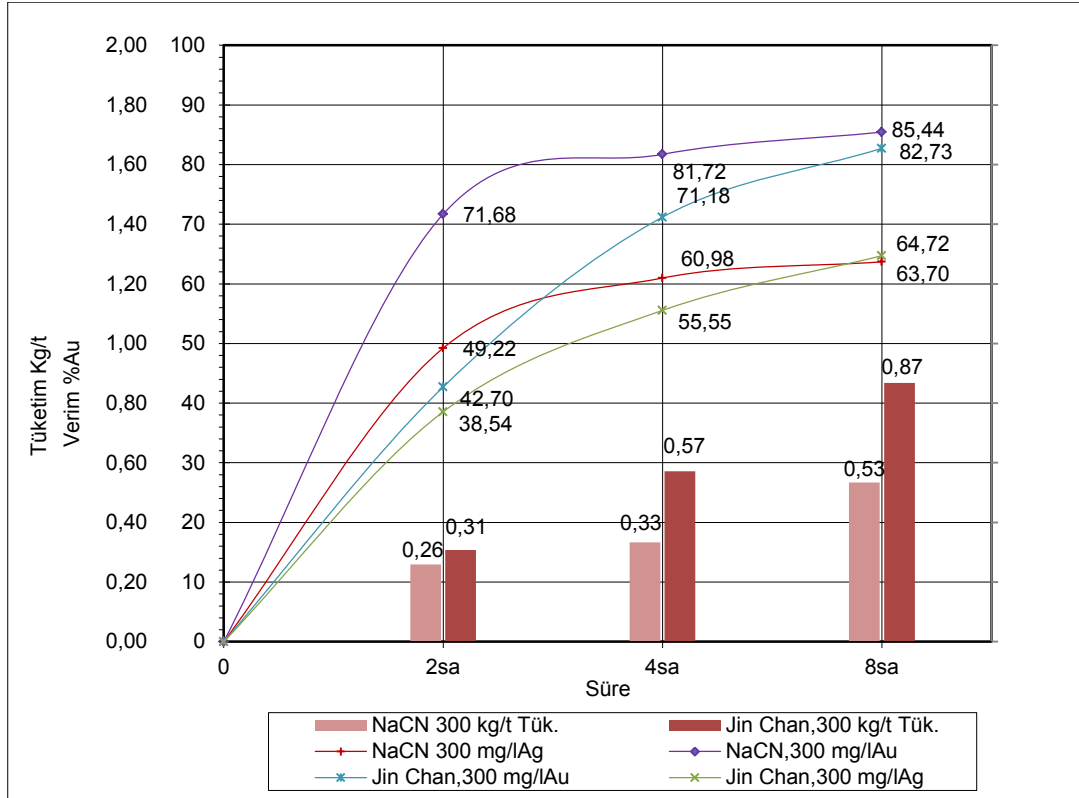


Şekil 4.8 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



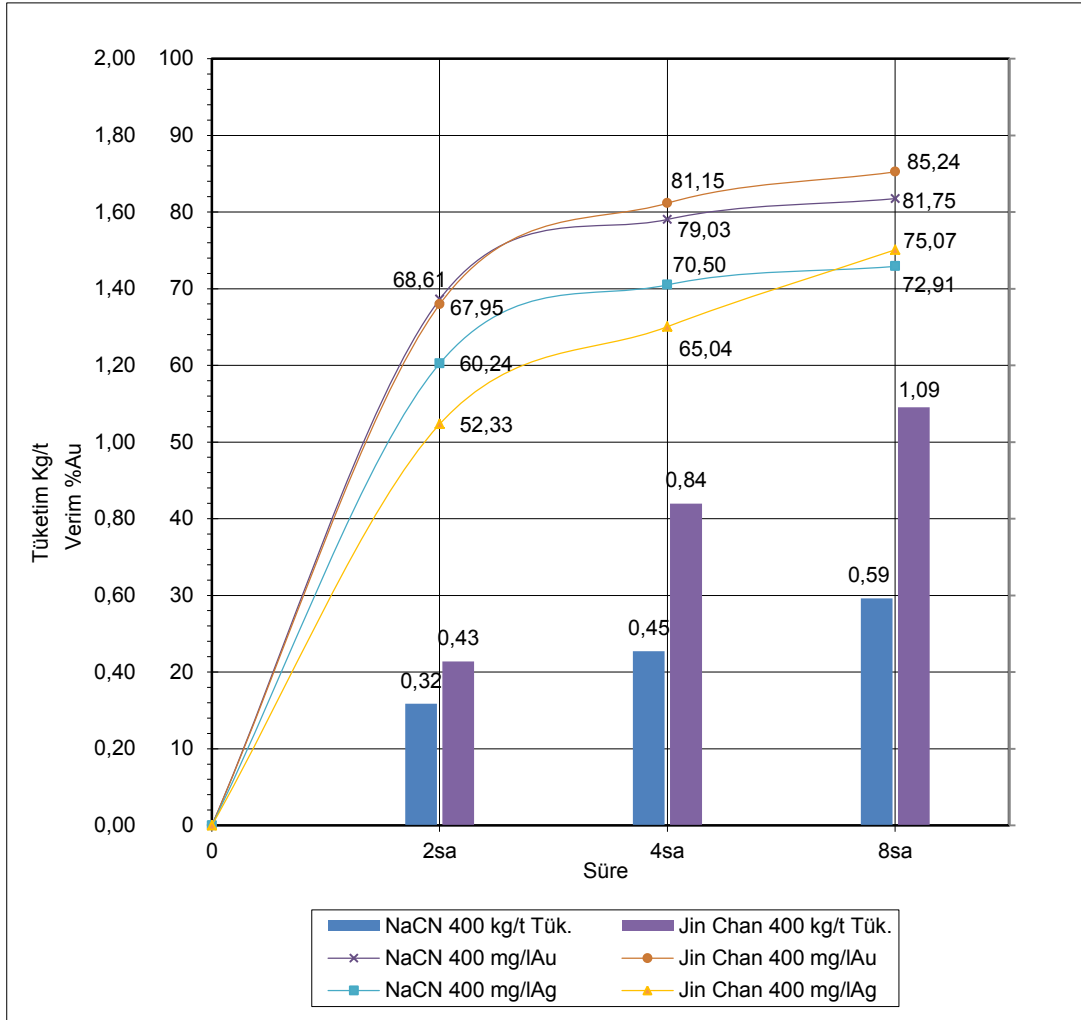
Şekil 4.9 Çukuralan cevheri %40 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

% 45 pülp oranında 400 mg/l kimyasal konsantrasyonunda altın-gümüş kazanımları Jin Chan kimyasalında daha iyi olduğu grafiklerde görülmektedir (Şekil 4.11). 300 mg/l konsantrasyon parametresinde Jin Chan kimyasalının siyanüre göre daha iyi gümüş kazanımı elde ettiği görülmektedir (Şekil 4.10). Jin Chan kimyasalın liç içerisindeki tüketimleri tüm parametrelerde olduğu gibi siyanüre göre yüksek verilere ulaşmaktadır.



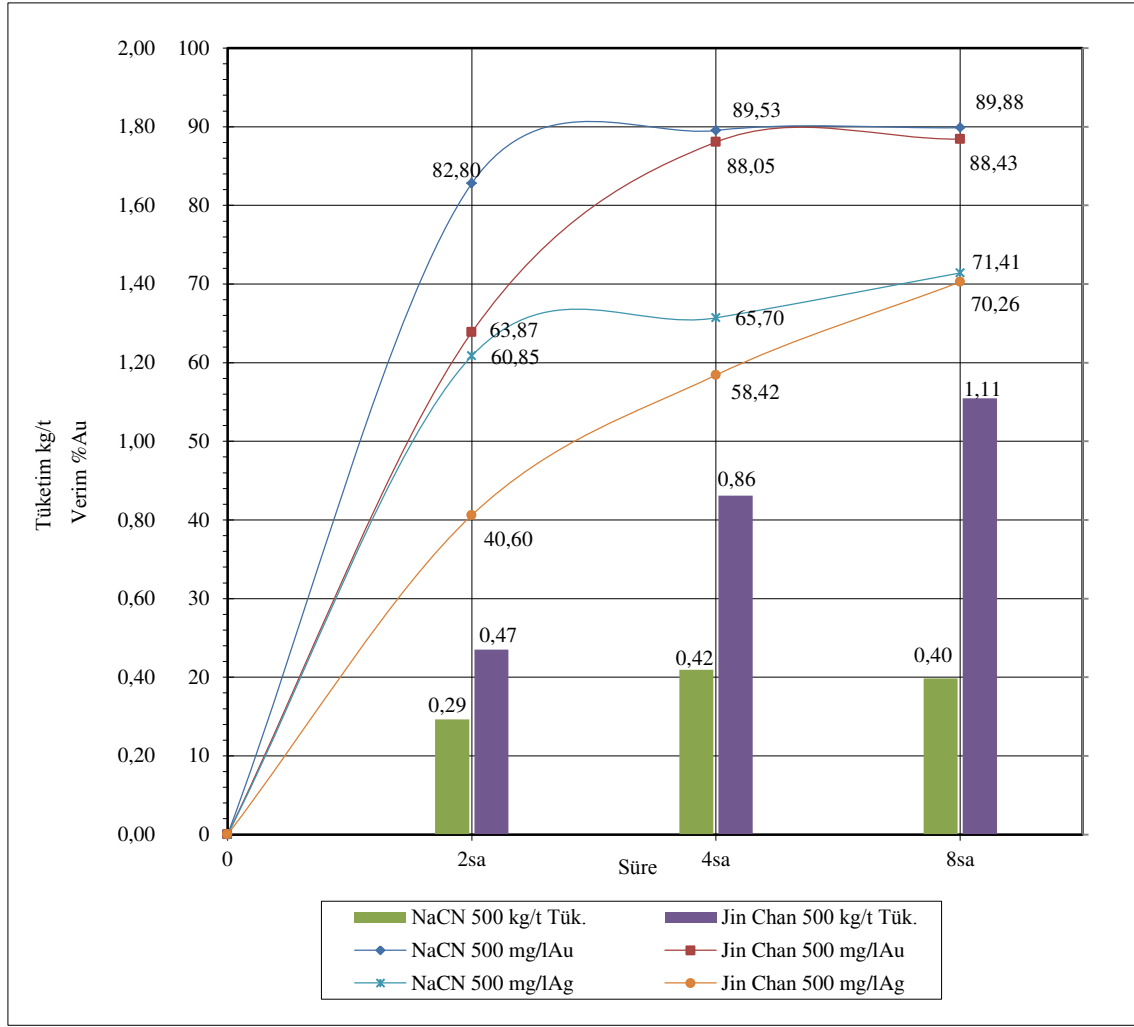
Şekil 4.10 Çukuralan cevher %45 pülp ve 300mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanım ve kimyasal tüketim grafiği.

Kimyasal tüketim hesabında, 8 saat sonunda 10 ml alınan numune çözeltinin titrasyonundan elde edilen serbest siyanür verisinin, sıvı miktarına çarpımı sonucunun, katı miktarına oranından elde edilmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda %45 katı, 300 mg/l konsantrasyonda NaCN 0,53 kg/t tüketmektedir. Jin Chan ise 0,87 kg/t tüketim gerçekleştirmiştir (Şekil 4.10).



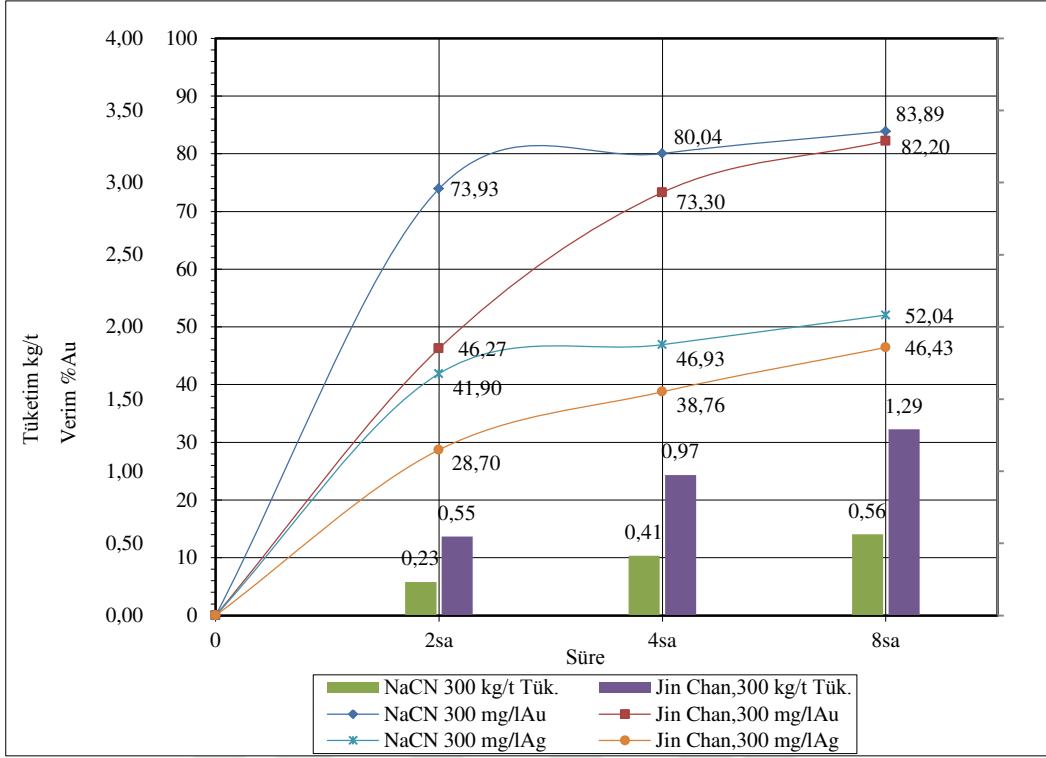
Şekil 4.11 Çukuralan cevheri %45 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere % 45 katı oranında ve 400 mg/l kimyasal konsantrasyonunda siyanür % 81,75 verime ulaşmaktadır. Siyanür tüketimi ise 0,59 kg/t olduğu görülmektedir. Jin Chan kimyasalı ise % 85,24 altın kazanımıyla bu parametrede siyanür liç kinetiğine göre daha verimli olmaktadır. Jin Chan tüketimi ise 1,09 kg/t olarak gerçekleşmiştir. Tüketimlerin karşılaştırmasında siyanürün, Jin Chan’a göre % 58 oranında daha az tükettiği görülmektedir.

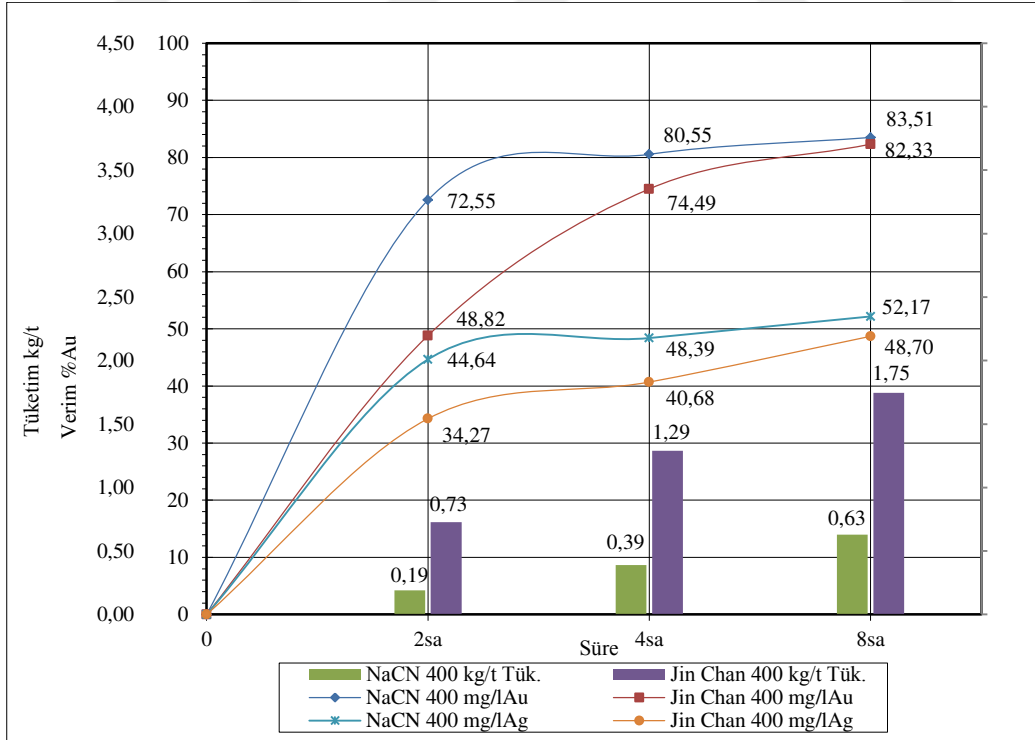


Şekil 4.12 Çukuralan cevheri %45 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

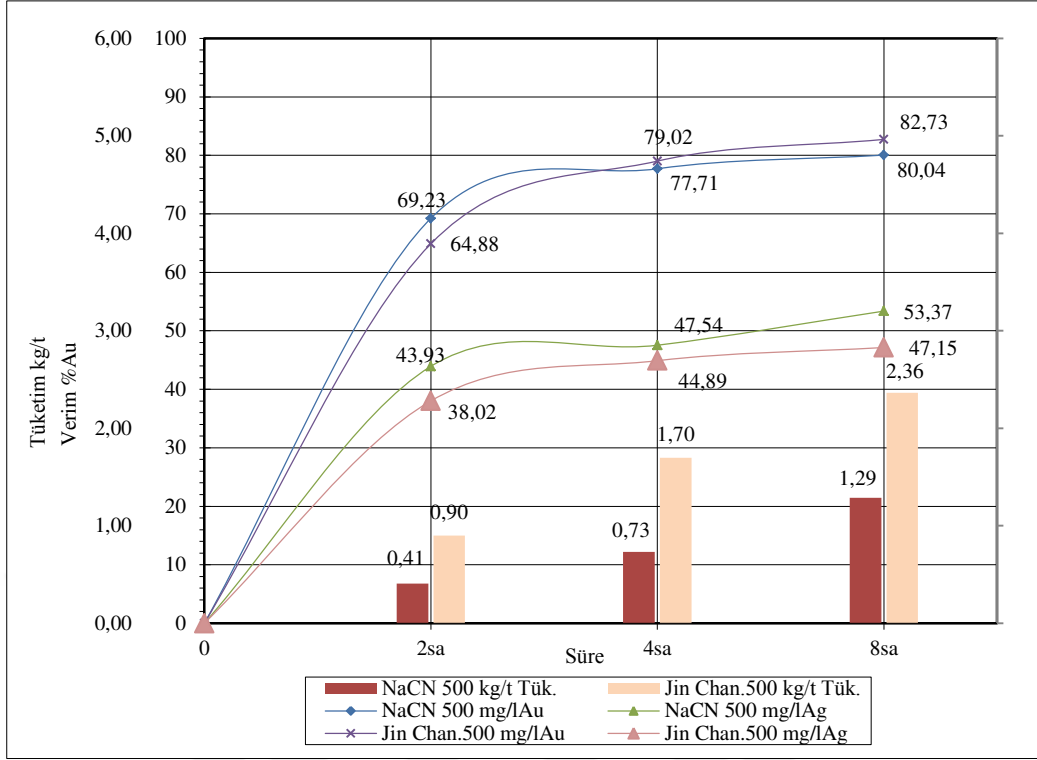
Kaymaz cevherinde yapılan liç deneylerinde, Çukuralan cevherinde olduğu gibi Jin Chan kimyasalı %30 katı-sıvı oranında 500 mg/l konsantrasyonunda ve %45 katı-sıvı oranında 300 mg/l konsantrasyonlarında siyanüre göre daha iyi verim elde edebilmiştir. Gümüş verimlerinde ise sadece %40 katı-sıvı oranında 300 mg/l ve % 45 katı-sıvı oranında 400 mg/l konsantrasyonlarında, Jin Chan optimum veriye ulaşılabilmiştir. Tüketimlerde ise Jin Chan kimyasalı, siyanürün yaklaşık 2 katı bir tüketime sahip olmaktadır.



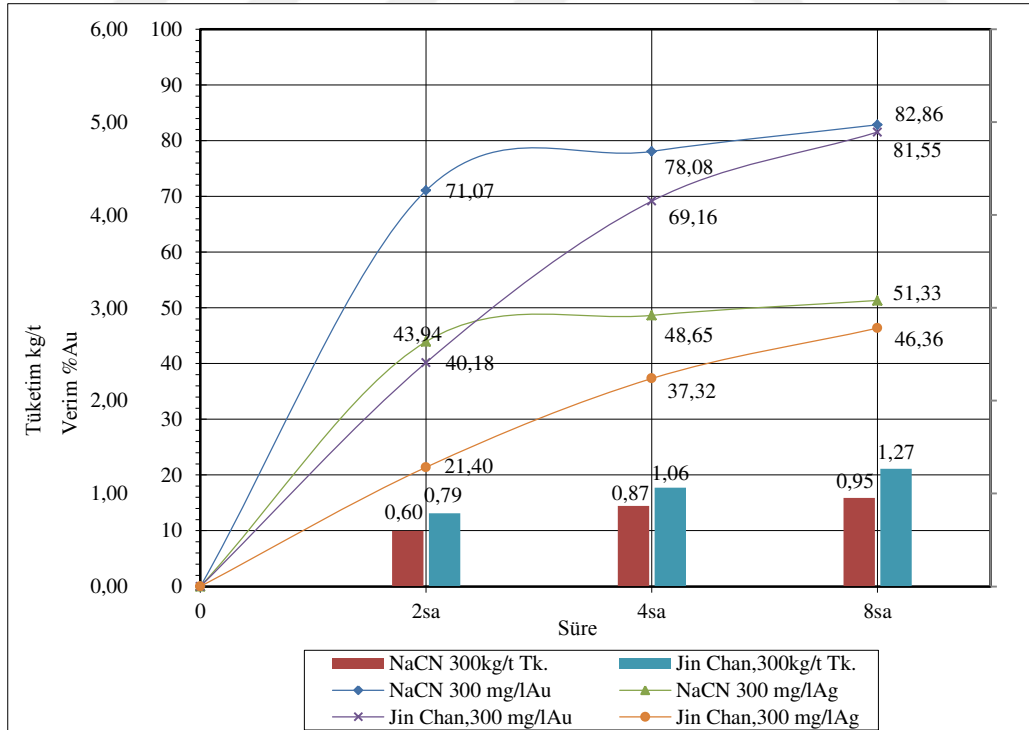
Şekil 4.13 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



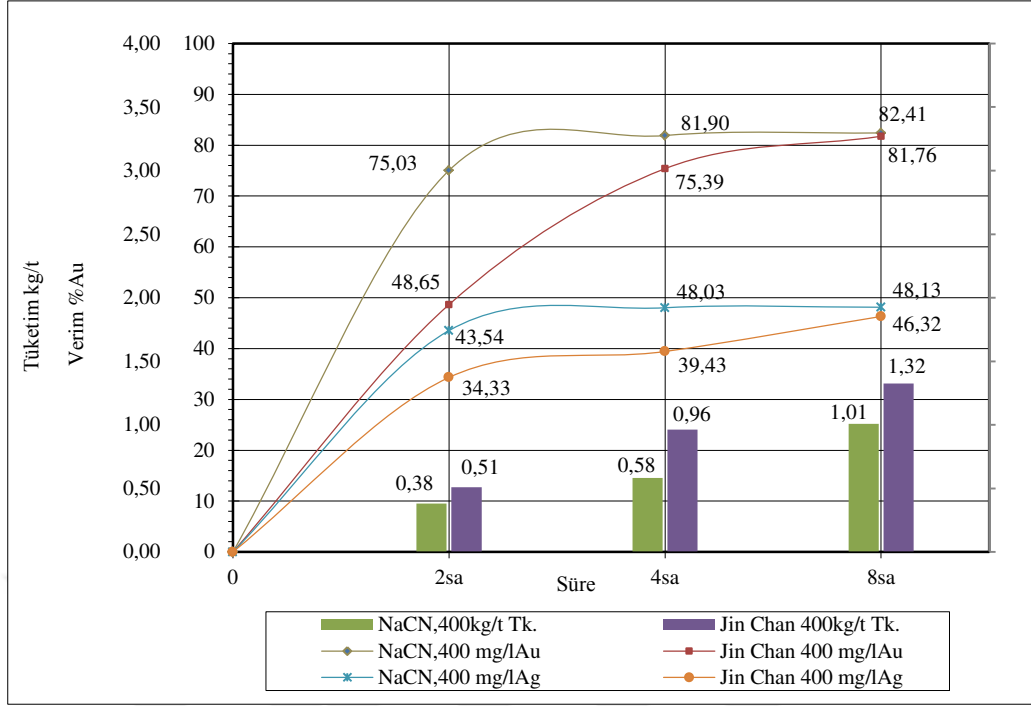
Şekil 4.14 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



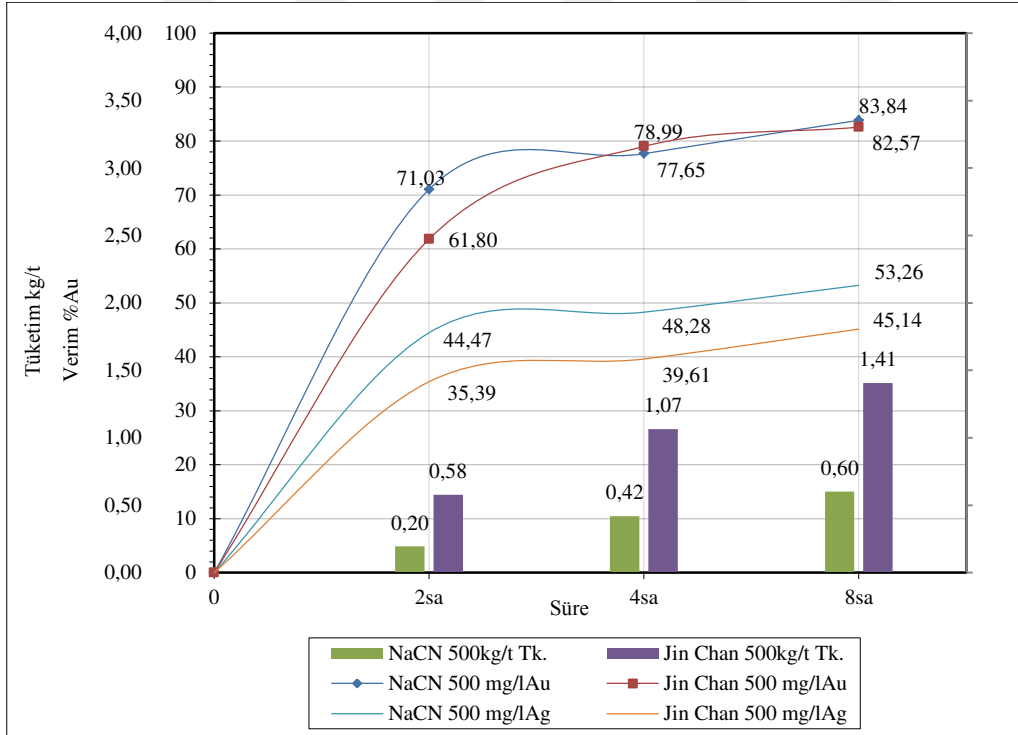
Şekil 4.15 Kaymaz cevheri %30 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



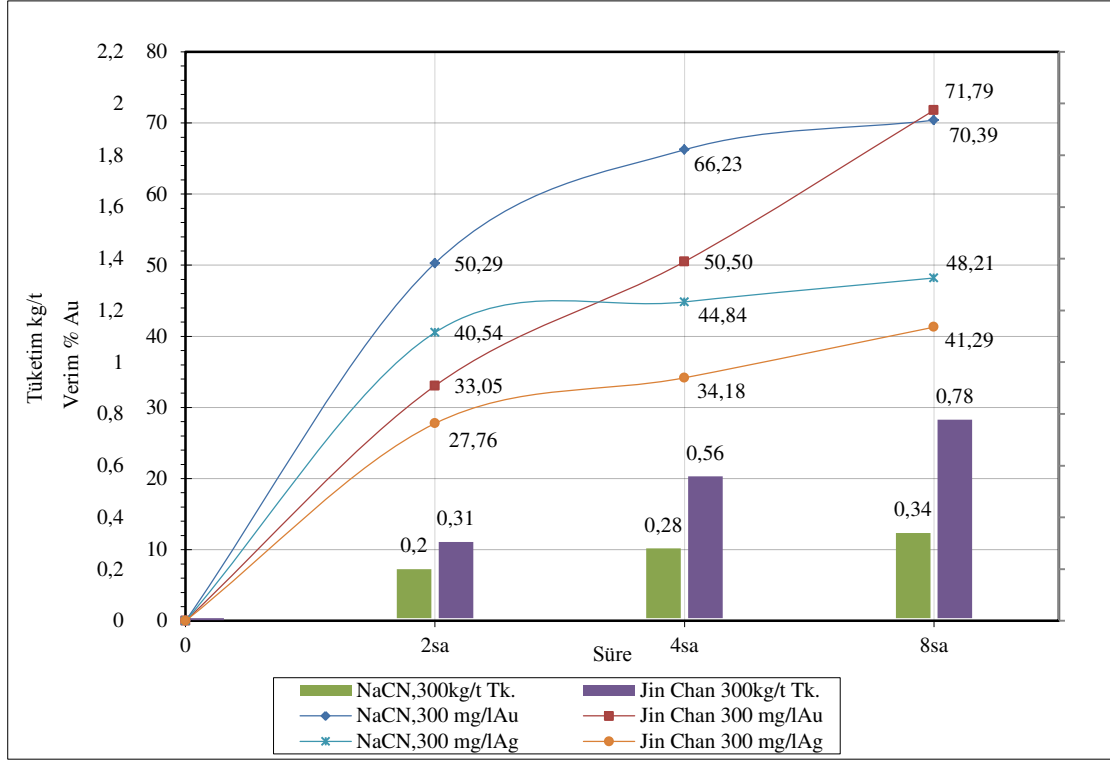
Şekil 4.16 Kaymaz cevheri %40 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



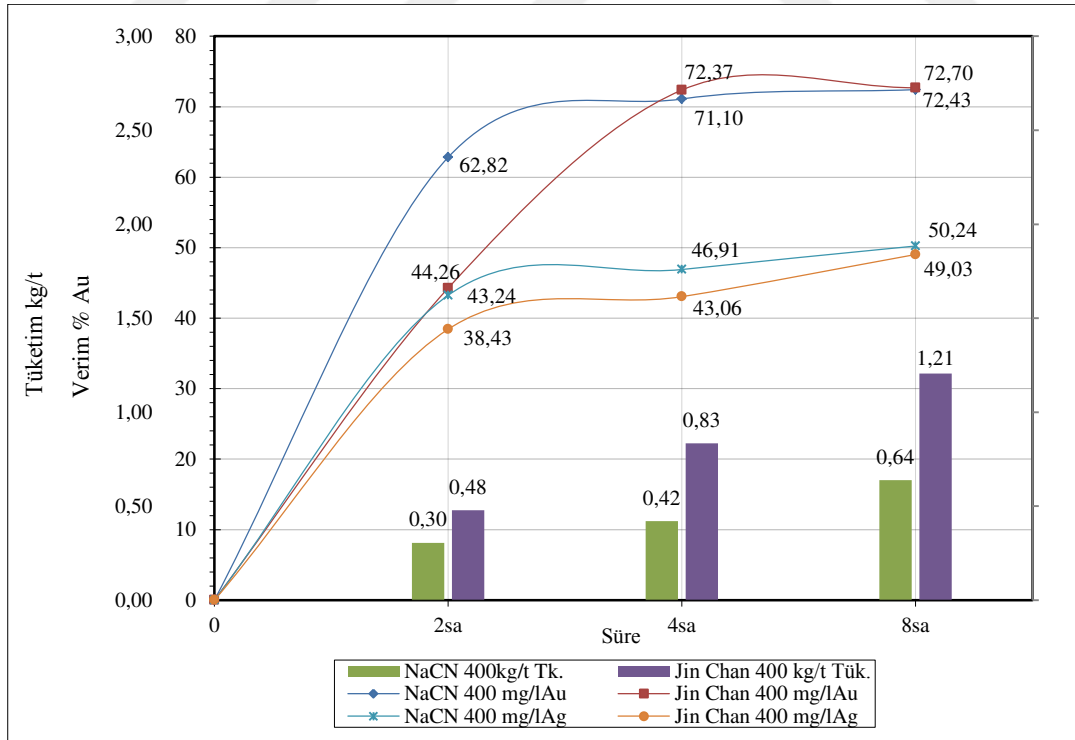
Şekil 4.17 Kaymaz cevheri %40 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



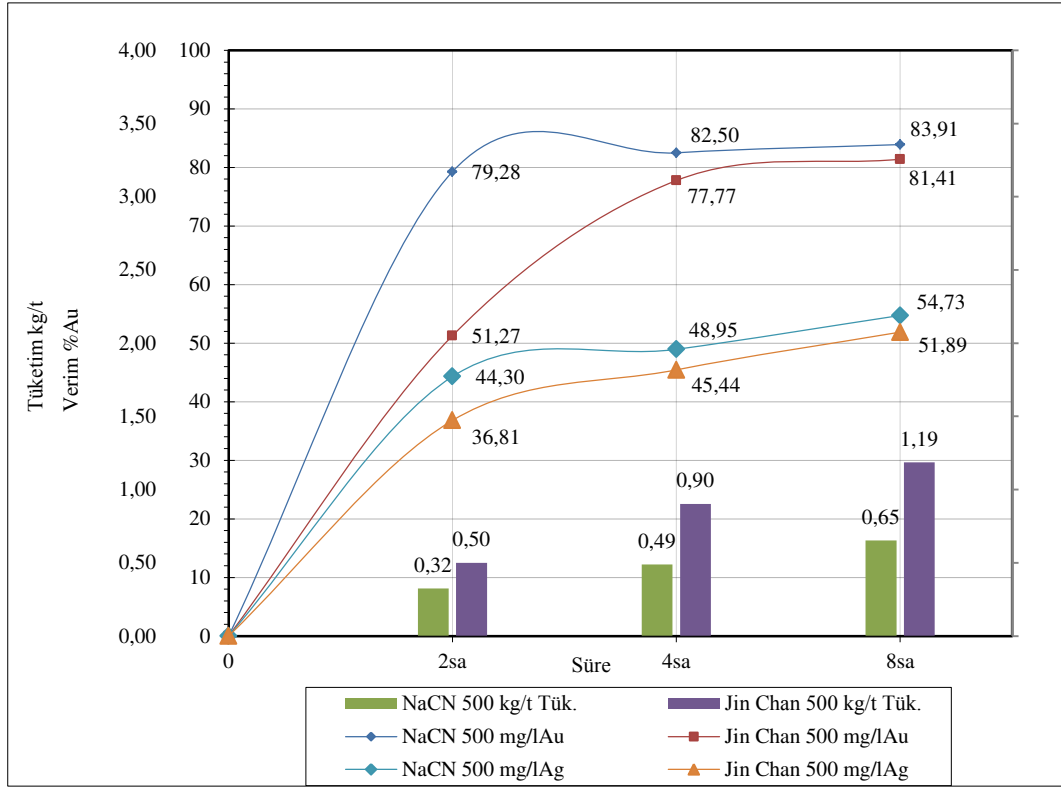
Şekil 4.18 Kaymaz cevheri %40 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



Şekil 4.19 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 300 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.



Şekil 4.20 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 400 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanım ve kimyasal tüketim grafiği.

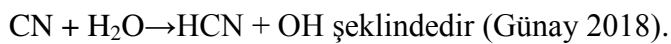


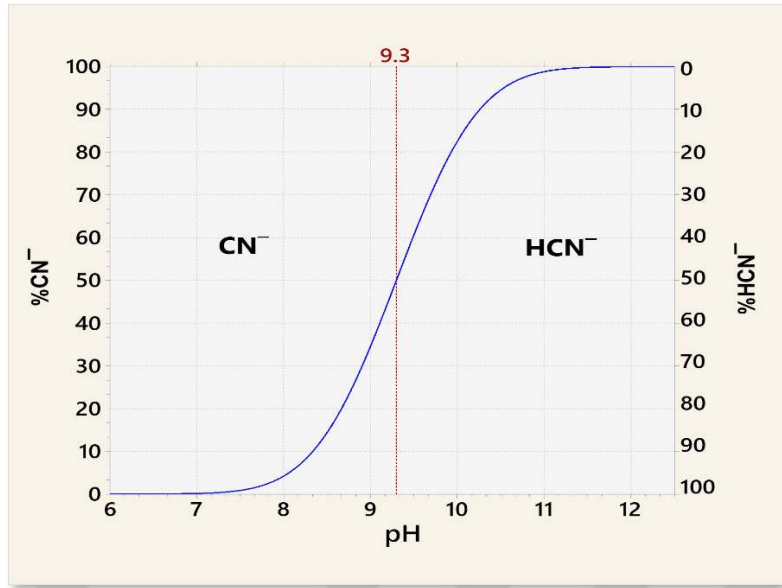
Şekil 4.21 Kaymaz cevheri %45 pülp ve 500 mg/l konsantrasyonda altın/gümüş kazanımı ve kimyasal tüketim grafiği.

4.4 pH Deneyi

Bu deneyde Jin Chan ve NaCN kimyasallarının farklı pH aralıklarında çözeltide kalan serbest siyanür miktarları karşılaştırılmıştır. Siyanür belli pH değerlerinde altını çözebilmektedir, örneğin pH değeri 10,5'in altında büyük bir bölümü hidrojen siyanüre dönüşmektedir. HCN'nün uçmasını engellemek için pH kontrol edilerek kireç ilavesi yapılmaktadır. Deneyde, pH 7, pH 9, pH 10 ve pH 11 değerleriyle, saf su oranı %55 ve %70'e göre kimyasal konsantrasyonu 300 mg/l ve 500 mg/l olacak şekilde parametreler belirlenmiştir (Şekil 4.23). Her iki saatin sonunda gümüş nitrat çözeltisiyle 10 ml alınan numune titrasyonu yapılarak serbest siyanür ölçümü yapılmıştır.

Siyanür suda hidrolize uğrayarak, moleküler hidrojen siyanüre (HCN) dönüştüğü için alkalinite de diğer bir önemli faktördür. Hidroliz reaksiyonu denklemi;





Şekil 4.22 Siyanürün pH'a bağlı grafiği.

pH 9.3'te siyanürün yarısı serbest, yarısı hidrojen siyanür (HCN) halindedir. Siyanür liçi testlerinde pH değerinin 10'un altına düşmesi durumunda meydana çıkacak hidrojen siyanür (HCN) gazının oluşmaması için kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve seyreltik hidroklorik asit HCl ile pH değeri 10.5 ile 11 arasında tutulması sağlanmıştır.

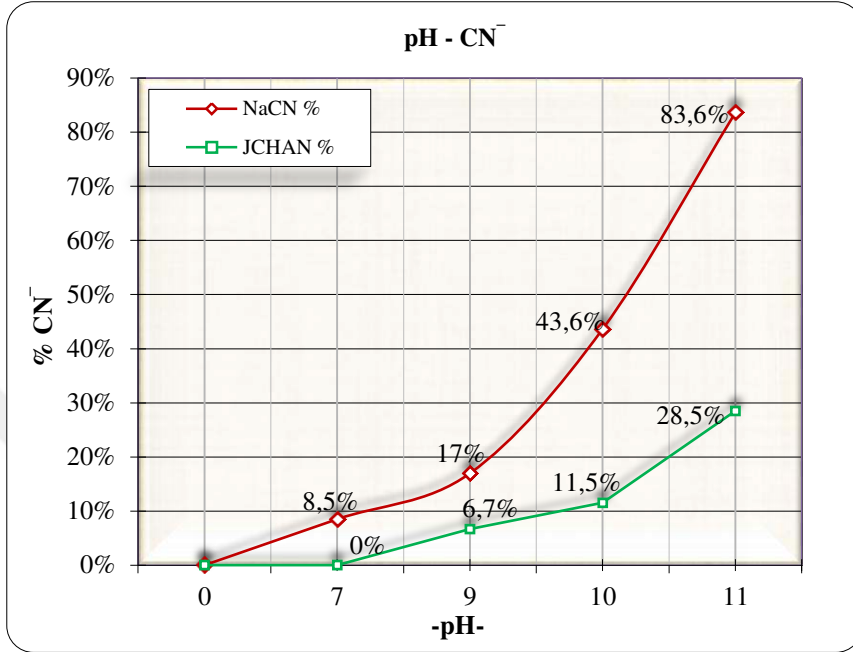
Siyanür liçi testleri sırasında düzenli süre aralıklarıyla pH metre (WTW Inolab pH 720 model) ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.9 pH deney düzeneği.

Yapılan deney sonucunda NaCN pH 7 olan saf suda, solüsyon içerisinde kalan serbest siyanür %8,5, pH 9 değerindeki saf suda %17, pH 10 değerinde %43,6 ve pH 11 değerinde %83,6 CN^- solüsyonda bulunmaktadır.

Jin Chan kimyasalı ise pH 7 oranında solüsyonda hiç serbest siyanür bulunmamakta, pH 9'da %6,7, pH 10'da %11,5 ve pH 11'de %28,5 oranlarında serbest siyanürün (CN^-) solüsyonda kaldığı görülmüştür (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 pH oranlarına göre solüsyonda kalan serbest siyanür (CN^-) grafiği.

4.5 Oksijensiz Ortamda Liç Deneyi

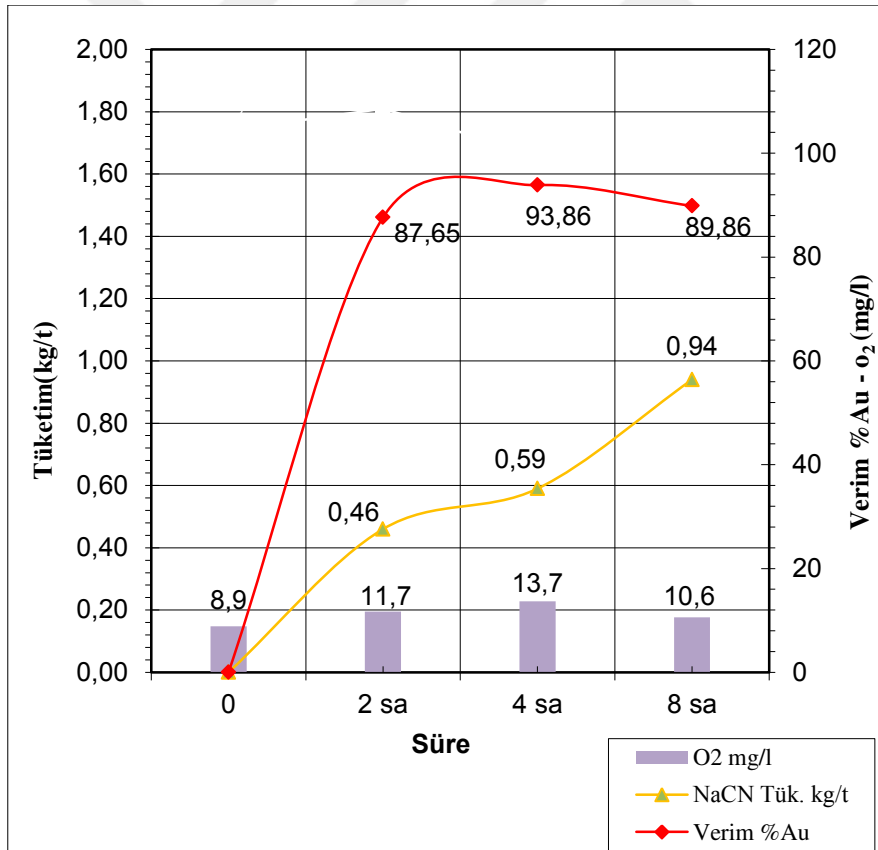
Jin Chan kimyasalının daha önceki çalışmalardaki moleküler yapısı incelendiğinde Çizelge 4.4'de yer aldığı şekilde yapısında oksijenin bulunduğu görülmektedir

Çizelge 4.4 Jin Chan Kimyasalının İçeriği (Beyuo vd. 2016).

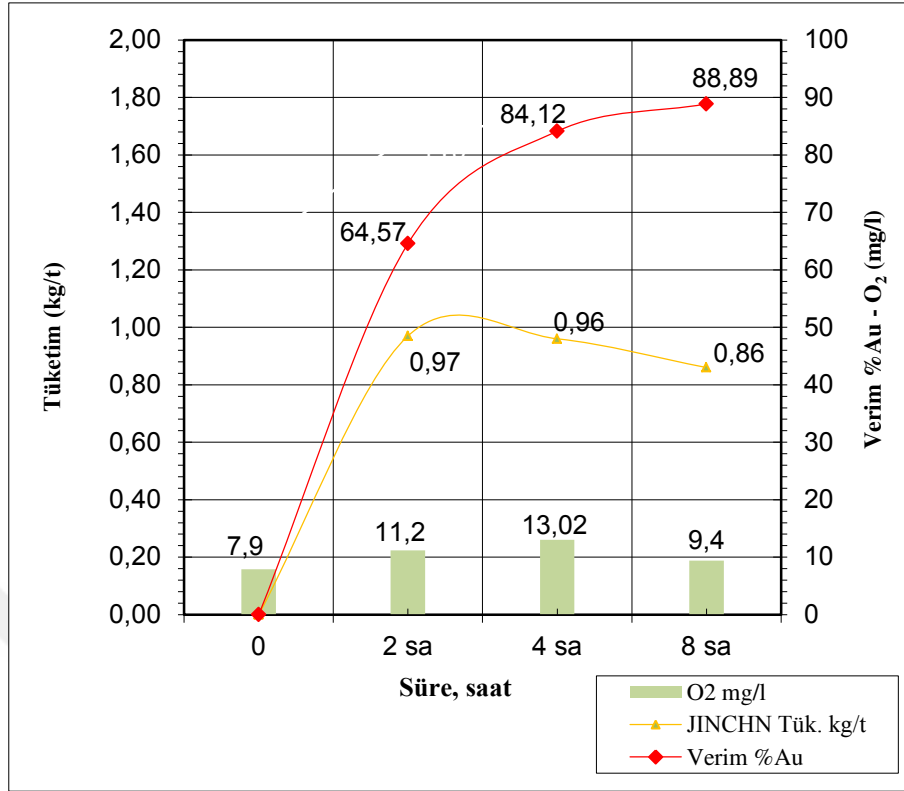
Element	Ağırlıkça yüzde,%
Karbon	22,04
Sodyum	38,3
Amonyak	15,42
Oksijen	22,92
Demir	0,96
Klor	0,36

Bu yüzden çeker ocaktaki liç deneylerinde oksijen kullanmadan liç işlemi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda elde edilen veriler grafiğe aktarıldığında, siyanürün dördüncü saatin sonunda kazanma veriminin düştüğü Jin Chan kimyasalın ise devam ettiği görülmüştür.

Çukuralan cevherine %30 katı-sıvı oranında ve 500 mg/l kimyasal konsantrasyonunda oksijensiz liç parametrelerinde deney yapılmıştır. Jin Chan kimyasalında altın kazanımı, ikinci saatte %64,57, dördüncü saatte %84,12 ve sekizinci saatte %88,89 olarak görülmüş, tüketim ise 0,86 kg/t olmuştur. Buna bağlı olarak siyanür ise oksijensiz ortamda altın kazanımı ikinci saatte %87,65, dördüncü saatte %93,86 ve sekizinci saatte %89,86 olmakta, tüketim ise 0,94 kg/t olmaktadır (Şekil 4.24). Oksijensiz ortamda Jin Chan kimyasalının daha az tüketim gerçekleştirdiği görülmüştür (Şekil 4.25).



Şekil 4.24 Oksijensiz ortamda siyanür liçi ile altın kazanımı ve tüketim grafiği.



Şekil 4.25 Oksijensiz ortamda Jin Chan liçi ile altın kazanımı ve tüketim grafiği.

Çizelge 4.5-4.6'da Kaymaz ve Çukuralan cevherleri ile yapılan çalışmaların karşılaştırma tablosu verilmiştir. Optimum sonuçlar kimyasal miktarı düşük ve katı oranı nispeten daha yüksek olduğu % 40 katı ve 300 mg/l sodyum siyanür ve Jin Chan oranlarında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Kaymaz cevheri karşılaştırmalı liç verimi tablosu.

	%30 300mg/l	%30 400mg/l	%30 500mg/l	%40 300mg/l	%40 400mg/l	%40 500mg/l	%45 300mg/l	%45 400mg/l	%45 500mg/l
	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim
NaCN	% 83,89	% 83,51	% 80,04	% 82,86	% 82,41	% 83,84	% 70,39	% 72,70	% 83,91
Jin Chan	% 91,96	% 92,04	% 89,43	% 90,89	% 84,01	% 87,89	% 82,73	% 85,24	% 88,43

Çizelge 4.6. Çukuralan cevheri karşılaştırmalı liç verim tablosu.

	%30 300mg/l	%30 400mg/l	%30 500mg/l	%40 300mg/l	%40 400mg/l	%40 500mg/l	%45 300mg/l	%45 400mg/l	%45 500mg/l
	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim	%Verim
NaCN	% 90,87	% 90,84	% 88,92	% 91,98	% 88,33	% 88,07	% 85,44	% 81,75	% 89,88
Jin Chan	% 91,96	% 92,04	% 89,43	% 90,89	% 84,01	% 87,89	% 82,73	% 85,24	% 88,43

4.6 Toksisite Deneyi

Jin Chan kimyasalı üreticisi kimyasalın doğa dostu olduğunu ve uzak doğuda yapılan deney çalışmalarında da toksik olmadığı vurgusu yapılmaktadır. Bu deneyde Jin Chan kimyasalı ile siyanürün toksisitesi ve bozundurma / detoks testleri karşılaştırılmıştır.

Ayrı paketler halinde hazırlanan Sodyum Siyanür ve Jin Chan kimyasallarının TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde Microtox Yöntemi'ne toksisite analizleri yaptırılmıştır. Her iki numunenin "oldukça çok toksit" oldukları belirtilmiş ve sonuçlar EC₅₀ konsantrasyonu ve toksisite sınıfı değerleri hazırlanarak Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Akut zehirlilik testi analiz sonucu.

Numune Adı / End. Hiz. No.	pH (Ayarlanmış)	"EC ₅₀ (%) (15.Dakika)	Toksisite Derecesi (sınıf)	***Sonuç/ Açıklama
NaCN Kimyasalı	8,321	0,3401	4	Oldukça Çok Toksit
Jin Chan	8,374	0,6755	4	Oldukça Çok Toksit

Çizelgede verilen sonuçlara göre; pH 8 oramında su fazına çekilerek gerçekleştirilen testlerde bakterilerin %50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı (EC₅₀) 15. dakikada siyanür testinde doz değeri 0,3401 iken, Jin Chan kimyasalının EC₅₀ doz değeri 0,6755 olduğu belirtilmektedir.

Analiz sonucu incelendiğinde, siyanürün Jin Chan kimyasalına göre yaklaşık iki katı oranında fazla toksik olduğu sonucuna varılmıştır.

4.7 Kimyasal Bozundurma / Detoks Testi

Serbest siyanür ve WAD (Zayıf Asitte Çözünebilir Siyanür) siyanür, INCO/SO₂ Hava yöntemi kullanılarak limit değerler altına indirilmektedir.

Siyanürün arıtılması için Kimyasal Oksitlenme prosesi olan SO₂/Hava prosesinde serbest ve WAD siyanür oksitlenir, demir siyanür çözünmeyen katı halinde çökelmektedir. Prosesde SO₂ verebilen sülfür kaynağı olarak Sodyum Metabisülfid kullanılarak siyanürün siyanata oksitlenmesi sağlanmaktadır. Bakır sülfat ise katalizör ve demir siyanür bileşiklerinin çöktürülmesi görevi görmektedir. INCO prosesinde, WAD siyanür bileşikleri sülfür dioksit (SO₂) ve hava karışımı ortamında, bakır sülfat (CuSO₄) katalizörü varlığında, kontrollü olarak kireç veya kostik soda ile pH= 8-10 arasında siyanata (OCN⁻) dönüştürülmektedir (Oleson 2003).

Siyanürün siyanata oksidasyonu:



Siyanürlerin çoğu sınıflandırmasının üç ana kategorisi vardır; serbest siyanürler, zayıf asit çözünebilir siyanürler (WAD'ler) ve güçlü asitte çözünebilir siyanürler (SAD'ler). Zayıf siyanür bileşikleri CN_{WAD} bileşiklerinin kompleks sabitleri küçük olduğu için, sulu ortamda iyonlaşır ve çevresel açıdan önemli sayılacak serbest siyanür konsantrasyonları oluştururlar (Logsdon vd. 1999). Çevre sağlığı açısından atık barajlarındaki CN_{WAD} < 50 ppm olmalıdır (Oleson 2003).

Deneyde, CN_{WAD} bileşiklerinin SO₂ gazı varlığında üç farklı Sodyum Metabisülfid değerinde bozundurmaya tabi tutulmuştur. TÜBİTAK tarafından yapılan toksisite test sonuçlarına göre bozundurma yani detoks süreçleri incelenmiştir.

Koza Altın İşletmeleri Kaymaz Laboratuvarında gerçekleştirilen testte, % 45 pülp oranı ve 300 mg/l konsantrasyonda 8 saatlik liç işlemi sonunda belirli oranlarda, Sodyum

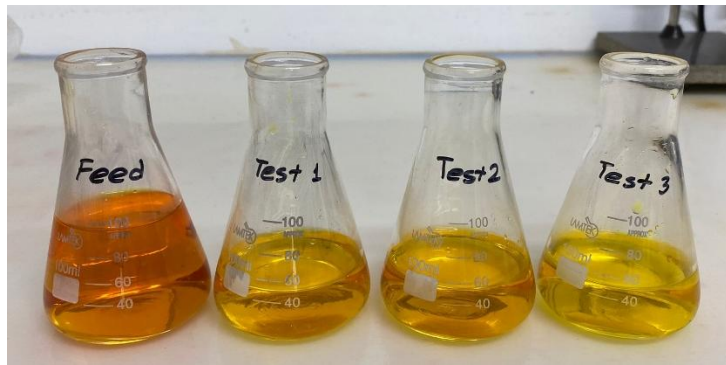
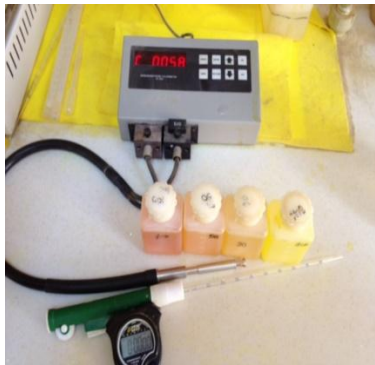
Metabisülfıt ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ve Bakır Sülfat (CuSO_4) kullanılarak metal siyanür oranları karşılaştırılmıştır. Kaymaz cevhere uygulanan testin parametreleri Çizelge 4.7’de belirlenmiştir.

Çizelge 4.8 Kaymaz cevheri detoks testi parametreleri.

Parametre	Değer
Sodyum Metabisülfıt ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (l/sa)	200, 300, 400
pH	9,5 – 9,8
Süresi (dak)	40
Bakır Sülfat (CuSO_4) (l/sa)	70
Oksijen (bar)	0,5
Karıştırıcı (dev/dak)	640

Siyanürün HCN olarak uçmasını en aza indirmek için pH 9,5 üzerinde veya yüksek oranda alkali tutulmuştur.

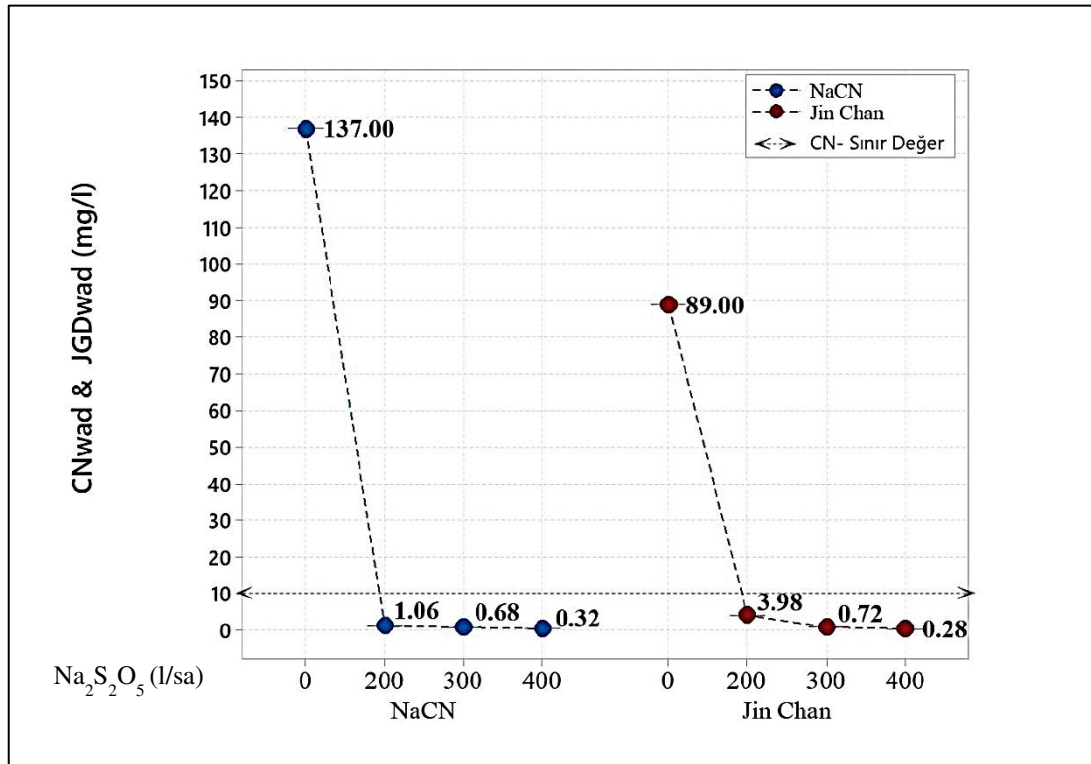
Birinci testte sodyum siyanür kullanılarak, Sodyum Metabisülfıt ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 200 lt/sa olarak belirlenmiştir. Beslemedeki serbest siyanür değeri 120 mg/l, CNwad değeri ise 137 mg/l dir. Detoks sonrası final CNwad 1.06 mg/l olduğu görölmüştür. Aynı kimyasal ve koşullarda Sodyum Metabisülfıt ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 300 lt/sa için yapılan ikinci deneyde CNwad değeri 0,68 mg/l olmuştur. Sodyum Metabisülfıt ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 400 lt/sa için yapılan üçüncü deneyde ise CNwad değeri 0,32 mg/l kadar indiği görölmektedir.



Resim 4.10 Serbest siyanür ve CNwad test örnekleri.

Dört, beş ve altıncı testler Jin Chan kimyasalı kullanılarak yapılmıştır. Siyanür test koşullarıyla aynı parametrelerde yapılan deneyde, serbest JGD (JGDfree) değeri 95 mg/l, JGDwad değeri ise 89 mg/l olduğu görülmüştür.

200 litre Sodyum Metabisülfite kullanılarak yapılan detoks işlemi sonunda JGDwad değeri 3,98 mg/l olmaktadır. 300 ve 400 litre Sodyum Metabisülfite kullanılması sonucu sırasıyla JGDwad değerlerinin 0,72 mg/l, 0,28 mg/l olarak sonuçlanmaktadır.



Şekil 4.26 Serbest siyanürün, zayıf siyanür bileşiklerine detoksifikasyonu test grafiği.

Yapılan test sonuçları Şekil 4.26'daki grafiğe aktararak incelenmiştir. Grafikte metal siyanür oranı (CNwad) Jin Chan kimyasalında daha düşük olmasına rağmen, 200 litrelik Sodyum Metabisülfite, Jin Chan kimyasalının daha zor bozundurulduğu görülmektedir (Şekil 4.26).

Sodyum Metabisülfite miktarları artırılarak siyanürle karşılaştırması incelenmiş olup, Jin Chan kimyasalının siyanüre göre yüksek oranlarda sodyum metabisülfite eklendiğinde tesis verilerine (CNwad<1mg/l) yaklaştığı görülmektedir.

Laboratuvar ortamında yapılan bu testler tesisi yansıtmamaktadır. Tesiste sürekli bir akış olmasından dolayı, laboratuvar ortamında sabit bir numune alımı nedeniyle tesis verileriyle karşılaştırılmasında sapmalar olabilecektir.

Ovacık ve Kaymaz cevher numunelerine uygulanan siyanür ve Jin Chan liç işlemi için 49 adet liç testi yapılmıştır. Çizelgelerde Siyanür ve Jin Chan liçi parametrelerine göre uygulanan liç testleri görülmektedir. Siyanür liçlerinde çözelti pH değeri 10,5-11 aralığında ölçüldüğünde sodyum siyanür eklenmiştir.

Numune eklendikten sonra periyodik süreler ile pH ölçümleri yapılarak pH değeri 10,5 ile 11 arasında tutulmuştur. Ölçümler esnasında kayıpların önlenmesi için problemler ölçüm sonrası ince pipetle yıkanma işlemine tabi tutulmuştur. Bu yüzden sıvı miktarlarında artma veya azalma meydana gelmiştir. Sıvı miktarlarındaki artış liç işleminde seyrelemeye neden olduğu için hesaplamalarda çekilen solüsyon ve sıvı artışları dahil edilerek hesaplanmıştır.

Altın kazanım verimlerine bakıldığında liç süresinin artarak değişimi sırasında 4 saat sınırında düşüş ve sonrasında süre arttıkça kazanım veriminde artış gözlenmiştir. Siyanür liçi altın kazanım verimlerine bakıldığında %40 katı/sıvı oranının hepsinde ve % 45 katı/sıvı 500 mg/l konsantrasyonda Jin Chan liçine göre daha verimli olduğu görülmektedir. Jin chan liçinde Çukuralan cevheri için, altın kazanımı %30 katı/sıvı oranının 300 mg/l, 400 mg/l ve 500 mg/l konsantrasyonlarında, %45 katı/sıvı oranının 400 mg/l konsantrasyonlarında siyanüre göre verimli olmaktadır.

Kaymaz cevheri için ise %30 katı/sıvı oranında 500 mg/l, %45 katı/sıvı oranında 300 mg/l, konsantrasyonlarında siyanüre göre verimli olmaktadır. Jin Chan liçinde altın kazanımı verimlerine bakıldığında, gümüş kazanım değerleriyle paralellik gözlenmiştir.

Jin chan kimyasalıyla yapılan altın kazanımı liç deneylerinde, siyanüre göre daha fazla kimyasal tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Jin Chan kimyasalının siyanüre göre toksisitesi ve detoksifikasyonu da araştırılmış ve bu konuda deneyler yapılmıştır.

Yapılan deney ve analiz sonuçlarına göre TÜBİTAK tarafından sunulan toksisite sonuçlarında her iki kimyasalın oldukça çok toksik olduğu fakat öldürücü doz miktarlarında JGD'nin siyanürden daha az toksik olduğu görülmektedir. Liç sonrası açığa çıkan serbest siyanürün yasal sınırlar altına çekilmesi, metal iyonların çöktürülmesi işlemi için detoks deneyleri de yapılmıştır. Deneylerden elde edilen bulgulara göre Jin Chan kimyasalının, üretimde kullanım miktarı fazla olduğu ancak siyanüre göre daha zor bozundurulabileceği görülmektedir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Siyanür prosesi cevherden altın ve gümüş kazanımında endüstriyel ölçekte en yaygın kullanılan yöntemdir. Ancak, refrakter karakterli yani sülfür içeren cevherlerden kıymetli metallerin kazanılmasında karşılaşılan zorluklar, siyanürün toksik bir madde oluşunun insanlarda yarattığı endişeler ve siyanürlü artıkların çevreye verilmesinde uyulması gerekli olan kurallar prosesin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada, siyanürden daha az toksik ya da toksik olmayan kimyasalların kullanılabilirliği üzerinde yoğunlaşmıştır.

Jin Chan kimyasalı hakkında literatürde yapılan incelemelerde moleküler yapısında oksijenin varlığından bahsedilmekte olup, oksijensiz ortamda yapılan liç deneylerinde Jin Chan kimyasalının altın kazanımının sürekli arttığı, siyanür liçinde ise dördüncü saatten sonra altın kazanımının durduğu gözlenmiştir. Kimyasal tüketimlerinde, Jin Chan tüketimi dördüncü saatin sonunda azaldığı ve sekizinci saatin sonunda ise siyanürden daha az tüketim gerçekleştirdiği görülmektedir. Oksijensiz liç deneyi siyanürle karşılaştırma amacıyla yapılmıştır. Jin Chan kimyasalıyla yapılan liç deneylerinde oksijen kullanımına gerek duyulmadığı gözlemlenmiştir.

Hidrometalurjik yöntemin kullanıldığı çalışmalarda; Çukuralan cevheriyle yapılan Jin Chan liçi çalışmalarında en iyi parametrelere %40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 90,89 verimle altın kazanılmıştır. Burada Jin Chan tüketimi 0,73 kg/t olmuştur. NaCN ile çalışmada ise en iyi parametrelere %40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılmış ve altın kazanım oranı % 91,89 olmuştur. NaCN tüketimi ise 0,31 kg/t olarak hesaplanmıştır.

Kaymaz cevheriyle yapılan Jin Chan liçi çalışmalarında en iyi parametrelere % 40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 81,55 verimle altın kazanılmıştır. Jin Chan tüketimi 1,27 kg/t olmuştur. NaCN ile liçde ise en iyi parametrelere % 40 katı oranı, 300 mg/l kimyasal miktarı ile ulaşılarak % 82,86 verimle altın kazanımı gerçekleşmiştir. NaCN tüketimi 0,95 kg/t olarak hesaplanmıştır.

Liç sonuçları 8. saatin sonunda elde edilen bulgular olup, 12. saatin sonunda %90 verimin üzerine çıkılacağı kuvvetle muhtemeldir. Jin Chan ve sodyum siyanürün tüketim mikyatlarına bağlı maliyet hesapları sonuçları ise Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Çukuralan cevheri, NaCN ve Jin Chan tüketime göre maliyet tablosu.

Kimyasal	Cevher Tenörü (g/t)	% Verim	Optimum (%40, 300mg/l) Parametrelerde Tüketim (kg/t)	Kimyasal Ton Fiyatı (\$)	Maliyet(\$)
Jin Chan	4,743	% 90,89	0,72	2740	1973
NaCN	4,743	% 91,89	0,31	2645	820

Çukuralan cevherinden 0,00448 kg/t altın kazanımında Jin Chan kimyasalının maliyeti ton başına 1 973 \$ olmaktadır. NaCN kimyasalının 0,00458 kg/t altın kazanımında maliyeti 820 \$ olmaktadır.

Çizelge 5.2 Kaymaz cevheri, NaCN ve Jin Chan tüketime göre maliyet tablosu.

Kimyasal	Cevher Tenörü (g/t)	% Verim	Optimum (%40, 300mg/l) Parametrelerde Tüketim (kg/t)	Kimyasal Ton Fiyatı (\$)	Maliyet \$
Jin Chan	5,354	% 81,55	1,27	2740	3480
NaCN	5,354	% 82,86	0,95	2645	2513

Çukuralan cevherinden 0,00455 kg/t altın kazanımında Jin Chan kimyasalının maliyeti ton başına 3 480 \$ olmaktadır. NaCN kimyasalının 0,00456 kg/t altın kazanımında maliyeti 2 513 \$ olmaktadır.

Kimyasal bozundurma süreçlerindeki maliyetler yaklaşık olarak tüketime göre hesaplanmış olup, doğal bozundurma sürecinde üretim maliyetleri değişebileceğinden, detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Açığa çıkan serbest siyanürün yasal sınırlar altına çekilmesi için yapılan detoks deneyinde Jin Chan kimyasalının formül yapısında oksijenin varlığı SO₂/Hava detoksifikasyon sürecini olumsuz etkilemiştir. Bu durumun liç işlemi sonrası oluşan kompleks yapının oksijeni tüketememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla oksijenin varlığı, bozundurma sürecinde siyanürü tutmasına sebep olurken daha kararlı bir yapı haline getirmektedir.

Çalışmada, Jin Chan kimyasalının oksitlenerek siyanata dönüştürülmesinde kullanılan sodyum betabisülfidin fazla kullanılması maliyeti arttıran bir unsurdur. Ancak, literatürdeki çalışmada atıkta Jin Chan kimyasalının serbest siyanür değerinin düşük olması ve pH deneylerinde alkali ortamda serbest siyanür değerinin düşük olması doğal olarak daha kolay bozundurulabileceği düşündürmektedir. Bu neden ile Jin Chan kimyasalının atık barajında doğal bozundurma süreci denenebilir.

6. KAYNAKLAR

- ABD Çevre Koruma Ajansı, 1993, Resmi Gazete, 25 Ocak 1993, 21476.
- Ahmad W A, 2007, The Use Of Thermophilic Organism For The Recovery Of Gold And Copper From Grade Ore, Vote No: 74245, 456p.
- Akkaya S, 2015, Açık Ocak İşletmesi Kırma Eleme Tesisi ve Yığın Liç Projesi, Bakırtepe Altın Madeni Revize Proje Tanıtım Dosyası, SAVRA Rapor No: 103040, 166s.
- Alıç A, 1985, Dünyada ve Türkiye’de Altın Türkiye’de Para Altın Fiyatlarında Bir İnceleme, Maliye ve Gümrük Bakanlığı Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Yayını, 268s, Ankara.
- Anonim 2010a, Altının Fiziksel Özellikleri, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı Veri Tabanı (ENSDF), Avusturya.
- Anonim 2010b, Manisa İli Maden ve Enerji Kaynakları, Maden Tetkik ve Arama (MTA), Ankara.
- Anonim 2019, Elementlerin Bilimsel Verileri, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TUBİTAK), 2019, Ankara.
- Anonim 2020a, Türkiye’nin Altın Potansiyeli Rezervi ve Üretimi, Altın Madenciler Derneği (AMD), Ankara.
- Anonim 2020b, Türkiye’deki Altın Madenleri 2020, Altın Madenciler Derneği (AMD), Ankara.
- Anonim 2021a, Türkiye’nin Altın Üretimi, Türkiye’nin Altın İthalatı, Altın Madenciler Derneği (AMD), Ankara.
- Anonim 2021b, Türkiye Madencilik Tarihi, Maden Tetkik ve Arama (MTA), Ankara.
- Aydın O (Ed.), 2013, Madencilik ve Tarım Bir Arada Efemçukuru Altın Madeni, Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, 108s, Ankara.
- Aydın O (Ed.), 2018, Türkiye’de Altın Madenciliği, Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, 200s, Ankara.

- Aydın Ş B, Aydın D, Gül A, 2020, Refrakter Olmayan Sülfürlü Altın–Gümüş Cevherinin Flotasyon Davranışının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9, 1039-1053.
- Barış S, 2012, Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Metallerin Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, 126s, İstanbul.
- Bayoğlu Y, 2013, Eskişehir-Kaymaz Epitermal Altın Cevherleri Üzerinde Çevreye Duyarlı Nitelikli Ön Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İstanbul.
- Beyuo M, Blankson G, Asamoah R, 2016, A Comparative Study of Sodium Cyanide and Jinchuan TM Gold Leaching Reagents, August 2016, UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference, Ghana, 195-199.
- Ceylan H, Özkahraman H T, 2000, Madencilik Faaliyetlerinde Çevresel Planlama ve Uygulanabilecek Doğaya Yeniden Kazandırma Alternatifleri, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 May 2000, Zonguldak, 91-100.
- Çelik H, Mordoğan H, İpekoğlu Ü, 1997, Siyanürlü Altın Üretim Tesisi Atıklarını Arıtma Yöntemleri, Madencilik Dergisi Yayınları, 36, 14s, İzmir.
- Dağlı F, 2019, Altın Cevheri Zenginleştirme Tesisindeki Çöktürme Havuzu Artığının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitirme Tezi, 61s, İzmir.
- Demir C, Yılmaz A O (Ed.), 2006, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 369s, Ankara.
- Emiroğlu A, 2021, Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu, TMD Rapor No:25, 126s.
- Gökelma M, Birich A, Stopic, Friedrich B, 2016, A Review on Alternative Gold Recovery Reagents to Cyanide, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 4, 8-17.

- Günay A, 2018, İleri Oksidasyon Ders 11 Siyanür, Balıkesir Üniversitesi Yayınları, 16s, Balıkesir.
- Güneş N, Akçıl A, 1997, Altın Kazanımında Kimyasal Proseslerin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 389-392.
- Gürler Z, 2019, Karadere Altın Yatağı (İvrindi/Balıkesir): Batı Anadolu'da Sıyırılma Fayları Kontrolünde Gelişen Düşük Sülfidasyonlu Epitermal Oluşumlara Bir Örnek, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, Balıkesir.
- Habashi F, 2005, A Short History of Hydrometallurgy, Laval University, Metallurgical, and Materials Engineering, 79, 15-22.
- Hacıfazlıoğlu H, 2017, Öğütme Teknolojileri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 145s, İstanbul.
- Hilson G, Monhemius A J, 2006, Alternatives to cyanide in the gold mining industry: What prospects for the future? Journal of Cleaner Production, 14, 1158-1167.
- Helmenstine A M, 2019, Chemical and Physical Properties of Gold, ThoughtCo, 129, Article Number 606539, 117p.
- İpekoğlu Ü, Tanrıverdi M, 1994, Cevher Hazırlama, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 238s, İzmir.
- İzmirlioğlu A, 2001, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Değerli Metaller Çalışma Grubu, DPT Rapor No: 2627, 94s.
- Jones S R, Fleischer M, 1969, Gold in Minerals and the Composition of Native Gold. Washington US Department of the Interior, Geological Survey Circular 612, 24 p, Washington.
- Keskin O, 2018, Altın Ocağı Kapasite Artışı Proje Tanıtım Dosyası, Mitto Danışmanlık Rapor No:319, 475s.
- Koçak S, Dünder Z D, Demirci, Cander B, Doğan H, 2009, Siyanür Zehirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Acil Tıp Olgu Sunumları Dergisi, 1, 11-14.

- Kahraman İ, Kansız H, Dursun A, Yılmaz H, Erçin A.İ, 1984, Gümüşhane Yöresinin Jeolojisine Ve Cevherleşmesine Alt Jeoloji Raporu, MTA Rapor no: 1951, 158s.
- Kılıçhan Ş, Gündüz E, 2017, Lapseki Altın ve Gümüş Madeni Projesi, TÜMAD Rapor No: 1670300, 227s.
- Kılıçhan Ş, Gündüz E, 2017, İvrindi Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Projesi İlave Bilgi Paketi - İvrindi Altın ve Gümüş Madeni Projesi, TÜMAD Rapor No: 1670300, 243s.
- Kuyucak N, Akçıl A, 2013, Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes, Minerals Engineering, 50–51, 13-29.
- Küçük K (Ed.), 2018, Türkiye’de Altın Madenciliği, Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, Mayeb Yayınevi, 200s, Ankara.
- Köse M, 2019, Yaşam için Maden II. Baskı, Başak Yayınevi, 156s, İzmir.
- Koç Ş, 2017, Maden Yatakları Ders Notları 1, Ankara Üniversitesi, 66s, Ankara.
- Logsdon M J, Hagelstein K, Mudder T I, 1999, Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi, International Council on Metals and the Environment (ICME), 44p, Canada.
- Manning T J, Kappes D W, 2016, Gold Ore Processing, Second Edition, Project Development and Operations, 413-428.
- Marsden, J O, House C L, 2006, The Chemistry of Gold Extraction. 2nd Edition, 680p, USA.
- Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015, Resmi Gazete, 15 Temmuz 2015, 29417.
- McNutt P M, Hamilton T L, 2015, Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents, Academic Press, 2, 535-555.
- Monhemius J, Hilson G, 2015, Alternatives To Cyanide In The Gold Mining Industry: What Prospects For The Future? 16p, London.
- Mudder T.I, Botz M, 2008, Siyanür Ve Toplum Kritik Bir İnceleme, Bilimsel Madencilik Dergisi, 47, 27-42.
- Newman P, Meader N, Liang J, 2020, Metals Focus Gold Focus, 104p, London.

- Noller B N, Neil B, Noonan K, Breuer P L, 2008, Leading Practice Sustainable Development Program For The Mining Industry Cyanide Management, Commonwealth of Australia, 107p, Australia.
- Oleson, J L, 2003, Investigation And Development Of A Mathematical Model For The Oxidation Of Cyanide İn The INCO SO₂/O₂ Process, University of Alaska Fairbanks, İnstitute of Science, 75p, Alaska
- Özkoçak M O, 1993, Hatay Horst Ve Graben Yapısının Âmanos Dağları Altın Yatak ve Zuhurları, JMO, 42, 52-59.
- Önel Ö, 2011, Altın Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Örnek Bir Uygulama, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İzmir.
- Polat M, 2013, Altın Fiyatını Etkileyen Faktörlerin Zaman Serisi Analiziyle Tespiti, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Erzurum.
- Reuters T, 2018, Gold Market Primer Mine Production, World Gold Council, 7p, ABD.
- Sayın, Z E, 2010, Altın Konsantresinden Doğrudan Liç İle Altın Eldesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 188s, İzmir,
- Sezener A, 2016, Öksüt Altın Madeni Projesi Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi Teknik Olmayan Özet, Öksüt Madencilik Rapor No: 47880, 32s.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004, Resmi Gazete, 31 Aralık 2004, 25687.
- Şahiner M, 2019, Madencilik Sektörüne Ait Temel Ekonomik Göstergeler, MTA, 99s, Ankara.
- Temur S, 2000, Metalik Maden Yatakları, Nobel Yayınları, 285s, Ankara.
- Ünal İ H, Tuncel S, Yoleri B, Arslan M, 2016, Türkiye’de ve Dünyada Altın, MTA, 35s, Ankara.
- Yıldız N, 2010, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme - Cilt 1, Ertem Yayınları, 410s, Ankara.
- Yıldız N, 2022, Altın Madenciliği 1, Ertem Yayınları, 55s, Ankara.

Yılmaz E, Yazıcı E Y, Celep O, Deveci H, 2019, Liç Atıklarından Siyanürün Geri Kazanımı Yöntemleri, 58(1), 53- 71.

Yücel M, Yücel E, 2019, Langmuir, Freundlich, Temkin And Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies Removal Of Silver From Aqueous Solution By The Mint Extract, Biological Diversity and Conservation, 708, 119-124.

Yücel M B, 2020, Dünyada ve Türkiye’de Altın, MTA, 42s, Ankara.

İnternet Kaynakları

- 1- https://en.wikipedia.org/wiki/Gold_cyanidation#cite_note-2, 23.11.2021.
- 2- <https://www.gold.org/about-gold/gold-supply/gold-mining>, 23.11.2021.
- 3- <https://www.statista.com/statistics/605661/distribution-of-gold-reserves-worldwide-by-select-country/>23.11.2021.
- 4- <https://abcdust.net/the-top-10-biggest-gold-mines-in-the-world/>23.11.2021.
- 5- http://kozaaltin.com.tr/upl/Koza%20Alt%C4%B1n%20Yat%C4%B1r%C4%B1mc%C4%B1%20%C4%B0li%C5%9Fkileri%20Raporu_01%20Ocak31%20Aralık%202020.pdf, 23.11.2021.
- 6- <https://www.pomzaexport.com/tr/product/gold>, 23.11.2021.
- 7- <https://www.tuprag.com.tr/kisladag-altin-madeni/>,23.11.2021.
- 8- <https://www.gumustasmaden.com.tr/tr/nigde-bolkar-madeni.html>, 23.11.2021.
- 9- <https://www.yildizlarsssholding.com.tr/yildiz-bakir-madencilik>, 23.11.2021.
- 10- <http://www.marbleport.com/madencilik-kulturu/331/cevher-zenginlestirme-yontemleri>, 23.11.2021.
- 11- <https://www.911metallurgist.com/blog/gold-extraction-recovery-processes>, 23.11.2021.
- 12- <http://mine-engineer.com/mining/minproc/MercAmal.htm>, 23.11.2021.
- 13- <https://reliefweb.int/report/hungary/report-international-task-force-assessing-baia-mare-accident> 23.11.2021.
- 14- <http://www.gxshgk.com>, 23.11.2021.

- 15- <https://earth.google.com/web/search/Kaymaz,+Koza+Alt%c4%b1n+%c4%b0%c5%9fletmeleri+-+Kaymaz+%c4%b0%c5%9fletmesi,+Sivrihisar>,
23.11.2021.
- 16- <http://www.kozaaltin.com.tr> 2013, 23.11.2021.

