

**ALTIN YIĞIN LIÇI PROJESİNDE FARKLI KIRMA  
BOYLARININ VERİMLİLİK VE GEÇİRİMLİLİK  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF GOLD RECOVERY AND  
PERMEABILITY PERFORMANCE BY DIFFERENT CRUSH  
SIZES IN GOLD HEAP LEACH PROJECT**

**EMRE ERKAN**

**PROF. DR. A. HAKAN BENZER**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2015

**Emre ERKAN**'ın hazırladığı “ **Altın Yığın Liçi Projesinde Farklı Kırma Boylarının Verimlilik ve Geçirimsizlik Performansının İncelenmesi** ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI** ‘nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali İhsan AROL  
Başkan

.....

Prof. Dr. A. Hakan BENZER  
Danışman

.....

Prof. Dr. İsmail GİRGIN  
Üye

.....

Doç.Dr. Abdullah OBUT  
Üye

.....

Yrd.Doç.Dr. Hakan DÜNDAR  
Üye

.....

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

Prof. Dr. FATMA SEVİN DÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerinin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././2015

EMRE ERKAN

## ÖZET

# ALTIN YIĞIN LIÇİ PROJESİNDE FARKLI KIRMA BOYLARININ VERİMLİLİK VE GEÇİRİMLİLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Emre ERKAN

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Hakan BENZER

Ağustos 2015, 96 sayfa

Altın birim fiyatının artması ile birlikte geçmişte işletilmesi ekonomik olmayan düşük tenörlü cevherlerin işletilmesi gündeme gelmiştir. Düşük tenörlü ve yüksek rezerve sahip cevherlerin işletilebilmesi yığın liçi prosesi ile mümkün olabilmektedir.

Yığın Liçi prosesi, cevheri geçirimsiz bir yüzey üzerinde çözücü çözelti ile ıslatarak yığının içerisindeki değerli metallerin çözeltilmeye alınarak işlenmesidir. Hazırlıklı ve hazırlıksız gibi değişik uygulamaları da mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan yığın liçi yönteminde , cevher kırma işlemi ile istenilen boyuta indirilir ve önceden hazırlanmış geçirimsiz yüzeye (plastik, jeotekstil gibi) serilir. Damlama borulama sistemi kullanılarak çözelti üstten verilir. Yığının üstünden süzülürken değerli metalleri bünyesine alan çözelti yığının altındaki toplayıcı borular vasıtasıyla çözelti yüklü çözelti havuzuna alınır oradan da işleme tesisine gönderilir. Öğütme gibi ilk yatırım ve üretim maliyeti yüksek olan bir proses kullanılmadığı için düşük tenörlü cevherde uygulanabilirliği ekonomik olmaktadır. Kırma boyunun liç verime ve yığın geçirimliliğe etkisi araştırılmak üzere 4 farklı test gerçekleştirilmiştir.

- İnce boy şişe çevirme testleri
- İri boy şişe çevirme testleri
- Kolon testleri
- Geçirimsizlik testleri

Bu çalışmanın ilk aşamasında, açık ocağın değişik bölgelerinden alınan üç farklı kompozit cevher, üç farklı boya kırılarak hazırlanmıştır. Toplamda elde edilen dokuz örnek değişik çaptaki dokuz ayrı kolona yerleştirilip liç testi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, liç işlemi bittikten sonra kolondaki atık malzeme yıkanıp geçirimsizlik testi yapılmıştır.. Bu test ile yığın liçinde cevherin kendi ağırlığından dolayı sıkışma senaryosu test edilmeye çalışılmıştır.

Her iki aşamadan elde edilen veriler ışığında, ilk olarak kırma boylarında altının veriminin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sonraki aşamada ise elde edilen geçirimsizlik verileri sayesinde yığın yüksekliğinin kaç metre olması gerektiği araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Liç prosesi, yığın liçi, altın kazanımı,

## **ABSTRACT**

# **AN INVESTIGATION OF GOLD RECOVERY AND PERMEABILITY PERFORMANCE BY DIFFERENT CRUSH SIZES IN GOLD HEAP LEACH PROJECT**

**Emre ERKAN**

**Master of Science, Department of Mining Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. A. Hakan BENZER**

**Agust 2015, 96 pages**

Depending on the increasing gold prices, low grade gold whose has not extracted by economically in the past become the main topic of conversation. It is possible that ore which has low grade and high reserve can be extracted by heap leach process.

Heap Leach is a process which consisted of stacking the ore on the impermeable surface and wetting by the solution. It can be applied with crushed ore and run of mine ore which is called dump leaching. In the common leaching method, ore is crushed to the targetted size and stacked on the impermeable surface such as plastic, geotextile etc. Solution is applied by drip emitters. During the percolating of solution to the bottom, soluble metals can be transferred the aqueous form. Solution is collected by collector pipes and sent to pond. Then pregnant solution is sent to process facility. There is no grinding costs in heap leaching so operating cost can be lower. Four tests was executed for investigate effects of different crush size on heap leach recovery and heap permeability.

- Bottle roll tests
- Coarser size bottle roll tests
- Column tests
- Percolation tests

At the first stage of this study, three representative ore which has taken from different zones crushed three different sizes. Totally, nine column test was conducted.

Secondly, percolation test was conducted on the tails of column testing with different loads. In this test, ore condition was tried to simulate with different loads which caused by lift weight.

The datas which is collected by two stages was used for understanding changes in gold recovery. In next stage, percolation data used for finding optimum heap leach parameters.

**Keywords:** Leaching, Heap Leaching, Gold Extraction,

## TEŞEKKÜR

Tez alışmama değerli katkılarından dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. A.Hakan BENZER'e, desteklerinden dolayı H.Semih DEMİRCAN'a, Merve CANKURTARAN'a, Sercan SEVGÜL'e, her zaman yanımda olan eşim Bahar ERKAN'a tüm itenliğimle teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER .....	ix
ŞEKİLLER.....	x
1.0. GİRİŞ .....	1
2.0. ALTININ DOĞADA BULUNUŞ ŞEKİLLERİ.....	3
2.1. Nabit Altın .....	3
2.2. Elektrum.....	3
2.3. Altın Telürür.....	4
2.4. Diğer Altın Mineralleri .....	5
2.5. Kükürtlü Minerallerde Altın oluşumu .....	6
3.0. ALTIN KAZANIMI.....	7
3.1. Altın Kazanım Yöntemleri .....	7
3.1.1. Amalgam (Civa İle Alaşım Yapma).....	8
3.1.2. Yer Çekimi İle Zenginleştirme.....	9
3.1.3. Flotasyon.....	10
3.1.4. Liç Metodu ile Kazanım.....	12
3.2. Altının Çözültiden Alınması .....	14
4.0. YIĞIN LIÇI.....	20
4.1. Yığın Liçine Etki Eden Faktörler .....	22
4.1.1. Yığın Liç Uygulamalarındaki Cevher Tipleri .....	22

4.1.2.	Çevresel Etkiler .....	23
4.1.3.	Yığın Geçirgenliği ve Akış Verimliliği .....	24
4.1.4.	Çok katlı Yığınlarda Verim Gecikmesi.....	25
4.1.5.	Çözelti Verilme Hızı, Siyanürleme ve Liç Süresi.....	25
4.2.	Yığın Liçi Uygulamalarında Önemli Noktalar .....	26
4.2.1.	Laboratuvar Testleri ve Kontrol .....	26
4.2.2.	Zor Hava Koşullarında Tasarım.....	27
4.2.3.	Su Dengesi .....	28
4.2.4.	Çözelti Uygulama Ekipmanları.....	29
4.2.5.	Yığın Sahaları ve Havuzlar.....	30
4.2.6.	Madencilik, Cevher Hazırlama ve Serimi .....	31
4.2.7.	Topaklandırma (Aglomerasyon).....	32
4.2.8.	Kamyon ile Serim.....	33
4.2.9.	Taşıyıcı Bant ile Serim .....	34
4.2.10.	Yığın Liçi Çözeltisinden Altın ve Gümüş Kazanımı .....	35
4.3.	Tane Boyunun Etkisi.....	35
5.0.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI .....	37
5.1.	Şişe Çevirme Testleri .....	44
5.1.1.	İnce Boy Şişe Çevirme Testleri .....	44
5.1.2.	İri Boy Şişe Çevirme Testleri.....	46
5.2.	Kolon Testleri .....	48
5.3.	Geçirimsizlik Testleri.....	63
5.3.1.	D1 Kompoziti Geçirimsizlik Testleri.....	65
5.3.2.	D2 Kompoziti Geçirimsizlik Testleri.....	67
5.3.3.	D3 Kompoziti Geçirimsizlik Testleri.....	69
6.0.	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	72

6.1. Öneriler .....	76
KAYNAKLAR .....	77
EKLER .....	80
ÖZGEÇMİŞ .....	96

## ÇİZELGELER

### Sayfa

Çizelge 5-1 XRD Metodu İle Mineralojik Analiz Sonuçları .....	38
Çizelge 5-2 Kimyasal Kayaç Analiz Sonuçları .....	38
Çizelge 5-3 Farklı boylarda Hazırlanan Örnekleri Analiz Sonuçları.....	44
Çizelge 5-4 İnce Boy Şişe Çevirme Testleri .....	46
Çizelge 5-5 İri Boy Şişe Çevirme Test Koşulları .....	47
Çizelge 5-6 İri Boy Şişe Çevirme Test Sonuçları.....	47
Çizelge 5-7 Kolon Testi Koşulları .....	48
Çizelge 5-8 Kırma Boyu Dağılımlarının Yüzey Alanları .....	57
Çizelge 5-9 Siyanür Tüketimleri.....	61
Çizelge 5-10 D1 A Geçirimsizlik Testi .....	65
Çizelge 5-11 D1 B Geçirimsizlik Testi .....	66
Çizelge 5-12 D1 C Geçirimsizlik Testi .....	67
Çizelge 5-13 D2 A Geçirimsizlik Testi .....	67
Çizelge 5-14 D2 B Geçirimsizlik Testi .....	68
Çizelge 5-15 D2 C Geçirimsizlik Testi .....	69
Çizelge 5-16 D3 A Geçirimsizlik Testi .....	69
Çizelge 5-17 D3 B Geçirimsizlik Testi .....	70
Çizelge 5-18 D3 C Geçirimsizlik Testi .....	71

# ŞEKİLLER

## Sayfa

Şekil 2-1 Eagles Nest Madeninden çıkarılmış Nabıt Altın (Kalifornia) .....	3
Şekil 2-2 Elektrum Halinde Bulunan Altın (Round Mountain-Amerkia) .....	4
Şekil 2-3 Colarado'daki Cresson Madeninden Çıkan Yüksek Tenörlü Calaverite ...	5
Şekil 2-4 Bonn Üniversitesi Mineral Müzesinde bulunan Maldonite Minerali (Almanya) .....	6
Şekil 2-5 Kükürtlü Mineraller içinde Altının Büyütülmüş Hali (Kuzey İtalya) .....	6
Şekil 3-1 Altın Kazanım Yöntemleri[29] .....	8
Şekil 3-2 Amalgasyon Tesisi Comstock Lode, Virginia City, Nevada 1900 .....	9
Şekil 3-3 Falcon Konsantretör .....	10
Şekil 3-4 Nevsun şirketine ait olan Bisha Projesi Bakır-Altın Madeni .....	11
Şekil 3-5 Liç İşlemi Mekanizması .....	13
Şekil 3-6 Merill Crowe Prosesinin Şematik Gösterimi[14] .....	15
Şekil 3-7 CIP (Pülpde Karbon) Prosesi .....	17
Şekil 3-8 CIL (Liçte Karbon) Prosesi .....	18
Şekil 3-9 Elektroliz Hücreleri .....	20
Şekil 4-1 Basitleştirilmiş Yığın Liçi Prosesi .....	21
Şekil 4-2 Avustralya Queensland'deki Lady Mine Projesi .....	22
Şekil 4-3 Laboratuvar Ölçekli Kolon Testi Düzeneği .....	26
Şekil 4-4 Finlandiya Talvivaara Yığın Liçi .....	27
Şekil 4-5 Nayoma Madeni Demokratik Kongo Cumhuriyeti .....	29
Şekil 4-6 Yığın Liçinde Kullanılan Damlatma Sistemi .....	30
Şekil 4-7 Eğimli Arazide Yığın Liçi Uygulaması ve Havuzlar .....	31
Şekil 4-8 Himmetdede Tesisinde kullanılan Senet Marka Aglomeratör (Topaklandırıcı) .....	32
Şekil 4-9 Kamyon İle Cevher Serimi .....	33
Şekil 4-10 Yığın Liçi İşleminde Serim .....	34
Şekil 4-11 Yığın Liçi CIC Tankları .....	35
Şekil 5-1 Himmetdede Projesi Lokasyonu .....	37
Şekil 5-2 Himmetdede Tesisi Kırıcı Devresi .....	39
Şekil 5-3 D1 Tipik Üst Bölge Örneği .....	40
Şekil 5-4 D2 Tipik Orta Bölge Örneği .....	41

Şekil 5-5 D3 Tipik Alt bölüm .....	41
Şekil 5-6 Ocağın 3 boyutlu Modeli.....	42
Şekil 5-7 Metalurjik Test Programı .....	43
Şekil 5-8 Şişe Çevirme Testi Düzeneği .....	45
Şekil 5-9 İri Boy Şişe Çevirme Test Düzeneği .....	47
Şekil 5-10 Kolon Test Düzeneği .....	49
Şekil 5-11 D1 Kompoziti Besleme Elek Analizleri.....	49
Şekil 5-12 D2 Kompoziti Besleme Elek Analizleri.....	50
Şekil 5-13 D3 Kompoziti Elek Analizleri.....	51
Şekil 5-14 D1 Kompoziti Kolon Testleri Liç Kinetiği .....	52
Şekil 5-15 D2 Kompoziti Kolon Testleri Liç Kinetiği .....	53
Şekil 5-16 D3 Kompoziti Kolon Testi Liç Kinetiği .....	54
Şekil 5-17 D1 Kompoziti Farklı Kırma Dağılımlarına Karşılık Gelen Yüzey Alanı ..	57
Şekil 5-18 D1 Kompoziti Yüzey Alanına Karşı Gelen Altın Verimi .....	58
Şekil 5-19 D2 Kompoziti Farklı Kırma Boylarına Karşı Gelen Yüzey Alanı.....	59
Şekil 5-20 D2 Kompoziti Yüzey Alanına Karşı Gelen Altın Verimi .....	59
Şekil 5-21 D3 Kompoziti Farklı Kırma Boylarına Karşı Gelen Yüzey Alanı.....	60
Şekil 5-22 D3 Kompoziti Yüzey Alanı Karşı Gelen Altın Verimi .....	61
Şekil 5-23 Yüzey Alanı-NaCN tüketimi ilişkisi.....	62
Şekil 5-24 Geçirimsizlik Testi .....	63
Şekil 5-25 Geçirimsizlik Testi Düzeneği .....	64
Şekil 5-26 Geçirimsizlik Testi Yüksekliğe Karşı Basınç Değerleri .....	64
Şekil 6-1 D3 Cevheri 1.7mm Şişe Çevirme Testleri Sonucunda %S ve Altın Kazanımı .....	74

## 1.0. GİRİŞ

Altın madenciliğinde cevherden altın kazanımı için kullanılan teknoloji, cevher içerisindeki altın taneciklerinin büyüklüğü, tenörü, cevher kayacının metal içeriği, kimyasal ve fiziksel özellikleri gibi ana faktörlere bağlıdır. Buna göre kullanılan çeşitli zenginleştirme yöntemlerinden başlıcaları aşağıdaki gibidir;

- Liç
- Yer çekimi ile zenginleştirilme
- Flotasyon
- Amalgamasyon

Yukarıdaki cevher işleme yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanı siyanür ile altını çözeltilmeye alma yani liç yöntemidir. Bu yöntem altın parçacıklarının cevherde mikroskopik boyutlarda dağılması durumunda tercih edilmektedir. Yerçekimi ile zenginleştirme yöntemi ise dere kumlarında serbest halde bulunan altının kazanılması için kullanılmaktadır [1]. Bakır cevherinde bulunan altının kazanılmasında ise flotasyon yöntemi birlikte kullanılmaktadır [2]. Değişik cevher türlerine göre siyanürleme, flotasyon ve gravitasyon işlemleri beraber kullanılabilir. Amalgamasyon yöntemi ise altın ve gümüş içeren öğütülmüş cevherlerden civa yardımı ile altın ve gümüşün civa içerisine alınması işlemidir. Bu işlemden sonra bir yandan civa tekrar kazanılırken; diğer yandan kıymetli metaller elde edilir. Fakat bu yöntem çevresel etkileri nedeni ile yaygın olarak tercih edilmemektedir. Manyetik yöntemle ayırma farklı manyetik özellikteki mineral tanelerinin kuvvetli ve zayıf manyetik alandan geçirilerek ayrılmasıdır. Ağır ortam ayırması ise mineral tanelerinin akışkan yoğunluğuna göre ayırma yöntemidir. Manyetik ayırma ve ağır ortam ayırma yöntemleri de yoğunlukla ilave prosesler olarak kullanılmaktadır [3].

Yaygın olarak tercih edilen liç işleme yönteminde, suda çözünen siyanür tuzları (sodyum veya potasyum siyanür) cevher ile temas eder ve cevher içinde bulunan

altını çözeltili içerisinde almaktadır . Liç işleme yönteminde başlıca iki teknik kullanılmaktadır. Bunlar yığın liçi ve tank liçi olarak adlandırılmaktadır.

Yığın liçinde, iri çakıl büyüklüğüne kırılmış olan cevher, tabanı geçirimsiz bir tabaka ile kaplanan bir alana yığın halinde serilir. Cevher üzerine delikli boru sistemi ile düşük siyanürlü çözeltili uygulanır. Siyanürlü çözeltili yığın içinden geçirimsiz tabakaya doğru süzülürken cevher içerisindeki altın liç çözeltilisi içine alınır. Çözeltiliye geçmiş olan altın daha sonra kimyasal işlemlerle ayrılır ve siyanürlü su tekrar yığın üzerine uygulanmaktadır. Cevher yığınınındaki altın tükenene kadar bu işlem devam etmektedir.

Tank Liçinde, cevher sulu ortamda yaklaşık 100 mikronun altına öğütülür. %40-50 katı yoğunluğundaki bu karışım, içinde bir veya birden fazla karıştırıcısı olan ve içine hava veya oksijen verilen tanklarda kireç-siyanür ortamında işleme tabi tutulur. Bu işlem sonrasında cevher içerisinde bulunan altın liç çözeltilisi içine alınır. Çözeltiliye geçmiş olan altın başta aktif edilmiş karbon veya metal çinko tozu kullanılarak kazanılır.



## 2.0. ALTININ DOĞADA BULUNUŞ ŞEKİLLERİ

### 2.1. Nabit Altın

Nabit altının altın içeriği genellikle %85-%95 arasında değişmekte olup, bilinen en yüksek altın içeriği %99.8'dir. Saf altının özkütlesi  $19.300 \text{ kg/m}^3$  iken nabit altının genellikle özkütlesi ortalama  $15.000 \text{ kg/m}^3$  civarındadır. Eğer gang minerallerinden ayrılırsa 10 mikronun üzerinden yoğunluk farkı sayesinde ile alınabilmektedir. Bu sayede tarihte işlenen ana altın türü olduğu bilinmektedir [4]. Şekil 2-1'de Kaliforniya'daki Eagles Nest madeninden çıkarılan nabit altının resmi verilmiştir.



Şekil 2-1 Eagles Nest Madeninden çıkarılmış Nabit Altın (Kalifornia)

### 2.2. Elektrum

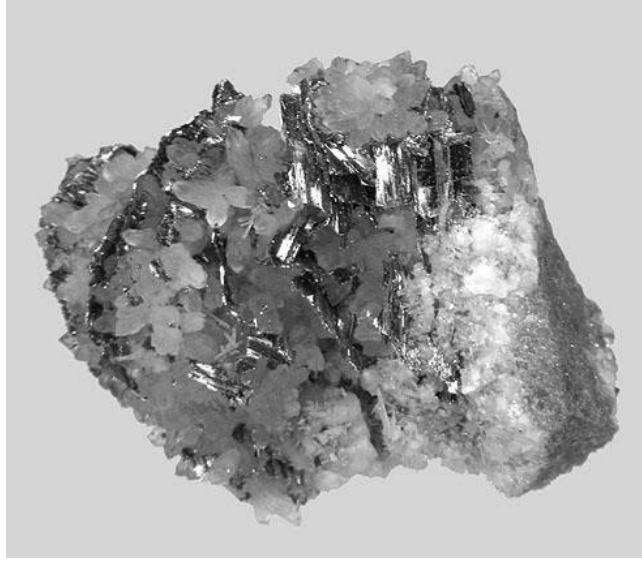
Altın bazen gümüş ile birlikte alaşım oluşturur. Gümüş içeriği %25 ila %55 arasında ise buna elektrum denilmektedir. Özkütlesi  $13.000 \text{ kg/m}^3$  –  $16.000 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği bilinmektedir [4]. Nevada'daki Round Mountain altın madeninde çıkan elektrumun resmi şekil 2-2'de verilmiştir.



Şekil 2-2 Elektrum Halinde Bulunan Altın (Round Mountain-Amerkia)

### 2.3. Altın Telürür

Altın telürürün kimyasal özelliği bakımından daha kompleks bir yapıda olduğu bilinmektedir. Sylvanite ((Au,Ag)<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>), Calaverite (AuTe<sub>2</sub>) ve Krennerite (AuTe<sub>2</sub>) ile beraber bulunan Petzite (Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>) en bilinen türleridir. Montbrayite (AuTe<sub>3</sub>) ve Kostovite (CuAuTe<sub>4</sub>) doğada daha az bulunan türleridir. Altın telürürün bazen serbest altın taneleri ve Kükürtlü minerallerle birlikte olduğu bilinmektedir. Telürürün özkütlesi 8,000 kg/m<sup>3</sup>- 10,000 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir [4]. Cresson Madeninden Çıkan Yüksek Tenörlü Calaverite'nin resmi şekil 2-3'de verilmiştir.



Şekil 2-3 Colarado'daki Cresson Madeninden Çıkan Yüksek Tenörlü Calaverite

#### **2.4. Diğer Altın Mineralleri**

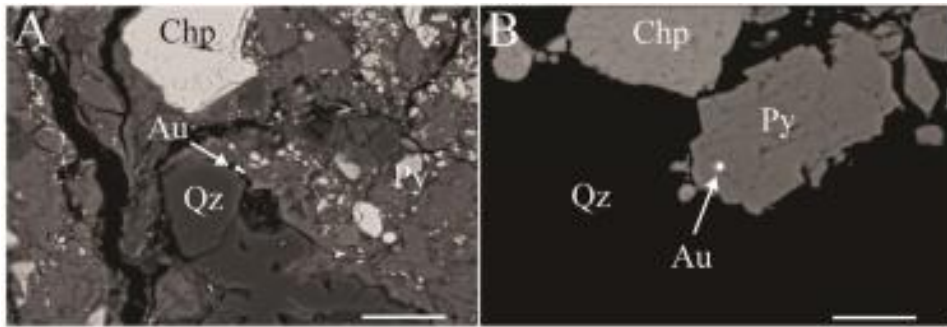
Altın nadir olarak da Bismuth minerali ile birlikte Maldonite ( $Au_2Bi$ ) şeklinde bulunmaktadır. Bu ismini Avustralya Victoria'daki Maldon oluşumundan almaktadır. Maldonite mineralinin özkütlesi  $15,500 \text{ kg/m}^3$ 'tür ve Mohs sertliği altın cevherinkinden daha düşüktür. Siyanür çözeltilerinde çok düşük miktarlarda çözünmektedir [4]. Bonn Üniversitesinde sergilenen Maldonit minerali resmi Şekil 2-4'te verilmiştir.



Şekil 2-4 Bonn Üniversitesi Mineral Müzesinde bulunan Maldonit Minerali (Almanya)

## 2.5. Kükürlü Minerallerde Altın oluşumu

Altın bazen de çok ince boylarda Arsenopyrite, Pyrite, Tetrahedrite ve Chalcopyrite gibi kükürt minerallerin içinde oluşmaktadır [5]. Bu oluşumlar refrakter altın cevherlerini oluşturmaktadırlar [2]. Kuzey İtalya'da bulunan Corchia Ophiolite depozitinde bulunan Demir-Bakır-Çinko minerallerinin içindeki altın tanelerinin resmi Şekil 2-5'te verilmiştir.



Şekil 2-5 Kükürlü Mineraller içinde Altının Büyütülmüş Hali (Kuzey İtalya)

### **3.0. ALTIN KAZANIMI**

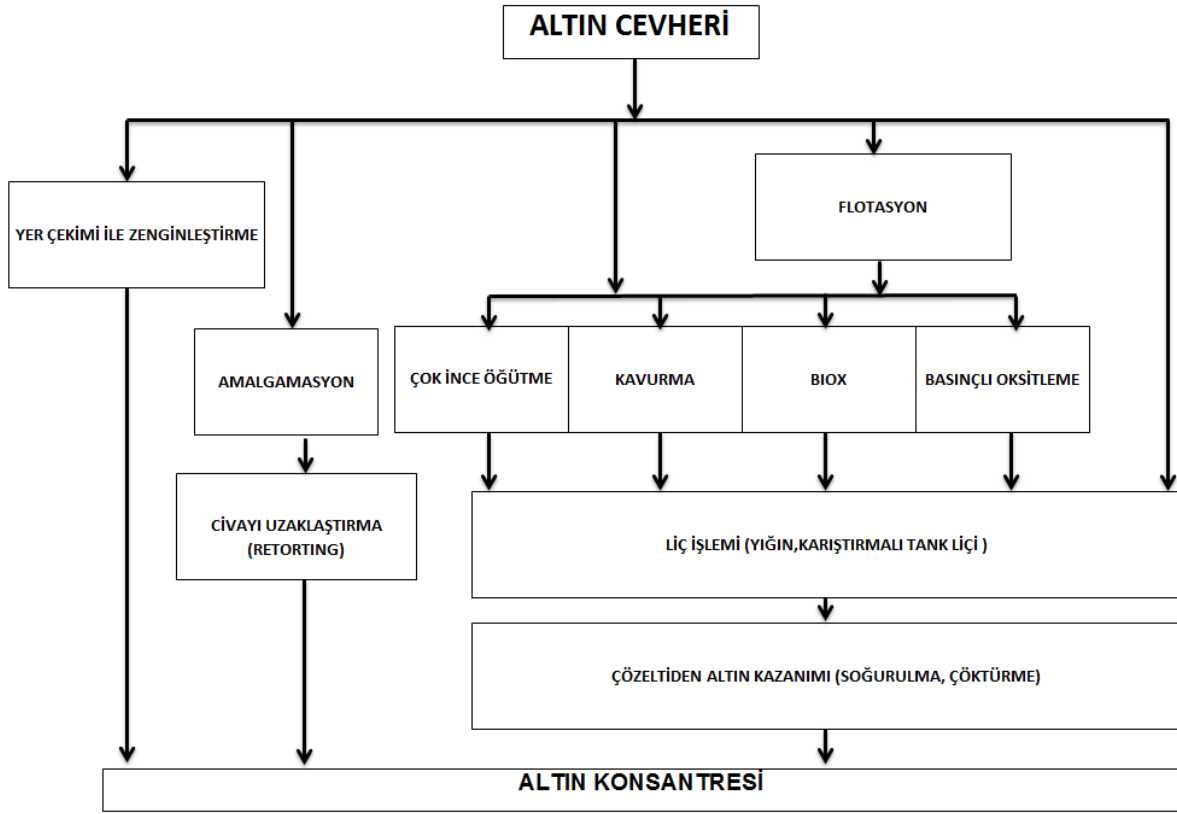
Doğada farklı şekillerde ve özelliklerde bulunan altın cevherlerinin üretim yöntemleri farklılık göstermektedir.

#### **3.1. Altın Kazanım Yöntemleri**

Altın üretiminde uygulanacak yöntemi ;

- cevherin oluşum koşulları
- türü
- tenörü ve
- cevherdeki altın tanelerinin boyutları olmak üzere dört önemli parameter belirlemektedir.

Altın cevherlerinin kazanım yöntemleri Şekil 3-1'de verilmiştir.



Şekil 3-1 Altın Kazanım Yöntemleri [6]

Ana altın kazanım yöntemleri şöyledir :

- Civa ile Amalgasyon
- Yer çekimi ile Zenginleştirme (Jig, sallantılı masa, spiral vb.)
- Flotasyon ( Serbest Altın tanesini ya da Kükürtlü cevherdeki altını alma)
- Hidrometalürji ( Direk Siyanürleme, Karbon Adsorpsiyonu, yığın liçi vb.)

### 3.1.1. Amalgam (Civa İle Alaşım Yapma)

Bu yöntem eski dönemlerde kullanılan bir proses olup, altın taneleri ile metalik civanın alaşım oluşturması ve bu alaşımın ısıtılıp civanın uçurulması ile altın kazanımı yöntemidir. Bu yöntem genellikle genellikle iri taneli altın için kullanılmaktadır. Bu

yöntem küçük madencilik firmaları tarafından kullanmış ve civanın doğası gereği toksik içeriği nedeniyle başka alternatif yöntemler kullanılmaya başlanmıştır [7]. Amerika'da 1900 yılların başında kullanılan Amalgam tesisinin resmi Şekil 3-2'de verilmiştir.



Şekil 3-2 Amalgam Tesisi Comstock Lode, Virginia City, Nevada 1900

### 3.1.2. Yer Çekimi İle Zenginleştirme

Yer Çekimi ile zenginleştirme yöntemi altın ve ana kayacın özgül ağırlığı farkından yararlanılarak yapılmaktadır. Elemental altının özgül ağırlığı  $19.3 \text{ kg/m}^3$  ve tipik ana kayacın özgül ağırlığı ise  $2.6 \text{ kg/m}^3$ 'dür. Tüm yerçekimi ile zenginleştirmede kullanılan ekipmanlar ağır ve hafif tanelerin ayrılması için altın ve ana kayaç taneciklerini arasında santrifüj kuvvetinde kaynaklanan bir hareket ile ayrılmasını sağlar [1].

Tavada yıkama yöntemi muhtemelen bilinen eski altın zenginleştirme methodur. İri taneler kullanılan tabağın alt tarafında kalırken hafif taneler üstten yıkanarak

gitmektedir. Falcon markasının ürettiği yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanının resmi Şekil 3-3'de verilmiştir.



Şekil 3-3 Falcon Konsantretör

### 3.1.3. Flotasyon

Flotasyon yöntemi, yardımcı kimyasallar kullanarak yoğun karıştırmalı ve hava kabarcıkları üreterek konsantreyi köpük olarak almaktır.

Kendine has kimyasallar kullanılarak özellikle istenilen mineral yüzdürebilir ya da istenmeyen mineral bastırılmaktadır. Birkaç kaba flotasyon hücresinden sonra gerekirse ilaveten flotasyon işlemleri yaparak konsantrede istenilen saflık sağlanabilmektedir.

Flotasyon prosesi genellikle serbest altın taneleri için yapılmaz fakat eğer altın cevheri Pirit gibi altın cevherleri ile ilişkili ise flotasyon prosesi etkili olmaktadır. Tipik piritli bir altın cevherinde , altın tanesi demir kükürtlü kristal yapısının içinde



hapsedilmiş haldedir. Yüksek derecede oksitlenmiş cevherler flotasyona uygun değildir [8].

İri boyda serbestleşen altın taneleri için flotasyon işleminin avantajı ise çok ince taneye öğütmeye gerek kalmamasıdır. Böylelikle öğütme maliyetleri minimuma indirildiği düşürülebilmektedir. Flotasyonda kullanılan kimyasallar genellikle toksik olmadığı için atık barajlarında depolanabilmekte ve buna bağlı olarak atık uzaklaştırma maliyetleri düşüktür.

Altın cevherinin flotasyon ile kazanımı altının bakır, kurşun ve çinko ile birlikte bulunduğu hallerde yapılmaktadır. Flotasyon konsantresi altın ve diğer metallerin üretimi için ergitilmek üzere genellikle saha dışı tesislere gönderilmektedir [9].

Siyanür liç işlemi flotasyon işleminden sonra yapılmaktadır. Flotasyon konsantresinin ya da atığının siyanürlenme işlemi mineralojiye ve akım şemasının ekonomikliğine bağlıdır. Doğu Afrika'daki Bisha bakır tesisine ait resim Şekil 3-4'de verilmektedir.

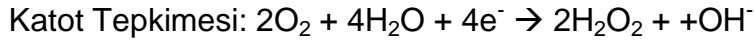
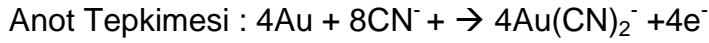
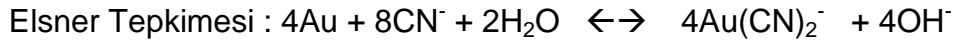
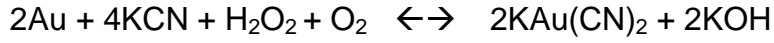
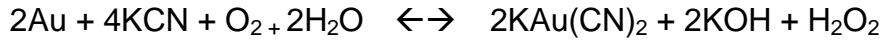


Şekil 3-4 Nevsun şirketine ait olan Bisha Projesi Bakır-Altın Madeni

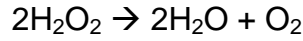
Flotasyon işleminden elde edilen konsantre, kavurma, basınçlı oksidasyon gibi proseslerden sonra siyanür liçine uygun hale gelebilmektedir.

### 3.1.4. Liç Metodu ile Kazanım

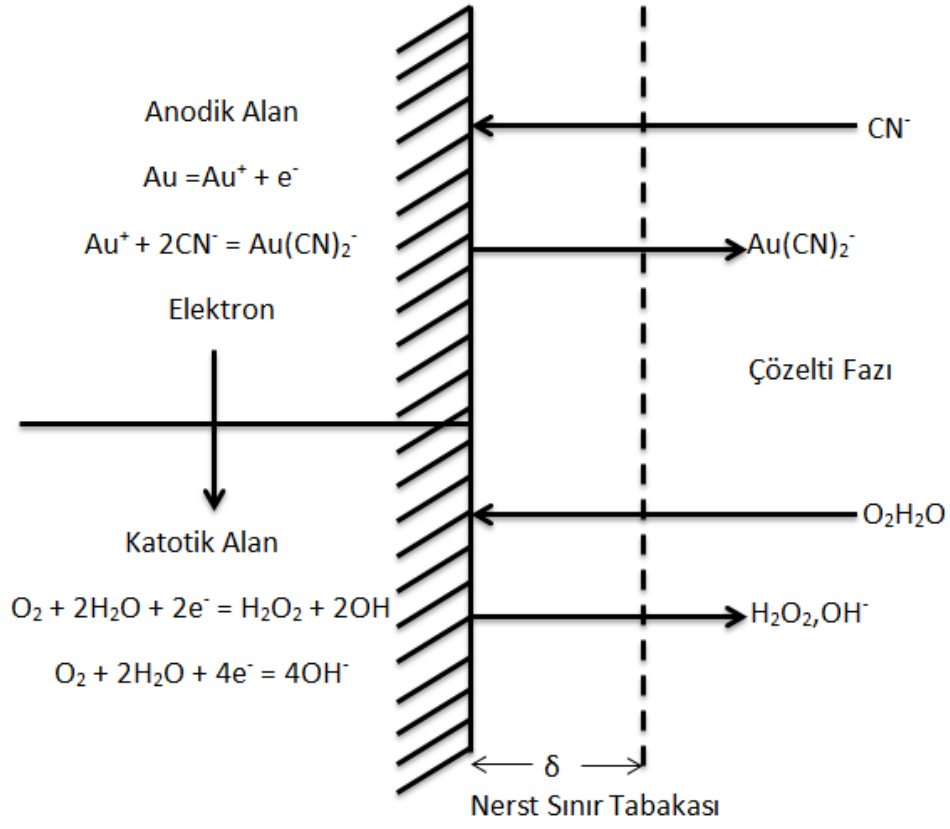
Liç işlemi kelime anlamı olarak herhangi bir katıyı çözücü bir ortam sayesinde çözerek sıvı ortama almaktır. Farklı çözücüler kullanılsa da altın kazanımında en yaygın şekilde siyanür kullanılmaktadır. Siyanür çözeltisi içerisinde oksijen varlığında altının çözünmesidir [10].



Hidrojen Peroksitin büyük bir kısmı bozularak ;



Siyanür İşleminin Mekanizması Şekil 3-5'te verilmiştir.



Şekil 3-5 Liç İşlemi Mekanizması

Pirit ve arsenopiritli kompleks cevherler dışında, fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin yetersiz kaldığı düşük tenörlü ve çok ince taneli tüm altın cevherlerinin ekonomik koşullarda değerlendirilmesine olanak sağlayan siyanürleme yöntemi, günümüzde altın üretiminde en çok tercih edilen seçenek olarak uygulanmaktadır. Pirit ve arsenopiritli altın cevherlerinin flotasyon ile zenginleştirilip kavrulduktan sonra siyanürlenmesi, siyanür tüketimini azaltmaktadır [2].

Siyanürleme ile sıvı faza geçen altın, doğrudan çöktürme veya aktif karbona soğurma, geri sıyırma ve elektroliz işlemlerinden oluşan hidrometalürjik proseslerle elde edilir.

## 3.2. Altının Çözeltiden Alınması

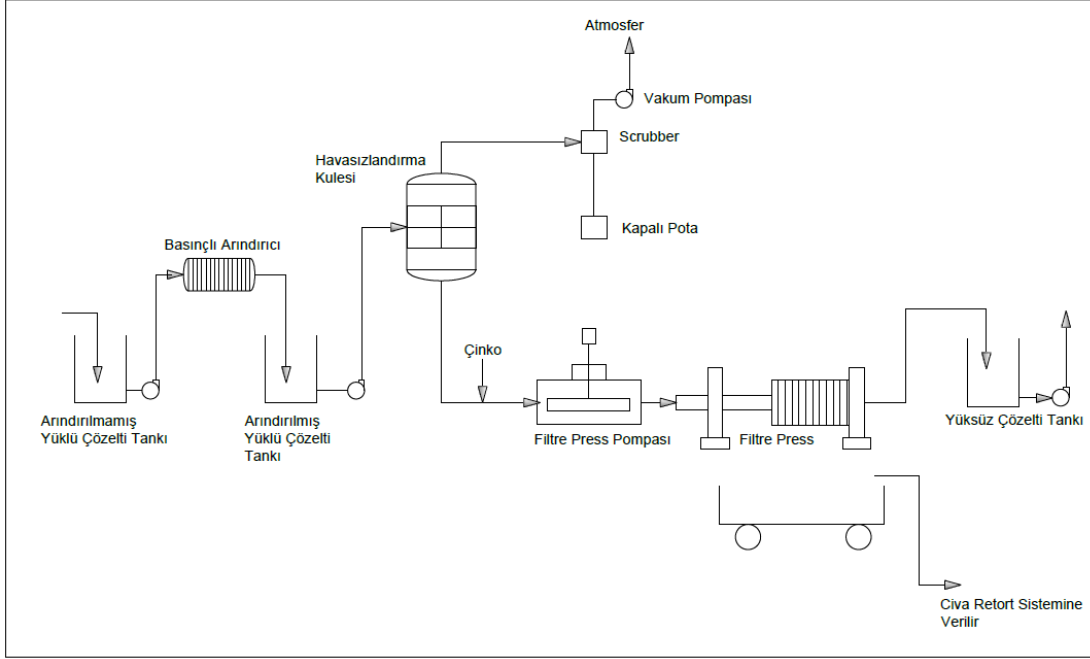
Siyanürleme sonucu  $Au(CN)^{-2}$  anyonik kompleksi halinde sıvı faza geçen altının geri kazanılması için endüstriyel boyutta uygulanan prosesleri;

- Çinko tozu ile çöktürme
- Aktif karbona soğurma
- İyon Değişirme
- Elektroliz

Dört grupta tanımlanabilmektedir. Birden fazla proses bir arada da uygulanabilir.

### 3.2.1. Çinko Tozu ile Çöktürme

Siyanürleme yönteminin uygulandığı cevherler, çoğunlukla 15-20 ppm'den daha düşük oranlarda altın içerdiklerinden, elde edilen çözeltilerin altın derişimleri de yaklaşık aynı seviyede kalmaktadır [11]. Cu, Sb, Fe ve Ni gibi safsızlık yaratan elementlerin siyanür komplekslerinin de içeren aşırı seyreltik çözeltiden altının seçimli olarak çöktürülebilmesi, reaksiyonun denge koşullarıyla sınırlamaktadır. Ortamda az da olsa siyanürle birlikte oksijeninde bulunması geri çözünmeyi artırdığından çökeltme verimi düşmektedir. Bu nedenlerle, daha çok zenginleştirilmiş konsantre çözeltilerinden altın kazanılmasında yararlanılan çinko ile çöktürme prosesi, altına oranla daha çok yüksek tenörde çalışılan gümüş üretim teknolojisinde kullanılmaktadır [12]. Tipik Merrill Crowe prosesi akım şeması şekil 3-6'da verilmiştir.



Şekil 3-6 Merill Crowe Prosesinin Şematik Gösterimi [13]

### 3.2.2. Aktif Karbona Soğurma

Cevherden altın üretim teknolojisinde aktif karbonun adsorpsiyon özelliğinden yararlanılması ilk kez 1950 yılında gerçekleştirilmiştir. Aktif karbon ağaçtan, petrol kokundan, fındık ve hindistan cevizi kabuğundan yapılmaktadır [14].

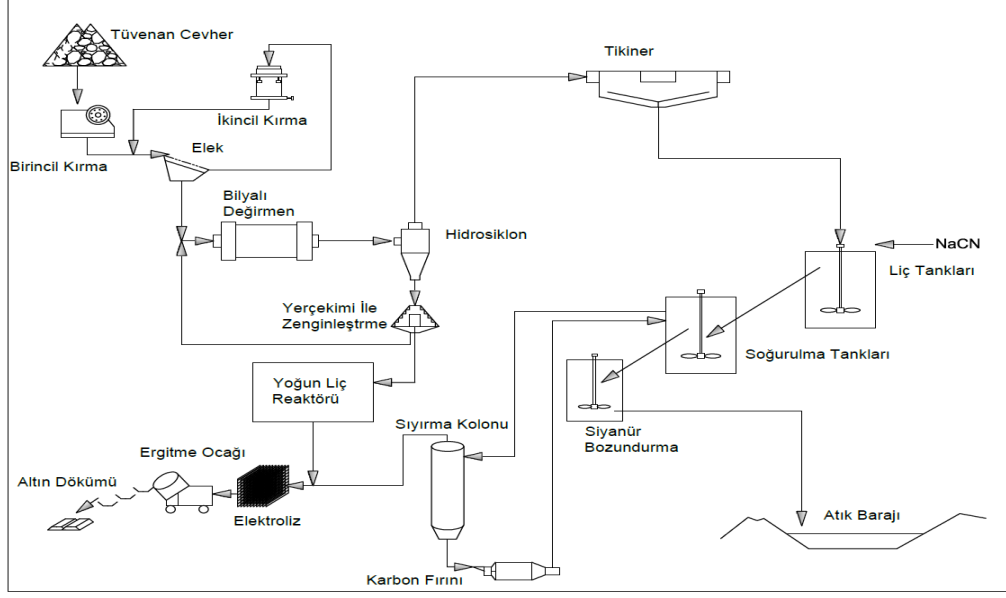
Aktif karbonun yüklenebilme kapasitesi, çözeltinin altın ve siyanür derişimi, pH değeri, iyon şiddeti ve sıcaklık süresi adsorpsiyon işleminin en uygun koşullarını belirlemekte, yüklenebilme kapasitesi de kullanılan karbonun etkin yüzey alanı aktivitesi ve kül oranına bağlı olarak değişmektedir.

Kolonda karbon (CIC) yönteminde, temiz çözelti aktif karbonla doldurulmuş, seri bağlı kolonlardan geçirilmekte; aktif karbon sabit, çözelti ise hareketli fazı oluşturulmaktadır. Bu nedenle, yığın ya da karıştırmalı liç yöntemiyle elde edilen siyanürlü çözeltilerdeki altının adsorpsiyonunda uygulanan bu proses, katı-sıvı

ayırımını gerektiren karıştırmalı liç yönteminde tercih edilmemektedir. Yığın liçi uygulamalarında kullanılmaktadır [15].

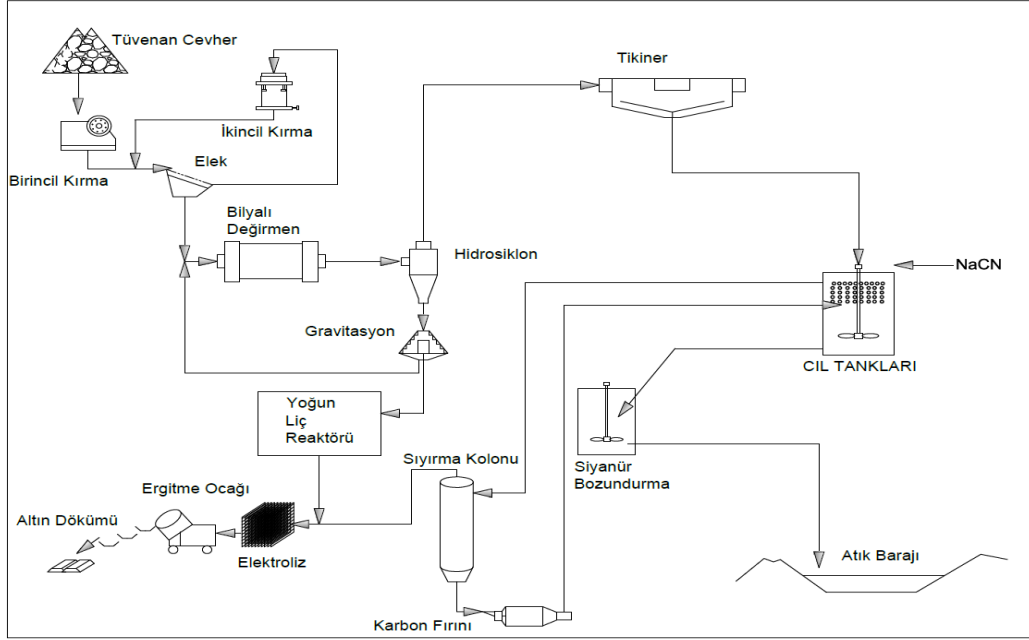
Pülpte karbon (CIP) yönteminde, karıştırma liç ünitesinden çıkan çamur, tanklarda ters akımlı bir akışla aktif karbon ile temas ettirilerek sıvı fazdaki altın aktif karbon yüzeyine taşınmaktadır. Bu yöntemin katı sıvı ayırımı gerektirmemesi işletme giderlerini önemli ölçüde düşürmektedir [16].

Tipik bir pülpte karbon yöntemi ile altın kazanımı yapan bir tesiste, birincil ve ikincil kırıcılar ile bilyalı veya çubuklu değirmenlerden geçirilerek en uygun tane boyutuna kadar öğütülen cevher, karıştırıcılı ve hava beslemeli tanklarda siyanürleme işlemine alınmaktadır. Ortamın siyanürü çoğunlukla %0.1'in altında, pH değeri ise sönmüş kireç veya sodyum hidrosit ilavesiyle 10-11 dolayında tutulmaktadır. Tanklarda belirli süre karıştırılan cevher içindeki altın sıvı faza geçmektedir. Sıvı faza geçen altın, soğrulma tanklarındaki aktif karbonlara tutunmaktadır. Yüklenen karbonlar sıyırma kolonu alınmaktadır. Burda yıkanan karbonların üzerindeki altın tekrar çözeltilmeye alınmaktadır. Çözeltilmeye alınan altın, elektroliz hücrelerine gönderilmektedir. Elektroliz hücrelerinde katotlara tutunan altın, kurutulduktan sonra ergitme ocağına alınıp altın üretimi yapılmaktadır. Sıyırma işlemi sonrasında yüksüz karbonlar, karbon fırınına gönderilerek yüksek sıcaklıkta yüzeyi tekrar aktif hale getirilip soğrulma tanklarına geri verilmektedir. Ayrıca soğrulma tanklarından sonra altını alınmış siyanür çözeltisi, siyanür bozundurma ve ağır metalleri çöktürmesi için ayrı bir prosese verilmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler sayesinde siyanür bozundurma yapılmaktadır [14]. Tipik CIP tesisi Şekil 3-7'de verimiştir.



Şekil 3-7 CIP (Pülpde Karbon) Prosesi

Liçte karbon (CIL) yönteminde, aktif karbon, siyanürleme aşamasında sisteme verilmekte, çözünme ve karbona soğurulma eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu proses siyanürleme kinetiği hızlı veya çözünen altının, katı artık tarafından yeniden soğurulması sakıncalı bulunan cevherlere uygulanmaktadır [14]. Tipik bir CIL tesisi için Şekil 3-8'de verilmiştir.



Şekil 3-8 CIL (Liçte Karbon) Prosesi

Aktif karbondan sıyırma (Stripping) ve yüklü aktif karbondaki altının geri kazanılmasında uygulanan yöntemler, sıyırma koşullarına ve çözelti türlerine göre; atmosferik, basınçlı ve organik sıyırma olarak sınıflandırılmaktadır.

Atmosferik sıyırma işleminde, NaCN ve NaOH çözeltisinden oluşan sıyırıcı faz, 90°C sıcaklıktaki yüklü aktif karbon ile reaksiyona sokulmaktadır. Sıyırma işlemi 24-60 saatte tamamlanmaktadır.

Basınçlı sıyırma işlemi 2-3 atm basınç altında ve 110<sup>0</sup>-150<sup>0</sup> C arasındaki sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu durumda sıyırma süresi düşürülmektedir.

Organik sıyırma çözeltisinden %20 dolayında alkol ilave edildiğinde 80°C sıyırma için 10-15 saat yeterli olmaktadır [14].



### 3.2.3. İyon Değiştirme

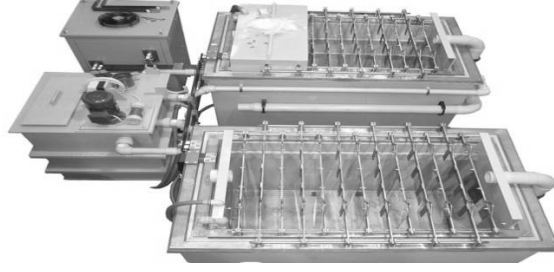
Çözeltideki altının kazanılması açısından aktif karbonla soğurma yöntemine benzeyen ve benzer koşullarda uygulanabilen iyon değiştirme yönteminde altının diğer faza geçmesi farklı yollarla gerçekleşmektedir. Adsorpsiyon yönteminde aktif karbon yüzeyine tutunan çözeltideki altın, iyon değiştiricilerin fonksiyonel grupları ile yer değiştirmektedir.

Çözeltideki altının arıtılıp zenginleştirilmesi için sıvı iyon değiştiriciler ve çözücü kazanım yöntemlerinden yararlanılması konusunda araştırmalar sürdürölmektedir [17].

### 3.2.4. Elektroliz

Siyanürlü ortamdaki  $Au(CN)_2^-$  kompleks anyonunda olduğu gibi iyonik halde bulunan altının, metalik duruma indirgenerek katotta toplanması esasına dayanan elektroliz yöntemi, çinko tozu ile çöktürme prosesine benzemekte ve çözeltideki altın doğrudan kazanılmaktadır.

Ancak, siyanürleme ünitesinden çıkan ve altınca düşük derişimli siyanürlü çözeltinin doğrudan elektrolizi, ortamdaki aşırı safsızlıkların da etkisiyle olumlu ve ekonomik sonuç vermediğinden, elektroliz yöntemi de, çinko ile çöktürme gibi, aktif karbona soğurma veya iyon değiştirme ile artırılıp zenginleştirilmiş çözeltilere uygulanmaktadır [18]. Elektroliz hücresi resmi şekil 3-9'da verilmiştir.



Şekil 3-9 Elektroliz Hücreleri

#### 4.0. YIĞIN LIÇI

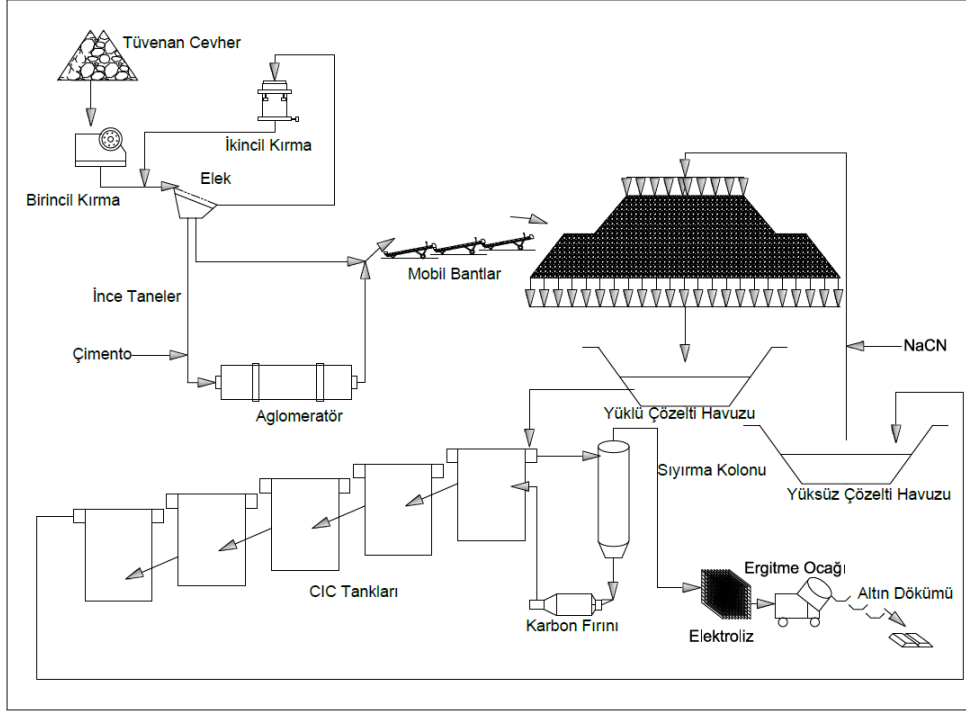
Yığın liçi yöntemi ile düşük tenörlü Au ve Ag gibi değerli metaller, yığın haline getirilmiş cevher üzerine siyanür püskürtmesiyle yıkanarak elde edilmektedir. Prosesin başlangıcında, genellikle cevher kırılarak ya da ocaktan çıktığı gibi geçirgen olmayan bir zemin üzerine yığılmakta, yığın tabanında geçirimsizliği sağlamak amacıyla kil, asfalt, çimento ve plastik örtü gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Böylece yığın tabanında geçirimsiz bir yüzey oluşturulmaktadır. Genel olarak bu geçirimsiz örtü üzerine, ince bir çakıl tabakası serilmektedir [19].

Yığın liçi yönteminden iyi bir sonuç alınabilmesi için altın ve gümüşü tutan minerallerin karbonlu malzeme içermemesi, yüksek derecede siyanür tüketen bileşenlerle kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması, yığın içerisinde siyanür çözeltisinin akmasını engelleyecek kil benzeri çok ince malzemeden oluşmaması, altın tanelerini örten demir oksit oluşumuna uygun malzeme içermemesi gereklidir.

Seyreltilmiş alkalin siyanür çözeltisi, NaCN, yığının üzerinden püskürtülmektedir. 0,5-1,0 g NaCN/L içeren çözeltinin akma hızı 15 L/dakika civarındadır. Yığın üzerine yapılan ilk püskürtmede çözeltinin tabana ulaşması 3 ila 5 gün almaktadır.

Altın siyanür çözeltisi, yığının tabanında oluşturulan toplama sistemiyle toplanarak ve aktifleştirilmiş karbon kolonlarından geçirilerek altının karbon tarafından soğrulması sağlanmaktadır [15]. Metali alınmış siyanür çözeltisi yeniden kullanılmak üzere havuza alınmaktadır. Altın yüklenmiş karbon ise karbon desarpsiyonuyla sıyırılmaktadır. Altın bu çözeltiden daha sonra elektrokimyasal yöntemlerle

kazanılmaktadır. Tipik bir yığın liçi ve CIC akım şeması şekil 4-1'de verilmiştir. Bu prosesle üretim yapan Avustralya'daki Lady Mine'daki yığın serimi resmi şekil 4-2'de verilmiştir.



Şekil 4-1 Basitleştirilmiş Yığın Liçi Prosesi



Şekil 4-2 Avustralya Queensland'deki Lady Mine Projesi

#### **4.1. Yığın Liçine Etki Eden Faktörler**

Yığın liçi prosesinde cevher kırılıp yada herhangi bir kırma işlemi yapılmaksızın serilip verilen siyanür tarafından altının çözültüye geçmesi gerekmektedir. Cevherin yığın liçine uygun olması gerekmektedir. Açık alanlarda yapılan yığın liçi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

##### **4.1.1. Yığın Liçi Uygulamalarındaki Cevher Tipleri**

Carlin tipi cevherler (altının diğer mineraller içinde dağıldığı ama yüksek reserve sahip olan), şist ve kireç taşı içinde çok ince (submikroskobik) altın içerir. Bu tip cevherler genellikle 75 mm'ye kaba kırma ile kırılıp yaklaşık %70 altın verimi alınabilir ya da ocak çıkışı malzemeden de alınabilmektedir. Kuzey Nevada'daki en büyük yığın liçi projesi bu tip cevher işlemektedir. Oksitlenmemiş cevherlerde altın, kükürtler ve organik karbonlar içinde kilitli kalmaktadır. Böylelikle çözültü ile altın teması gerçekleşemez. Nevada operasyonlarındaki oksitli ve oksitlenmemiş cevherinde

birlikte bulunması nedeniyle kavurma, otoklav, karıştırılmalı tank liçi ve yığın liçi aynı sahada gerçekleşmektedir [19].

Düşük kükürtlü asit volkanikleri veya sokulum kayaç tipi cevherlerin tipik örneği Round Mountain, Nevada ve Peru civarında bulunmaktadır. Kükürt içeriği %2-3 pirit ve bazı durumlarda altın piritin içinde kapanım halinde bulunmaktadır. Oksitlenmiş cevher liç verimleri genellikle %65-85 arasında değişmektedir. Ama bu değerlere ulaşmak için cevherin 12mm'nin altına kırılması gerekmektedir [20].

Okside olmuş masif sülfid cevherleri demir oksit içinde altın ve gümüş içermektedir. Bu cevherler yumuşak ve geçirgen olduğu için 75 mm'nin altına kırmak liç verimini arttırmamaktadır. Filon Sur cevheri ve Hassai madeni bu tip cevherlere en güzel örneklerdir. Bu tip cevherler yumuşak ve ince olduğu için çimento kullanarak aglomerasyon yapılmaktadır.

Saprolit ve laterit cevherleri, volkanik ve araya giren diğer ana kayaçlardan oluşur ve genellikle tropikal iklimlerde görülen bozunmuş cevherlerdir. Yüzey kapanımı çok ince bir katman şeklindedir.

Bazı Carlin tipi yataklarda, volkanik ana kayaçlı oluşumların yanında kil birikmesi ya da kil alterasyonu ile altın birlikte oluşabilmektedir. Buckhorn Madeni ve Barney's Canyon madeni iyi örneklerindedir. Bu tip cevherler saprolit cevherleri gibi işlenebilir ve bazen de kırma işlemi gerektirebilir. Yumuşak sulu kil ve sert kayaçların birlikte bulunmasından dolayı genellikle birincil kırma kullanılabilir. Kamyon ile serim işlemi yapılması altın verimini düşürebilir. Bu yüzden bant kullanılarak serim işlemi yapılır. Topaklandırma işlemine gerek duyulmayabilir.

Gümüşçe zengin cevher yataklardan birine sahip olan Nevada madeninde altın ve gümüş tenörleri çok değişkendir. Gümüş siyanürleme işlemindeki davranışı benzer olsa da gümüş verimi altın verimine göre düşüktür [16].

#### **4.1.2. Çevresel Etkiler**

İdeal yığın liçi bölgesi ABD'nin batı tarafı gibi yarı kurak bölgelerdir. Fakat yığın liçi uygulamaları dünyanın değişik bölgelerinde başarılı bir şekilde yürütülebilmektedir [16].

- Illinois Creek (Alaska) ve Brewery Creek (Yukon) kuzey kutbuna çok yakındır ve birkaç ay sıcaklık -30 derecelerde seyretmektedir.
- Birkaç yığın liçi uygulaması da Güney Amerika'daki High Andes bölgesinde gerçekleştirilmektedir. Rakımı 4000 metreden fazladır.
- Diğer bir uç örnek ise Sudan'daki Sahara çölündedir. Yazları sıcaklık 50 derecenin üzerindedir ve yıllık yağış metrekareye 20 mm'den azdır. Yığın liçinin karıştırılmalı tank liçlerine göre bir avantajı da daha az su tüketmesidir. İyi bir su yönetimi ile bir ton cevher için 0.3 tondan daha az su tüketilebilir.
- Bazı yığın liçi uygulamaları da tropik iklimlerde yapılmaktadır. Öyle ki yıllık yağış miktarı metrekareye 2500 mm den fazla yerlerde bile iyi bir su yönetimi ile başarılı yığın liçi yapmak mümkündür.

#### **4.1.3. Yığın Geçirgenliği ve Akış Verimliliği**

Başarılı bir yığın liçinin en önemli anahtarları yüksek ve düzgün geçirgenliktir. Herhangi bir yığın liçinde akışın zor olduğu rejimler şöyledir :

- Büyük kanallar, çözeltinin kısa yoldan en üstten en alta geçirmesini sağladığı için yığının tamamının ıslanmasını engeller.
- Yüksek geçimli bölgeler, tapalı akışa sebep olur.
- Sıfıra yakın geçirimsiz bölgeler, yüklenmiş çözelti ya da ulaşılammış cevheri hapsedebilir.
- Geçirimsiz drenaj katmanı oluşabilir.

İdeal bir yığın liçinde çözelti rahatlıkla yığının içinden süzülerek cevheri %100 ıslatabilir. Gerçekte ise en iyi yığın liçi uygulamalarında bu değer %70 civarındadır [16].

#### **4.1.4. Çok katlı Yığınlarda Verim Gecikmesi**

Çok katlı yığın liçi uygulamalarında en altta kalan basamak üstteki basamakların ağırlığında sıkışır ve içinde bazı bölümlerde az geçirimsiz bölgeler oluşabilir. Eğer alt katlarda geçirimsiz bir yüzey oluşursa yığında göllenme olabilir. Böylelikle alınmak istenilen altın yığın içerisindeki çözelti halinde hapsolmuş olabilir.

Bugüne kadar ki en yüksek kat uygulaması toplam 10 kattan oluşan 120 m'lik yığındır. Sert cevherler, kırılmış ve tüvenan cevherlerde geçirimsizlik kaybı fazla olmamaktadır. Bazı yumuşak cevherlerde çimento ile topaklandırma sayesinde 30 metreye kadar çıkılabilir. Bazı istinası durumlarda 100 metreye kadar çıkabilir. Bu özellikler laboratuvar kolon çalışmaları ile belirlenebilir.

Altın kazanımındaki gecikme alt katlardaki geçirimsizliğinin azalmasına ve tüm malzemenin yıkanabilirliğine bağlıdır. Ortalama verim ve çözeltinin tenörü kat sayısı ve yığın yüksekliği artıkça bir miktar azalmaktadır [16].

#### **4.1.5. Çözelti Verilme Hızı, Siyanürleme ve Liç Süresi**

Altın kazanımını etkileyen beş tane faktör aşağıdadır [16]. Bunlar :

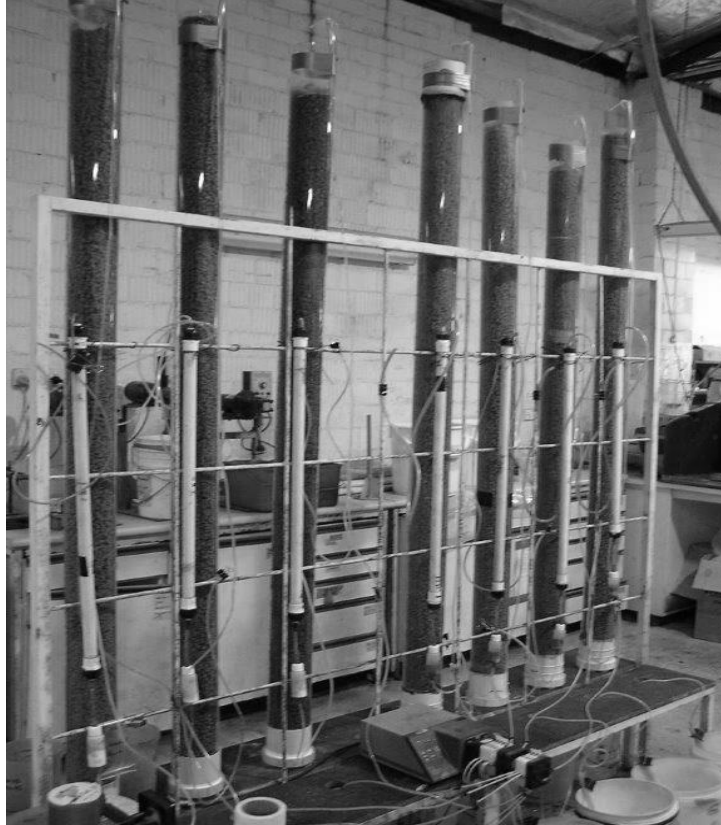
- Altının çözünme hızı,
- Serbest ya da açığa çıkmış altın tanelerinin yüzdesi
- Siyanürün cevherin içindeki çatlaklardan süzülüp altın taneleri çözme hızı
- Siyanür çözeltisinin ya da ortamın bazikliğini bozabilecek kimyasal reaksiyonların etkisi
- Altının ıslanıp, çözültüye geçip yığından ayrılma hızı

## 4.2. Yığın Liçi Uygulamalarında Önemli Noktalar

### 4.2.1. Laboratuvar Testleri ve Kontrol

Proses ne olursa olsun dizayn için karşılaştırmalı laboratuvar testleri çok önemlidir. Yığın liçi için kırma boyu, yığın stabilitesi, yüksekliğe karşı geçirgenlik, siyanürleme ve siyanür tüketimi, topaklandırma için gereken çimento miktarı, liç süresi, altın verimi, basamak yüksekliği ve serim tekniği gibi parametreler önem arz etmektedir [16].

Sürekli devam eden laboratuvar testleri ve gözlemler ile yığın liçinin kendine özgü riskleri büyük oranda azaltılabilir. Yığın liçi prosesinin sonuçları birkaç hafta bazen daha fazla sürede alındığından için tasarım ya da proses aşamasında yapılan hatalar çok sonra farkedilir ve ekonomik olarak düzeltilmesi maliyetli olur. Laboratuvarda yapılan tipik bir kolon testi düzeneği şekil 4-3'de verilmiştir.



Şekil 4-3 Laboratuvar Ölçekli Kolon Testi Düzeneği



#### 4.2.2. Zor Hava Koşullarında Tasarım

Yüksek dış sıcaklık, prosesi doğrudan etkileyen bir sorun değildir. Çok sıcak çöl iklimlerinde, damlatma ile çözelti verme sistemlerinde güneş ışığı çözeltiyi ısıtır. Bu yüzden gece olmasına rağmen çözelti sıcaklığı 15 derece üzerinde olabilir. Yüksek sıcaklık çözelti içinde çözünen oksijen miktarını düşeceği için altın çözünme hızı ve altın verimi azalır [16]. Düşük sıcaklık da yığın liçi uygulamalarında sorun olmaktadır. Nevada'daki birçok yığın liçinde soğuk kış aylarında verimlerde düşüş gözlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda aşağıdaki nedenlerden dolayı verimde düşüş olabilir.

- Donma sıcaklığına yaklaştığı için reaksiyon hızlarında yavaşlama olur. Karşılaştırma labotuar kolon testleri sonuçlarına göre ortam sıcaklığı 5°C'nin altına düştüğünde verimlerde ciddi miktarda düşük görülmüştür. Bu etki hem yığın liçini hemde geri kalan sulu devrede gözlenmiştir.
- Çözeltinin yığın içindeki süzülmesini etkileyen faktör olan viskosite, düşük sıcaklıklarda artığı için akışı zorlaştırır [1]. (Örneğin: 15°C'de 1.20 cP ve 40°C'de 0.66 cP) Soğuk bir iklime sahip olan Finlandiya'daki Talvivaara yığın liçi prosesine ait resim şekil 4-4'de verilmiştir.



Şekil 4-4 Finlandiya Talvivaara Yığın Liçi

### 4.2.3. Su Dengesi

Çöl iklimi gibi suyun az bulunduğu bölgelerde yapılan yığın liçi projelerinde su temini ve suyun buharlaşması arasındaki denge önemlidir [21]. Suyun buharlaşma mekanizmasına bağlı olarak, bir litre suyu buharlaştırmak için 580 kcal ısıya gerek vardır. Yığın bu ısıyı üç kaynaktan alabilir:

- Direk güneş ışınlarından
- Su yüzeyinden
- Yığına verilen sulama sisteminin verdiği havadan

Tropik veya bol yağış alan iklimlerde yapılan yığın liçi proseslerinde fazla suyun çözelti derişimine ve pH'sına etki edeceği bilindiğı için sistemden uzaklaştırılması gerekebilir. Suyu buharlaştırmak için değışik ekipmanlar kullanılabilir.

En zor su dengesine sahip olan yığın liçi projeleri, genellikle yüksek ve nemli iklimlerde olur. Bu tip iklimlerde yağmur ve kar yağışı bol ama buharlaşma azdır. Demokratik Kongo Cumhuriyet'indeki Namoya projesininden bir resim şekil 4-5'de verilmiştir.



Şekil 4-5 Nayoma Madeni Demokratik Kongo Cumhuriyeti

#### 4.2.4. Çözelti Uygulama Ekipmanları

Değişik ekipmanlar kullanılsa da ana hatlarda ekipmanlar için yayıcı ve yağmurlama sulama (wobbler sprinkler) sistemi kullanılır.

- Damlamalı sistemlerde çözelti 0,5-1,5 metrede bir delikten çözeltilerin yığına verilmesi en yaygın kullanımıdır. Bakım maliyeti düşüktür ve buharlaşma en düşük seviyededir. En zayıf yanı ise sürekli bir akış sağlayamamasıdır. Yığının en üstünün 1 m'lik bölümü üstüne yeni yığın katı daha eklenmeden verimli bir şekilde işlenemez. Bu damlama sistemini kullanmak için pahalı olan tıkanıklık önleyici anti-skalan kullanılmasına ve bazı hat içi filtreleme ihtiyacı vardır.
- Yağmurlama sistemleri birçok operasyonda kullanılmaya başlanmıştır. Damlamalı sistemlere göre en büyük avantajı akışı düzgün bir şekilde akış sağlamasıdır. 6x6 metrelik bir hat deseni ile kullanılabilir. Yağmurlama sistemleri ciddi bir sürekli kontrol ve bakım gerektirmektedir. Yalnız siyanürle

nemlendirilmiş bir yığının üstüne personel çıkarılması tehlikeli bir operasyondur. Bu bakımı yapacak kişilerin tamamıyla bu prosese uygun kişisel koruyucu ekipmanları ile çalışması gerekmektedir.

Yukardaki sistemlere göre çözelti uygulamanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür. Toplam borulama maliyeti kabaca  $0.60 \text{ \$/m}^2$  ya da  $0.05 \text{ \$/ ton}$ 'dur.

Ortalama bir iki çevrimli bir liç işleminde, 2 ton çözelti yığına gönderilir ve 1 ton çözelti kazanım tesisine gönderilir. Geri kalan miktar sistemde yığın-havuz bölümünde devrim yapar. Uygun besleme basıncı genelde 700 kPa (100psi) ve yüklü çözeltinin tesise verilme basıncı 200 kPa (30 psi)'dir. Bir ton cevher için gönderilen 2 ton çözeltinin pompa maliyeti ortalama yaklaşık olarak 0,14 \$/tondur. Çok yüksek yığınlarda ve buharlaşmanın istendiği durumlarda güç kullanımı 4,0kWs/ton'a kadar çıkabilmektedir [21].



Şekil 4-6 Yığın Liçinde Kullanılan Damlatma Sistemi

#### 4.2.5. Yığın Sahaları ve Havuzlar

İdeal yığın liç sahası için %1 eğime sahip nerdeyse düz yüzeyler uygundur. Genellikle bu düz yüzeye ulaşmak için bazı kazı dolgu işlemleri gerekebilir. Eğimin %3'ten fazla olduğu durumlarda, ön kenar 30 ila 50 m kademeli boşluklar bırakılarak

yığının duraylılığının yenilmesi engellenir. Bazı vadi yığın liçi uygulamalarında eğim %20 ya da 12<sup>0</sup> dereceyi bulabilir [21].



Şekil 4-7 Eğimli Arazide Yığın Liçi Uygulaması ve Havuzlar

#### **4.2.6. Madencilik, Cevher Hazırlama ve Serimi**

Madencilik faaliyetlerinde diğer madencilik faaliyetlerindeki gibi aynı üretim teknikleri ve ekipmanları kullanılır. Tüvenan cevher yığın sahasına serilebilir ve altın verimini artırmak için daha sık aralıklarla madende patlatılabilir. Yüksek yağış alan iklimlerde killi cevherler işlenirken madencilik faaliyetlerinde kilin tutacağı su miktarına dikkat edilmelidir.

Cevher hazırlama farklı şekilde olabilir. Tüvenan cevher direk yığın sahasına taşınıp serilebilir. Cevherin içeriği (Saprolit gibi) yüksek ise tipik olarak 2 kademeli merdaneli kırıcıdan geçirilip sonrasında topaklandırma tamburlarında topaklandırılıp konveyör sistemi ile yığın sahasına gönderilip serilir. Birçok cevher kırılıp kamyonlar ile taşınıp serilebilir ya da topaklandırılarak mobil bant ile de serilebilir. Çok sert cevherlerde ise genellikle birincil kırıcı olarak çeneli kırıcı ve sonrasında 2 kademeli konik kırıcılar kullanılarak istenilen boyuta indirgenir.

#### 4.2.7. Topaklandırma (Aglomerasyon)

Topaklandırma işlemi farklı şekillerde yapılabilir :

- Basitçe, cevher sert olup içindeki ince tanelerin oranı fazla olduğunda az miktarda su ile ıslatılarak ince tanelerin iri tanelere yapışması sağlanabilir.
- Killi ve çok ince malzemelerde ise çimento ve kireç taşıyıcı konveyör bantların dökülüş noktalarında eklenerek ince malzemeler topaklandırılabilir.
- Eğer cevher saf kil içeriyorsa (laterit, saprolit gibi) tambur kullanılarak topaklandırma yapılabilir.Öncelikle cevher 25-75mm arası bir boya kırılır. Sonra az miktarda su ve çimento eklenerek malzeme topaklandırma tamburuna beslenir. Burada ince taneler yuvarlanırken topaklanır. Genellikle tambur boyu ve tonajı birkaç faktöre bağlıdır.Ama tipik olarak 3.7m çapında ve 10m uzunluğunda bir topaklandırıcı saatte 750 ton kapasiteye sahiptir [16]. Himmetdede Projesinde kullanılan Aglomeratör'ün resmi şekil 4-8'de verilmiştir.



Şekil 4-8 Himmetdede Tesisinde kullanılan Senet Marka Aglomeratör (Topaklandırıcı)

#### 4.2.8. Kamyon ile Serim

Cevherin sert ve ince tanelerin çok az olduğu bir durumda, cevher geerimliliği yüksek olacağı için cevher kırılıp kamyon ile taşınıp serilebilir. Kamyon ile serim yapılırken segregasyon (ince ve iri taneleri ayrışması) olma ihtimali yüksektir. İri taneler yığının alt tarafında kalırken ince taneler yığının st tarafında olabilmektedir.

Kamyon ile serimde ayrıca, kamyonların ağırlığından dolayı yığının st kısmında cevherin sıkışması dolayı geerimliliği düşük bir bölüm oluşturabilmektedir. Birçok alışma sonucu 2 m'lik bir kısmın sıkışma gösterdiği belirlenmiştir. Bu sorunun üstesinden gelmek için birçok projede serim işleminden sonra yığının üstü bıçaklı iş makinası tarafından gevşetilmektedir.

Kamyon ile serimin dezavantajlarından biri de küçük projelerde büyük maden yollarına ve kamyonlarına ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak günde 100.000 ton serilecek büyük proseste, ilk yatırım maliyetleri açısından daha düşüktür [16]. Tipik bir kamyon ile cevher serimi şekil 4-19'da gösterilmiştir.



şekil 4-9 Kamyon İle Cevher Serimi

#### 4.2.9. Taşıyıcı Bant ile Serim

- Bir ya da birden fazla uzun sabit uzun bantlar cevheri tesisten yığın sahasına götürmek için kullanılır. Bu bantlar 150m uzunluğa sahip olabilirler. Tarkwa Gana projesinde kullanılan sabit bantların toplam uzunluğu 3km civarındadır.
- Çekirge denilen mobil bantlar sayesinde cevher sabit bantlardan yığına gönderilir. Eğimli bu mobil bantların uzunluğu 20-30m civarındadır.
- Yatay bant adı verilen mobil bant, serimi yapan banda besleme yapar.
- Yatay band ise serimi yapacak olan banda beslemeyi yapar.
- Radyal besleme bandı 25-50 uzunluğunda olup 10m uzunluğunda ileri-geri hareket edebilen uzatma parçasına sahiptir.
- Radyal besleyici yığını tarayarak geri geri hareket yaparak serme işlemini gerçekleştirir. Mesafe daraldıkça aralardaki çekirgeler çıkartılarak serim işlemi devam ettirilir [16].

Terra Nova firmasının ürettiği mobil bantların serim işlemi sırasında nasıl çalıştığı ile ilgili görsel şekil 4-10'da verilmiştir.



Şekil 4-10 Yığın Liçi İşleminde Serim



#### 4.2.10. Yığın Liçi Çözeltisinden Altın ve Gümüş Kazanımı

Yüklü çözelti içi aktif karbon dolu kolonlara alınır (CIC). Yüklenmiş aktif karbonlar sıcak kostik çözeltisinin kullanıldığı sıyırma ünitesine alınır [22]. Sıyırmadan alınan çözelti ise elektroliz hücrelerine yada içindeki gümüş içeriği fazla ise Çinko ile çöktürme yöntemi olan Merrill Crowe prosesine gönderilir. Bu proseslerden alınan metal en son ergitme ocağında dökülüp üretim gerçekleşir. Yığın liçi prosesinde kullanılan CIC tanklarının görseli Şekil 4-11’de verilmiştir.



Şekil 4-11 Yığın Liçi CIC Tankları

#### 4.3. Tane Boyunun Etkisi

Yığın liçi uygulamalarında cevher ocaktan çıktığı gibi liç işlemi yapılabildiği gibi belli bir kırma işlemine tabi tutulduktan sonra da liç işlemi yapılmaktadır. Serbestleşme ya da serbest yüzey oluşturarak altın ve siyanürün temas yüzeyini artırarak verimi artırmak amaçlanmaktadır. Yüzey alanına metal kazanımı için literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır.

2003 yılında C.Garcia tarafından yüzey alanının bakır verimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmasında Şili'de bulunan bir bakır madeninin 3 adet temsili örnekleme yapmıştır. Elde edilen örnekleri tüm yüzey alanı ve minerallerin açığa çıkan yüzey alanları belirlenmiştir. Elde edilen yüzey alanı kullanılarak tahmini bakır kazanımı hesaplanmıştır.

Kolon testleri için çapı 20.32 cm ve yüksekliği 1.5m olan kolonlar kullanılmıştır. 94 gün kadar süren kolon testleri sonucunda 3 farklı kompozitin 3 farklı kırma boyu dağılımına sahip olan örneklerinden  $d_{50}$ 'si en düşük olan örneklerde en yüksek bakır kazanımı elde edilmiştir.

3 boyutlu XTM teknolojisi sonucunda elde edilen bakır kazanımları kolon testleri ile karşılaştırılmıştır. Tahmini bakır verimi, kolon testlerinde elde edilen bakır verimlerinden bir miktar düşük olmuştur. Fakat, modelleme sonucunda gerçekleşen ve kolon testleri sonucunda elde edilen bakır verimlerinin yüzey alanı artıktıkça arttığı görülmüştür [24].

Liç işlemine tabi tutulan malzemenin tane boyu dağılımının rolü Videla et. al [25] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada serbestleşmenin, ya da serbest yüzey elde edilmesi için kırma boyunun inceltilmesinin metalürjik açıdan altın kazanımına olumlu etkisi olacağı belirtilmiştir. Fakat aynı şekilde tane boyu dağılımı içindeki ince tanelerin varlığı da çözeltinin süzülme hızı, geçirimsiz yüzey oluşturma ve akışı yavaşlatma gibi fiziksel açıdan yığındaki altın kazanımını olumsuz yönde etkileyebilir. Tane boyu dağılımı için, liç prosesinden altın kazanımı ve yığının dinamik durumu arasında bir denge olduğu belirtilmiştir.

## 5.0. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Bu çalışmaların ışığında Himmetdede cevheri için farklı kırma boyu dağılımlarının liç verime etkisi ve yığındaki çözeltinin akışının kontrolü açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Himmetdede Projesi Kayseri İli Kocasinan ilçesinin kuzeybatısında yer almakta ve aynı zamanda Nevşehir İli Avanos İlçesi sınırlarına girmektedir. Düşük tenörlü ve oksitli bir altın cevheri olan Himmetdede Projesi için yığın liçi uygulanmaktadır. Himmetdede proejsinin yeri Şekil 5-1'de gösterilmiştir.



Şekil 5-1 Himmetdede Projesi Lokasyonu

Bu cevher için McClelland Laboratories'de Metalurjik ve Mineralojik çalışmalar yürütülmüştür. Mineralojik testler için 6 farklı kompozit kullanılmıştır. XRD ile belirlenen mineralojik analiz sonuçları Çizelge 5-1'de verilmiştir [26].

**Çizelge 5-1** XRD Metodu İle Mineralojik Analiz Sonuçları

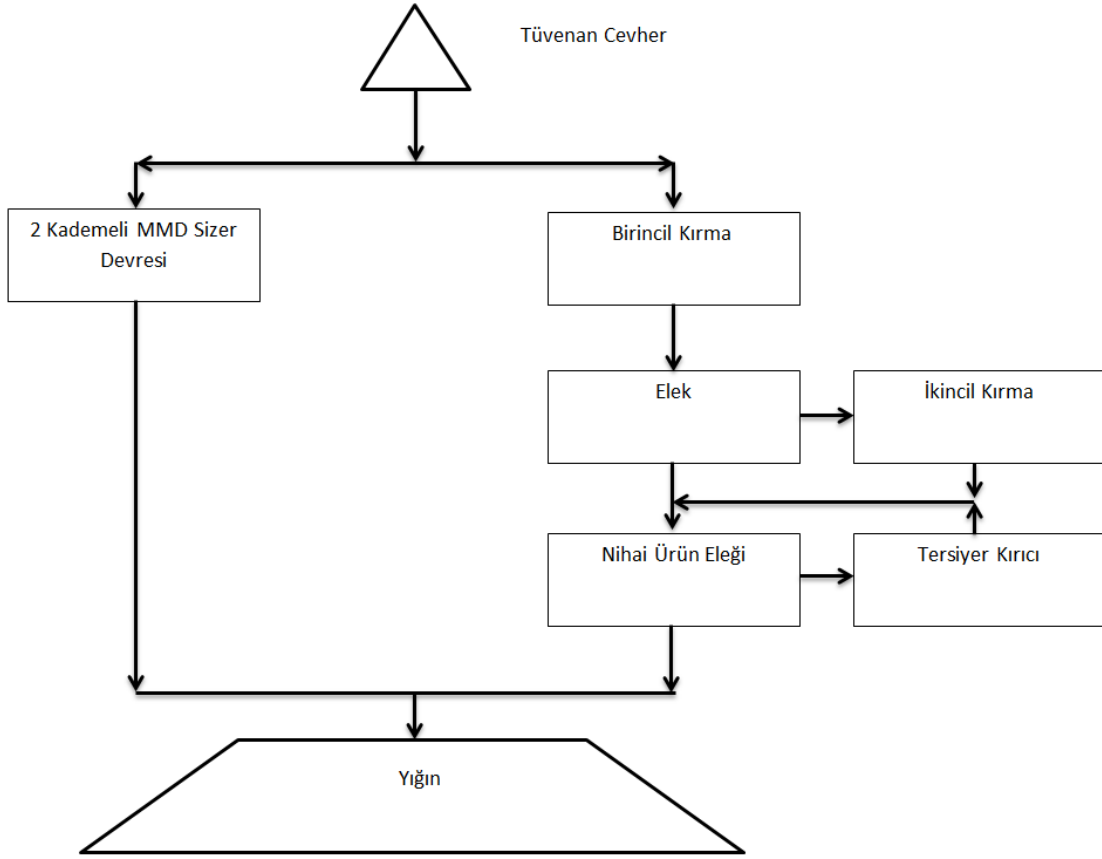
Mineraller	Kimyasal Formül	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Kuvarz	SiO <sub>2</sub>	50	42	41	20	39	26
Kaolin	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	30	40	38	15	38	14
Mika/Illit	(K,Na,Ca)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	-	<3	-	-	-	-
Kalsit	CaCO <sub>3</sub>	8	9	13	60	15	55
Dolomit	Ca(Mg,Fe)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	<3	<1	<1	<3	<3	<5
Götit	FeO(OH)	7	7	6	<3	<5	<3
Tanımlanamayan		<5	<5	<5	<5	<5	<5

XRD yöntemi ile analizlere göre cevherde %15 ila %40 arasında değişen oranlarda kil cevheri olan Kaolin bulunmaktadır. Ayrıca C4 örneğinde %60 oranında Kalsit minerali bulunmaktadır. Cevherin petrografik analizler sonucunda elde edilen kimyasal kayaç analizleri Çizelge 5-2’de verilmiştir.

**Çizelge 5-2** Kimyasal Kayaç Analiz Sonuçları

Analiz	Birim	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	8.47	11.4	11.55	5.32	11.8	4.58
BaO	%	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
CaO	%	3.87	4.02	5.62	29.8	6.59	28.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6.76	7.15	5.82	3.11	5.33	4.09
K <sub>2</sub> O	%	0.21	0.26	0.37	0.19	0.32	0.15
MgO	%	0.25	0.15	0.19	0.48	0.36	0.89
MnO	%	0.15	0.13	0.12	0.09	0.09	0.11
Na <sub>2</sub> O	%	0.02	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.16	0.12	0.14	0.09	0.11	0.08
SiO <sub>2</sub>	%	72.9	69.2	67.4	35.4	66.4	40.7
SrO	%	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	0.04
TiO <sub>2</sub>	%	0.35	0.43	0.48	0.26	0.44	0.2
Kızdırma Kaybı	%	8.18	8.92	10.25	26.2	9.61	22.0
Toplam	%	101.5	102	102	101	101	101
C (Toplam)	%	0.97	0.88	1.24	6.8	1.54	6.23
C (Organik)	%	0.05	0.04	0.05	0.08	0.04	0.06
C (Inorganik)	%	0.86	0.77	1.1	6.23	1.37	5.76
S (Toplam)	%	0.13	0.05	0.04	0.07	0.1	0.03
S (Sülfat)	%	0.02	0.02	0.01	0.02	0.1	0.01
S (Kükürt)	%	0.08	0.02	0.01	0.04	0.05	0.02

Metalürjik çalışmalar için 6 adet sondajdan hazırlanan kompozitlerden 32 mm ve 9.5 mm, iki kırma boyunda kolon testleri yapılmıştır. 32 mm kırma boyunda liç verimi %69,2 ila %84,2 arasında değişim göstermiştir. 9,5 mm kırma boyunda ise liç verimi %70-85 arasında değişmektedir. Geçirimsizlik testlerinde ise 54m'ye kadar herhangi bir sorun ile karşılaşmamıştır. Metalürjik testler sonucunda Şekil 5.2'deki akım şeması geliştirilmiştir.



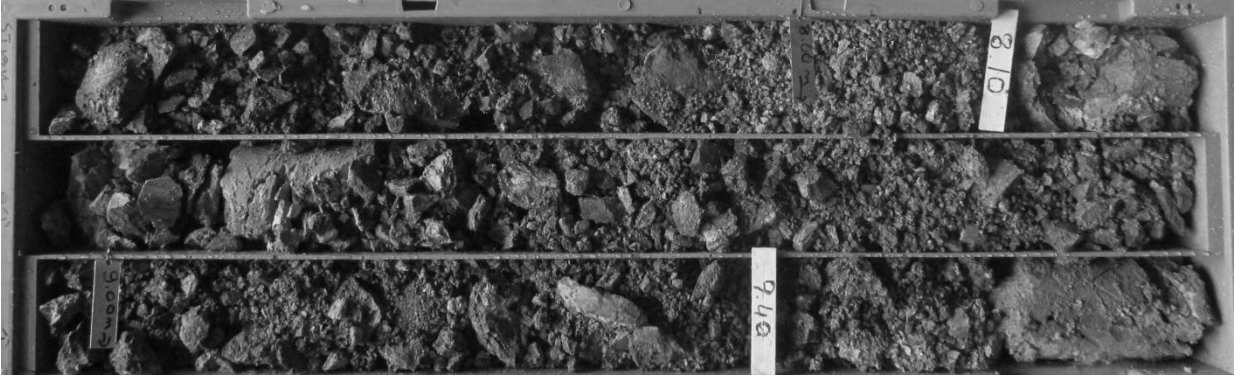
Şekil 5-2 Himmetdede Tesisi Kırıcı Devresi

Yapılan testler sonucunda killi cevheri ve kayaçlı cevheri işleyebilmek için paralel kırıcı hattı oluşturulmuştur. Ocak çıkışı gelen malzeme killi olması durumunda 2 kademeli boyutlandırıcı devresine verilirken, kayaçlı olması durumundan çeneli kırıcı, konik kırıcı ve eleklerden oluşan 3 kademeli kırma devresine verilmektedir. Kırılan

cevher mobil bantlar sayesinde yığın alanına taşınmaktadır. Serilen cevherin üstüne siyanür çözeltisi verilir, süzülen ve altınca zengin olan çözelti altın kazanım devresine gönderilir. Altın kazanım devresinden çıkan yüksüz çözelti siyanür miktarı ayarlanıp tekrar yığını ıslatmaya gönderilmektedir.

Maden üretiminde ocağın üst kotlarında çok fazla ince taneli cevher olduğu belirlendiği ve mineralojik testler sonucunda cevherin içinde kayda değer miktarda kil minerali olduğu bilindiği için jeometalürjik çalışma yapılması gereksimi duyulmuştur. Bu killi malzemenin yığın liğinde sıkışmasından kaynaklı geçirimsizlik problemleri oluşturabilme ihtimaline karşın ocak tek bir kompozit yerine bölge bölge araştırılmıştır. Bunun üzerine cevherin ve kil minerallerinin ocak içerisinde nasıl dağıldığını belirlemek için jeometalürjik sondajlar yapılmıştır.

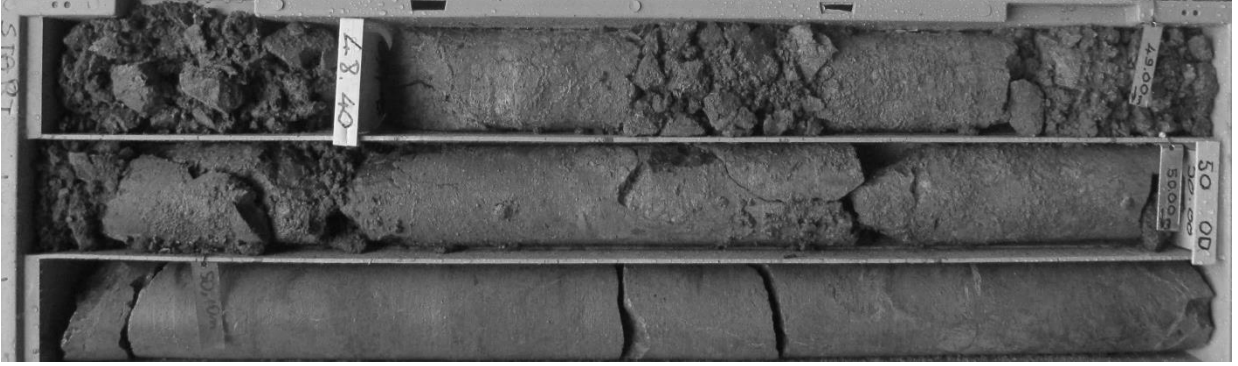
Yapılan sondajlar sonucunda karotların tek tek incelenmesi ile kilin büyük bir kısmının ocağın üst kotlarında olduğu gözlenmiştir. Az miktarda kilin de ocağın orta bölümlerinde yer aldığı gözlenmiştir. Alt kotlarda ise kil gözlenmemiştir. Bu sonuçlara göre açık ocağın derinliğe bağlı üç kompozite ayrılarak test yapılması planlanmıştır. En bölümde yer alan sondaj karotlarının tipik bir örneği Şekil 5-3'de verilmiştir.



Şekil 5-3 D1 Tipik Üst Bölge Örneği

D1 olarak tanımlanan bu kottaki malzenin genel olarak killi ve nemli olduğu gözlenmiştir. Kırma-eleme ve yığın liçi prosesinde sıkıntı yaratabileceği

düşünülmektedir. Ocağın orta bölümünde yer alan cevhere ait tipik karot örneği Şekil 5-4'de verilmiştir.



Şekil 5-4 D2 Tipik Orta Bölge Örneği

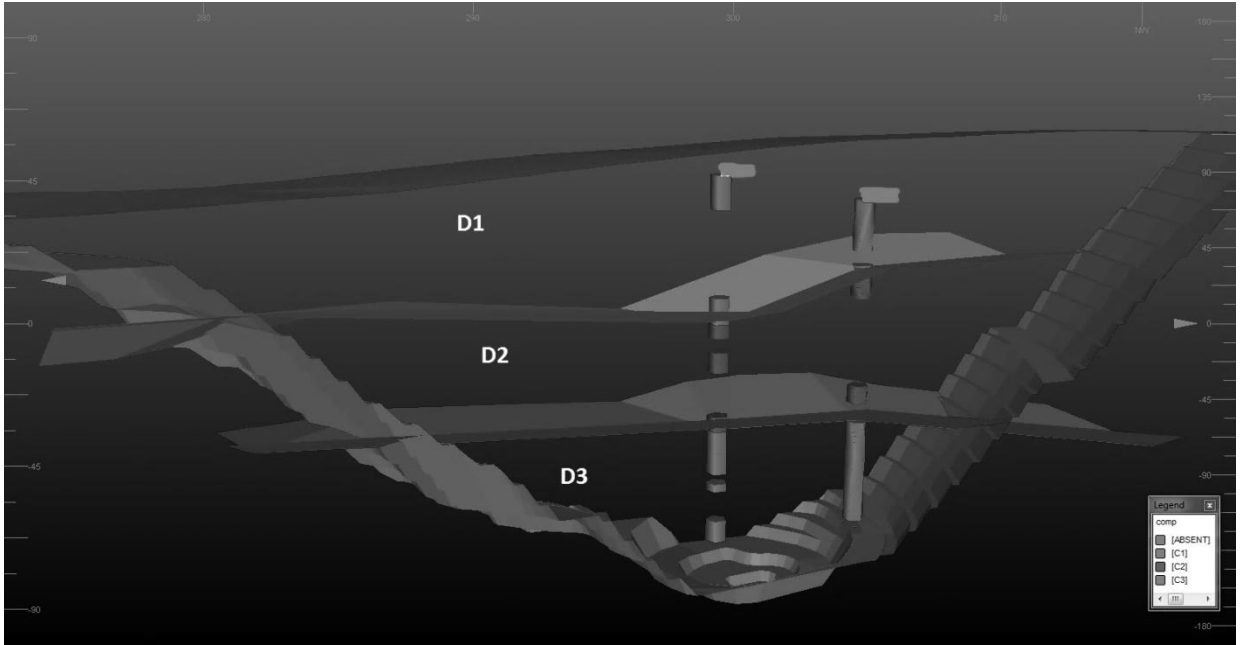
D2 olarak tanımlanan bu bölge de yer yer nemli killi bölge geçişleri bulunmaktadır. Sert kayaçlı yapılar bulundurmaktadır. Ocağın en alt bölümündeki cevherin tipik sondaj karot örneği Şekil 5-5'de verilmiştir.



Şekil 5-5 D3 Tipik Alt bölüm

Ocağın en alt bölümde kil yok denecek kadar azdır. Malzeme sert ve kayaçlı yapıdadır. Jeometalürjik olarak kompozitler belirlendikten sonra örnekler laboratuvar çalışmalarına gönderilmiştir.

Elde edilen veriler ışığında ocağın üç boyutlu modeli hazırlanarak ince taneli cevherin oluşturduğu üst bölümüne D1, orta bölümde yer alan hem ince hem kayaçlı tane içeren D2 ve ocağın tabanında bulunan ve kayaçlı yapıya sahip olan D3 bölgeleri detaylı bir içimde Şekil 5-6 'da gösterilmiştir.



Şekil 5-6 Ocağın 3 boyutlu Modeli

Farklı kırma boylarının yığın liçi prosesinde altın verimine ve yığın geçirimsizliğine etkilerinin incelemesi amacıyla aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

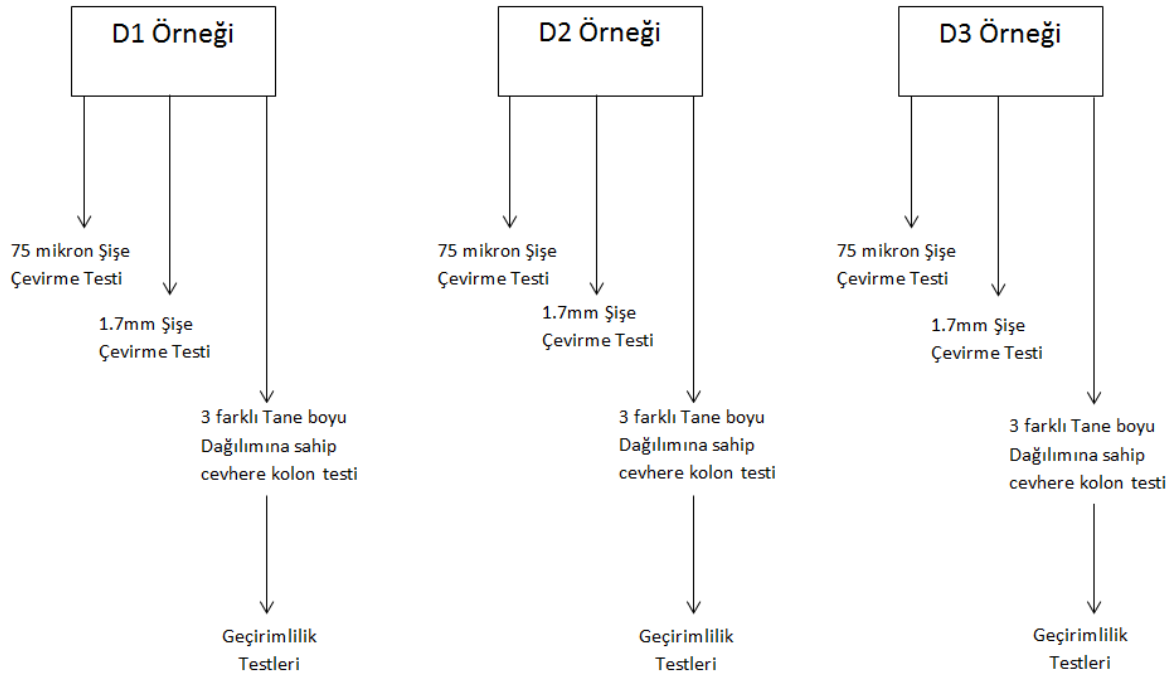
- Ocağın içinde cevherin nasıl değişkenlik gösterdiğinin önceki çalışmalardan elde edilen bilgilerle birlikte jeometalürjik çalışma ile belirlenmesi
- Laboratuvar ölçekli ince ve iri boy şişe çevirme testleri
- Laboratuvar ölçekli kolon testleri



- Laboratuvar ölçekli geçirimlilik testleri

Çalışmalara ilk olarak cevherin tanımlanması ile başlanmıştır. Görsel olarak yapılan incelemelere göre cevherin içinde prosesi etkileyecek kadar kil olduğu düşünülmüştür. Karotlar tek tek incelenerek kilin cevher içinde dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır. Cevher özelliğine farklı örnekler ayrılmıştır. Hazırlanan bu örnekler belirlenen kırma boyuna kırılıp kolon testi yapılmıştır. Altını liç edilmiş tükenmiş cevhere geçirimlilik testi yapılmıştır. Farklı basınçlar altında cevherin su geçirgenliği test edilmiştir.

Bu bölümde, her bir çalışma kendi içerisinde değerlendirilerek, çalışmalara ait koşullar ile elde edilen sonuçlar ve değerlendirilmeler bir arada sunulmaktadır. Toplanan veriler sonucunda Şekil 5-7'deki test programı hazırlanmıştır.



Şekil 5-7 Metalurjik Test Programı

Karotlardan hazırlanan D1, D2 ve D3 örnekleri öncelikle birincil kırma işlemine tabi tutulup -250 mm'ye kırılmıştır. Kırılan örnekler temiz bir yüzeye serilerek homojen bir karışım elde edilmesi için karıştırılmıştır. Elde edilen bu yığının birden fazla

noktasından numune alınıp besleme analizi için ayrılmıştır. Daha sonra konileme dörtleme yöntemi ile temsili numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ilk olarak kolon testleri için üç farklı boya dağılımına kırılmıştır. Şişe çevirme testleri için ise 1.7 mm ve 75 mikrona cevherin tamamı geçecek şekilde boyutu küçültülmüştür. Hazırlanan kompozitlerin ortalama besleme tenörleri Çizelge 5-2’de verilmiştir.

**Çizelge 5-3** Farklı boylarda Hazırlanan Örnekleri Analiz Sonuçları

<b>Kompozit</b>	<b>Altın (ppm)</b>	<b>Gümüş (ppm)</b>	<b>Kükürt %</b>
D1 A	0.57	0.27	<0.01
D1 B	0.77	0.84	0.08
D1 C	0.68	0.79	0.11
D2 A	0.56	1.06	0.13
D2 B	0.61	1.09	0.12
D2 C	0.64	1.27	0.11
D3 A	0.55	1.45	0.61
D3 B	0.67	1.64	0.61
D3 C	0.64	1.76	0.53

Ocağın üst ve orta bölümünde olan cevherin kükürt oranları çok düşük iken ocağın alt kotlarına inildikçe kükürt ve gümüş değerlerinin arttığı görülmüştür.

### **5.1. Şişe Çevirme Testleri**

Şişe çevirme testi bir şişenin içerisinde cevher ve çözücü çözeltinin birlikte belli bir süre çevrilmesi ile gerçekleştirilir. Şişelerin döndürülmesi vasıtasıyla cevher ve çözelti karıştırılıp liç edilmektedir. İnce boy şişe çevirme testi cevherin liçe ne kadar uygun olduğunun belirlenmesi için yapılmaktadır. İri boyda yapılan şişe çevirme testi ise kolon testi ne kıyasla çabuk sonuç vermektedir.

#### **5.1.1. İnce Boy Şişe Çevirme Testleri**

Her bir kompozit numunesi önce bilyalı değirmende %80’i 75 mikron olacak şekilde öğütülerek her bir kompozit için en az 2500 g numune hazırlanmıştır. Hazırlanan

numuneden bir miktar malzeme besleme analizi alınmıştır. Kalan numuneden yaklaşık 440-450 gram alınarak su ile birlikte %45 katı oranında test şişesine konulmuştur. Siyanürleme işlemi için pH 10.5 oluncaya kadar kireç ilave edilmiştir. pH 10.5'da siyanür derişimi 1000 ppm olacak şekilde NaCN ilavesi yapılmıştır. Test şişesi yan bir şekilde şişe çevirme düzeneğinin üzerine konulmuş ve liç işlemi için gereken oksijeni verebilmek için şişenin ağzından içeri sokulan hortum sayesinde oksijen verilip şişe döndürülerek liç işlemi başlatılmıştır. Belirli aralıklarla kontrol edilen tüketilen siyanür değerlerinde değışme olmadığı tespit edildiğı an test bitirilmiştir. Kullanılan test düzeneğı Şekil 5-8'te verilmiştir.



Şekil 5-8 Şişe Çevirme Testi Düzeneğı

Test başladıktan 2 gün sonra test sonlandırılmıştır. Şişedeki malzeme filtre edilerek katı ve sıvı ayrılmış ve analize gönderilmiştir. Atıkta kalan (katıdaki) altın ve çözeltiliye geçen altın miktarından yeni bir besleme tenörü hesaplanmıştır. Altın verimi hesaplanan altın tenörü ve katıdaki kalan altından hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5-4'de verilmiştir.

**Çizelge 5-4 İnce Boy Şişe Çevirme Testleri**

<b>Şişe Çevirme Testi Sonuçları</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
Başlangıç Tenörü (g/t)	0.75	0.68	0.45
Hesaplanan Besleme Tenörü (g/t)	0.62	0.60	0.57
Atık Tenörü (g/t)	0.04	0.05	0.20
NaCN Tüketimi (kg/t)	0.81	0.76	0.90
<b>Çözünme Oranı %Au</b>	<b>93.52</b>	<b>91.71</b>	<b>64.64</b>

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi ocağın en alt kotlarına inildikçe altının çözünme oranlarında düşüş görülmektedir. İnce boy şişe çevirme testlerine göre en yüksek verim D1 kompozitinde alınmıştır. D2 kompozitinde D1 kompozitine yakın bir verim elde edilirken, D3 kompozitinde elde edilen altın verimi %63.79 olarak belirlenmiştir.

### **5.1.2. İri Boy Şişe Çevirme Testleri**

Her bir örnekten alınan numuneler önce çeneli kırıcıda 1.7 mm'ye kırılarak her bir kompozit için en az 10 kilogramlık numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunedan bir miktar malzeme besleme analizi alınmıştır. Kalan örnekten yaklaşık 3000 gramı %40 katı olacak şekilde test şişesine su ile birlikte konulmuştur. Siyanürleme işlemi için pH 10.5 oluncaya kadar kireç ilave edilmiştir. pH 10.5 olduktan sonra siyanür derişimi 1000 ppm olacak şekilde NaCN ilavesi yapılmıştır. Test şişesi yan bir şekilde şişe çevirme düzeneğinin üzerine konulmuş ve liç işlemi için gereken oksijeni verebilmek için şişenin ağzından içeri sokulan hortum sayesinde oksijen verilerek liç işlemi başlatılmıştır. Belirli aralıklarla kontrol edilen tüketilen siyanür değerlerinde değışme olmadığı tesbit edildiği an test bitirilmiştir. Test koşulları Çizelge 5-5'de verilmiştir. Kullanılan test düzeneği de Şekil 5-9'da verilmiştir.

**Çizelge 5-5 İri Boy Şişe Çevirme Test Koşulları**

%Katı	Miktar (gr)	NaCN (ppm)	P100 (mm)	pH	Su (gr)	Liç Süresi(gün)
40	3000	1000	-1.7	10.5	4500	10



**Şekil 5-9 İri Boy Şişe Çevirme Test Düzeneği**

Test başladıktan 10 gün sonra sonlandırılmıştır. Şişedeki malzeme filtre edilerek katı ve sıvı ayrılmış ve analize gönderilmiştir. Atıkta kalan (katıdaki) altın ve çözeltiliye geçen altın miktarından yeni bir besleme tenörü hesaplanmıştır. Altın verimi hesaplanan altın tenörü ve katıdaki kalan altından hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5-6'da verilmiştir.

**Çizelge 5-6 İri Boy Şişe Çevirme Test Sonuçları**

<b>İri Boy Şişe Çevirme Testleri</b>			
<b>Örnekler</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
Başlangıç Tenörü gAu/t	0.75	0.75	0.64
Hesaplanan Tenör gAu/t	0.78	0.68	0.72
Atık Tenörü gAu/t	0.06	0.12	0.27
NaCN Tüketimi kg/t	1.07	1.17	1.44
<b>Altın Kazanımı %</b>	<b>92.31</b>	<b>82.22</b>	<b>62.50</b>

İri boy şişe çevirme test sonuçlarına göre en yüksek verim ince boy testinde de olduğu gibi D1 örneğinde olmuştur. D2 kompozitinde ise ince boy şişe çevirme test sonucuna göre %10'luk bir düşüş gözlenmiştir. D3 kompozitinde ise ince boy şişe çevirme test sonucuna yakın bir sonuç alınmıştır.

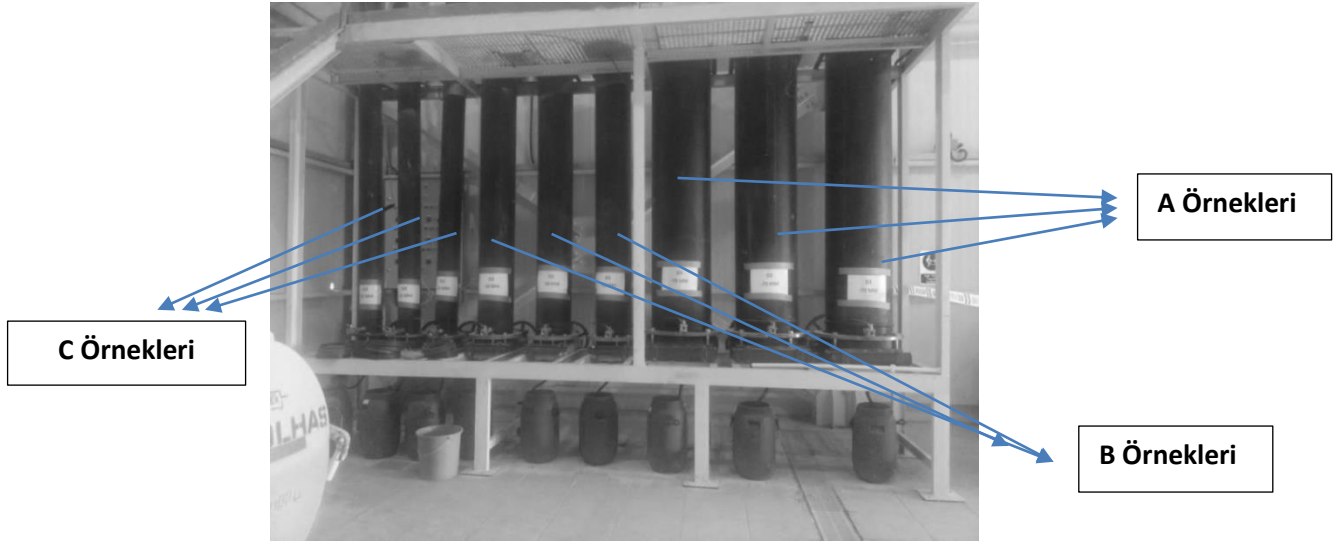
## 5.2. Kolon Testleri

Yığın liçi verimini laboravutar ortamında test edebilmek için kolon testi yapılmıştır. Bu yüzden 3 farklı kompozit ve 3 farklı tane boyu dağılımında toplam 9 adet kolon testi yapılmıştır. Kolon çapları kırma işlemi sonunda elde edilen maksimum tanenin boyunun minimum 6 katı olacak şekilde seçilmiştir. Bunun nedeni cevher içindeki iri tanelerin arasındaki boşluklardan kaynaklanabilecek olan çözeltinin kısa yollar yapıp normalde olması gerekenden daha hızlı bir şekilde süzülmesini engellemek içindir [27]. Cevher 3 m uzunluğundaki kolonlara cevher doldurulmadan önce örnekleme işlemi yapılmıştır. Örnekleme işleminde alınan malzemeye elek analizi yapılmış ve fraksiyonlardaki malzemeler analize gönderilmiştir. Test koşulları Çizelge 5-7'de verilmiştir.

Çizelge 5-7 Kolon Testi Koşulları

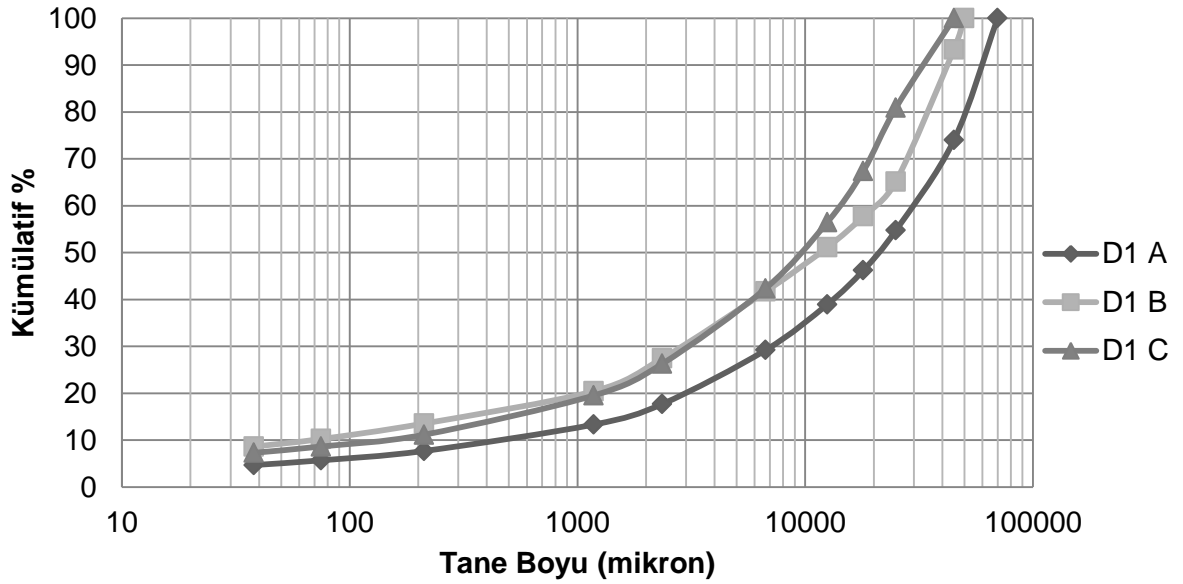
D1-D2-D3	Kolon Çapı (mm)	Kolon Boyu (m)	Kullanılan Malzeme Miktarı (kg)	pH	NaCN (ppm)
A Örnekleri	445mm	3m	757.0 kg	10.5	1000 ppm
B Örnekleri	305mm	3m	356.3 kg	10.5	1000 ppm
C Örnekleri	200mm	3m	158.3 kg	10.5	1000 ppm

Kompozitler kolonlara konulduktan sonra çözelti verilmeye başlanmış ve günlük siyanür konsantrasyonu kontrol edilmiştir. Kırma işlemin sonucunda elde edilen örnekler A,B ve C olarak isimlendirilmiştir. Testte kullanılan düzenek Şekil 5-10'da gösterilmiştir.



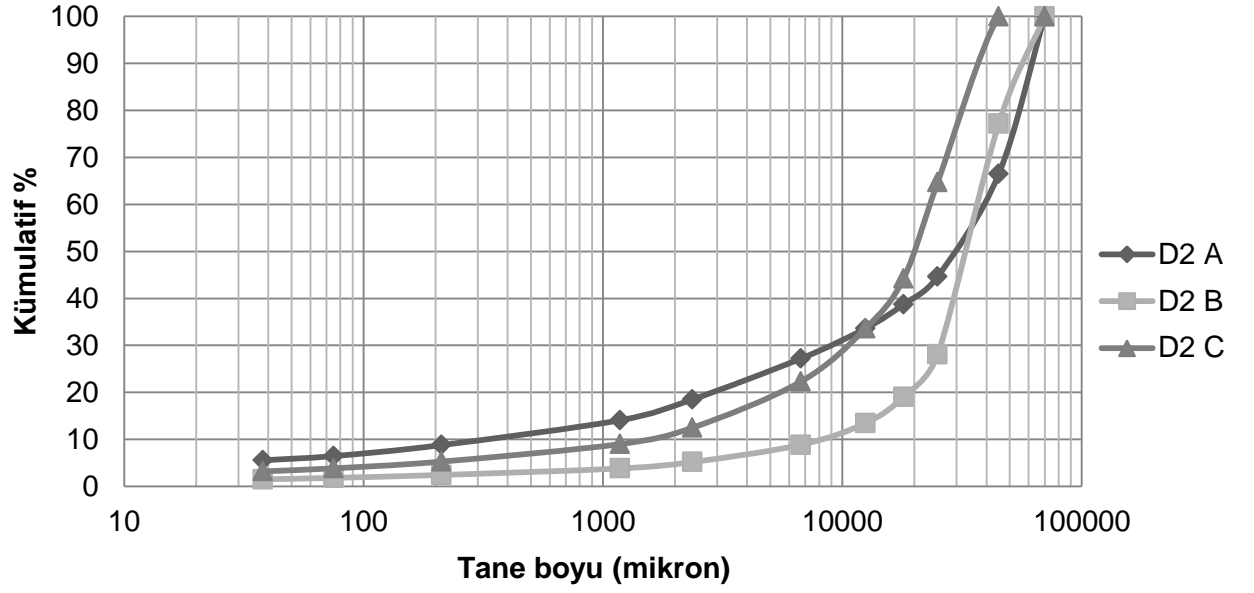
Şekil 5-10 Kolon Test Düzeneği

Malzemeler kolona yerleştirilmeden önce tüm örneklere yapılan elek analizleri Şekil 5-11, Şekil -12 ve Şekil-13'de verilmiştir.



Şekil 5-11 D1 Kompoziti Besleme Elek Analizleri

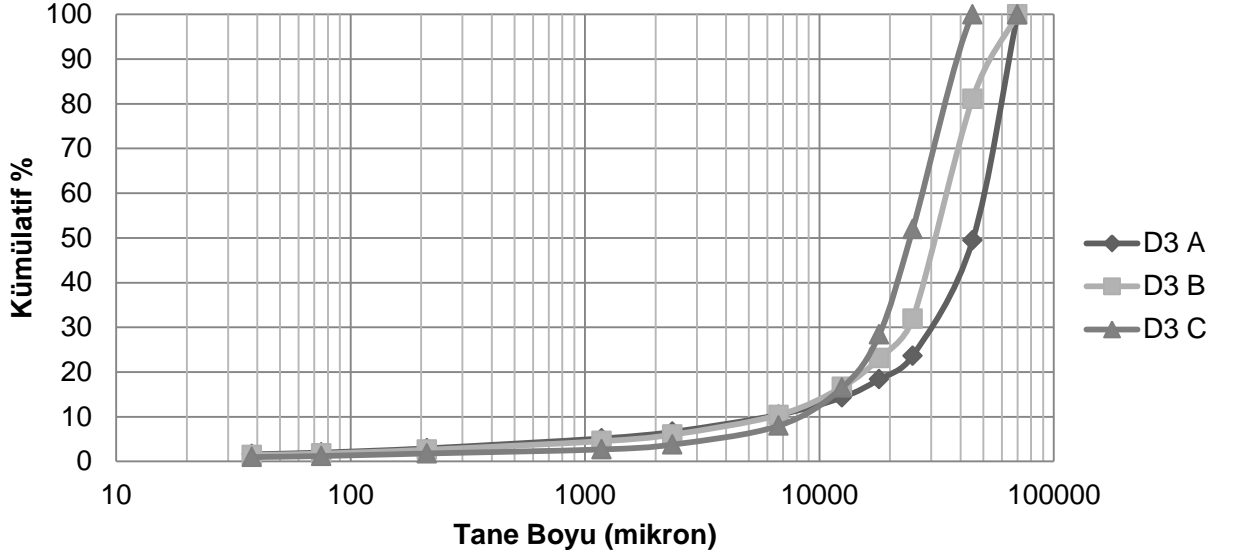
%80'i en büyük D1-A iken en küçük olan D1-C örneğidir. Ama D1-B örneğinde az da olsa diğer iki tane boyundan daha fazla ince vardır.



Şekil 5-12 D2 Kompoziti Besleme Elek Analizleri

En büyük tane boyları birbirlerine yakın olmasına rağmen  $P_{80}$  boyutu olarak en büyük D2-A iken en küçük olan D1-C örneğidir. Fakat ince boylardaki en fazla miktara D1-A örneği sahiptir. En az ince taneye ise D2-B örneği sahiptir.



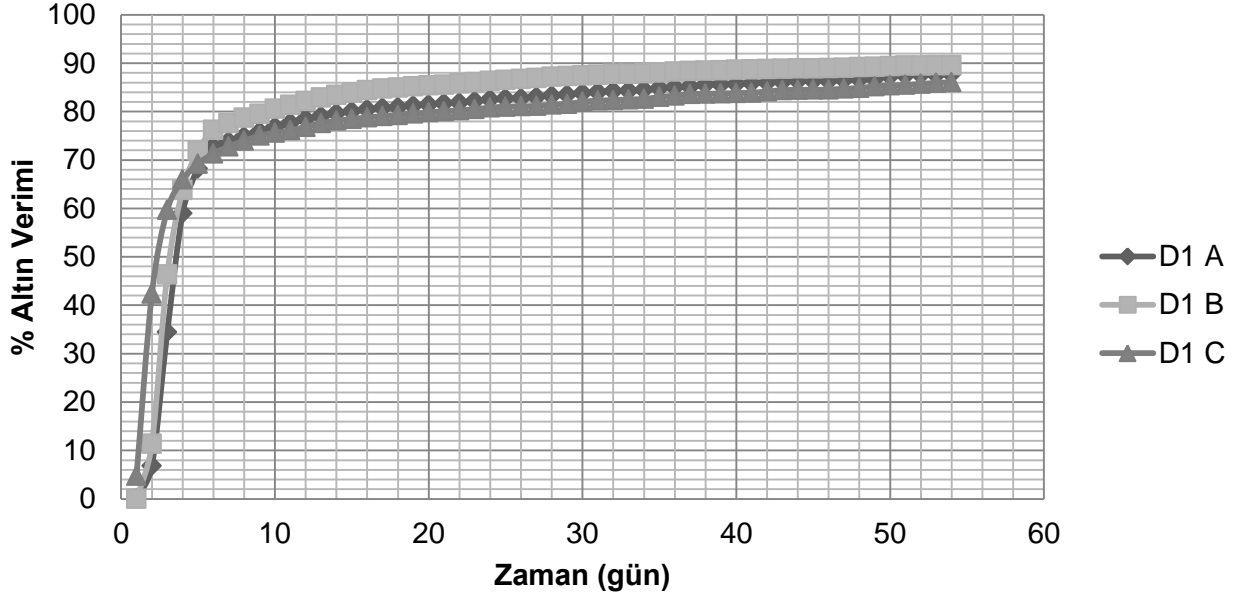


Şekil 5-13 D3 Kompoziti Elek Analizleri

En büyük tane boyları birbirlerine yakın olmasına rağmen  $P_{80}$  boyutu olarak en büyük D3-A iken en küçük olan D3-C örneğidir.

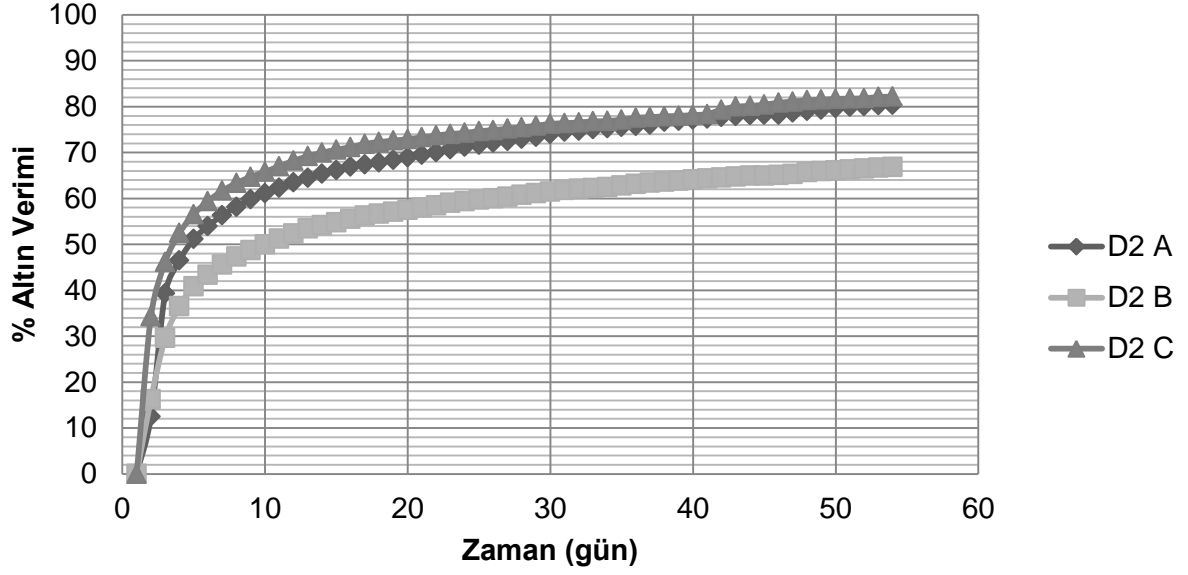
54 gün boyunca liç işlemine tabi tutulan kompozitlerde çözeltiliye geçen altın miktarının önemli ölçüde artmaması sonucunda kolon testi bitirilmiştir. Farklı kompozitlerin zamana bağlı verim değişimi Şekil 5-14, Şekil 5-15 ve Şekil 5-16'da verilmiştir.

54 gün boyunca süren kolon testlerinde günlük örnekler alınmıştır. Böylelikle liç kinetiği takip edilmiştir.



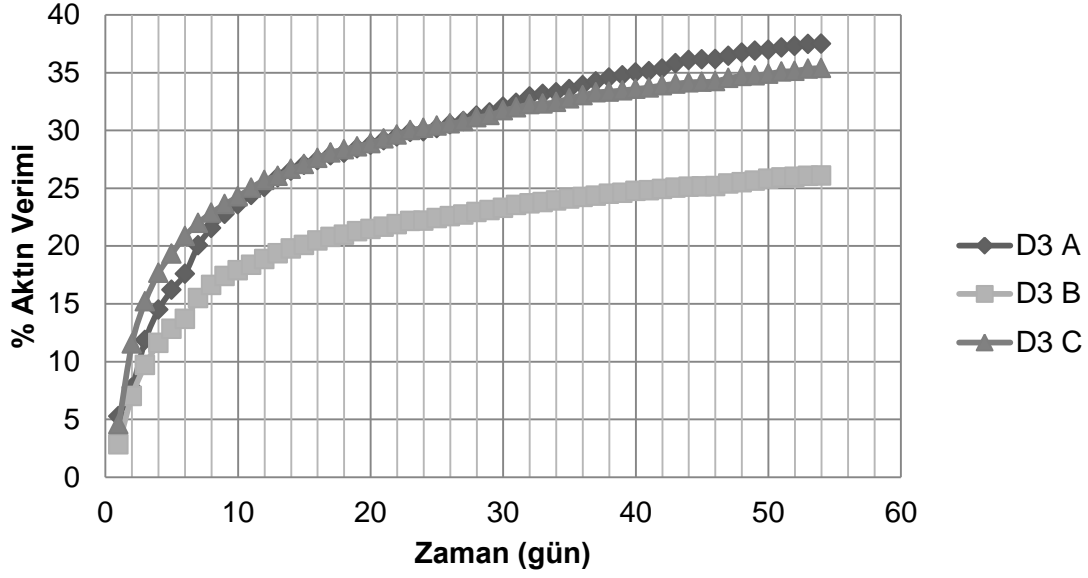
Şekil 5-14 D1 Kompoziti Kolon Testleri Liç Kinetiği

D1 kompoziti hızlı liç olmuştur. 10 gün sonra %80'e yakın altın çözeltiliye geçmiştir. İlk 10 günden sonra liç kinetiği yavaşlamıştır. Altın kazanımları 54 gün sonunda D1-A, D1-B ve D1-C örnekleri için sırasıyla %86.06, %89.51 ve %87.72 olarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek altın kazanımı D1-B örneğinde gerçekleşmiştir.



Şekil 5-15 D2 Kompoziti Kolon Testleri Liç Kinetiği

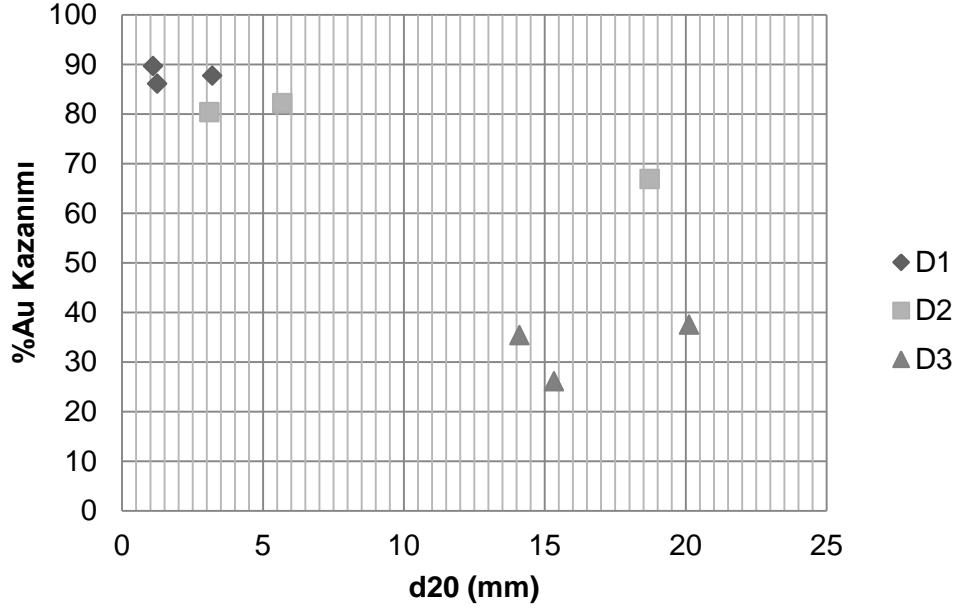
D2 kompozitinin liç hızı D1 kompozitine göre düşüktür. Altın kazanımları D2-A, D2-B ve D2-C için sırasıyla %80.36, %66.83 ve %82.16 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek altın kazanımı D2-A kompozitinde gerçekleşirken, D2-B kompozitinde altın kazanımı %66.83 olarak en düşük şekilde gerçekleştirilmiştir. Liç kinetiğine bakıldığı zaman D2 örneklerinin liç işleminin tamamiyle bitmediği ama bitmeye yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5-16 D3 Kompoziti Kolon Testi Liç Kinetiği

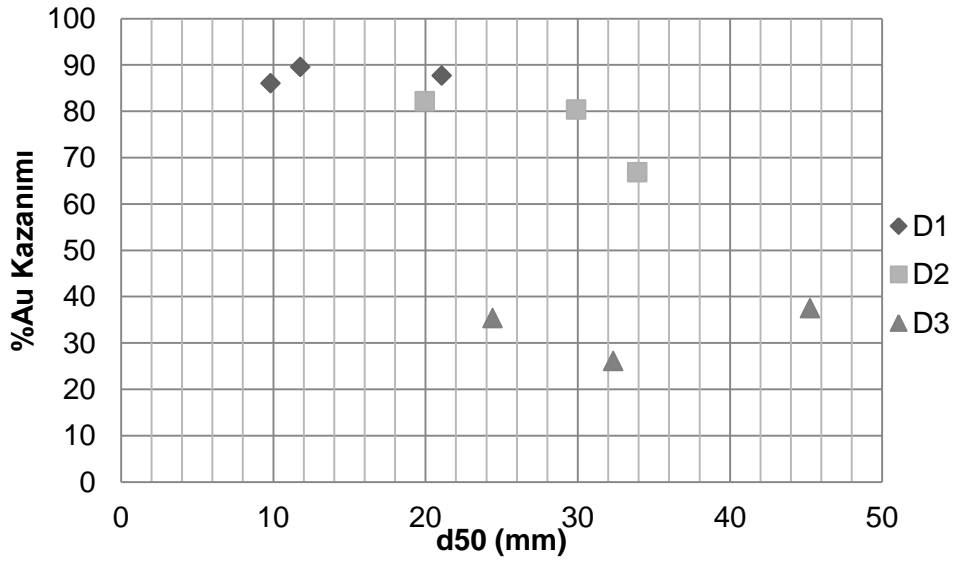
D3 kompozitinde altın kazanımı D3-A, D3-B ve D3-C için sırasıyla %37.50, %26.09 ve %35.38 olarak gerçekleşmiştir. Diğer kompozitlere göre D3 kompozitinin kolon testleri de şişe çevirme testlerinde olduğu gibi düşük altın kazanımı ile sonuçlandırılmıştır.

Bu verilere göre en yüksek verimin D1 bölgesinden alınacağı görülmüştür. D2 kompozitinde ise verim tıpkı şişe çevirme testlerinde olduğu gibi D1'den biraz düşük gelmiştir. Ayrıca şişe çevirme testlerinde en düşük verim alınan D3 kompozitinde tane boyunun inceltilmesi gerektiği görülmüştür. Örneklerin  $d_{20}$  kesme boyuna karşılık gelen altın kazanım grafiği Şekil 17'de verilmiştir.



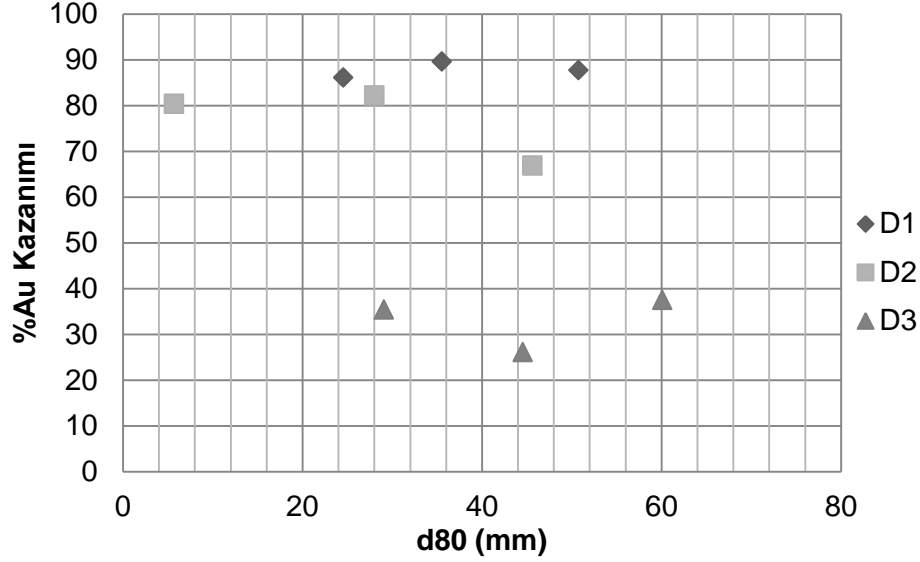
Şekil 5-17 d<sub>20</sub> Boyuna Karşılık Örneklerin Altın Kazanımları

D1 ve D2 örneklerinde d<sub>20</sub> kesme boyunun azalması altın kazanımını olumlu etkilediği görülmüştür. Fakat D3 örneklerinde bu durum gözlemlenmemiştir. Örneklerin d<sub>50</sub> kesme boyuna karşılık gelen altın kazanım grafiği Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 5-18 d<sub>50</sub> Kesme Boyuna Karşılık Örneklerin Altın Kazanımları

$d_{20}$  kesme boyuna karşılık altın kazanımı grafiğinde de olduğu gibi  $d_{50}$  kesme boyunun azaltmasının altın kazanımına D1 ve D2 örneklerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. D3 örneğinde ise böyle bir etki gözlemlenmemiştir. Örneklerin  $d_{80}$  kesme boyuna karşılık gelen altın kazanım grafiği Şekil 19'da verilmiştir.



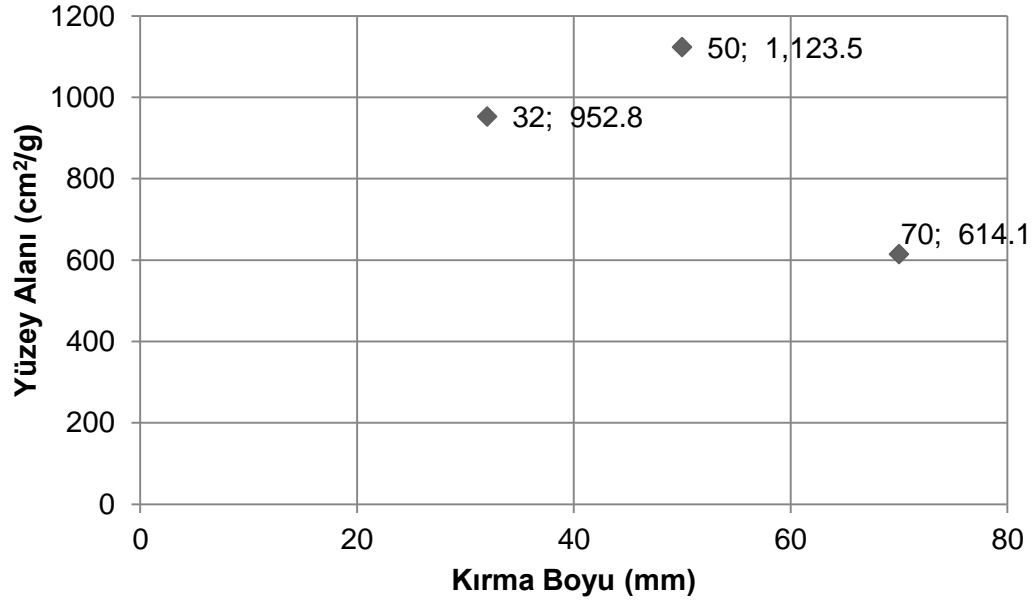
Şekil 5-19  $d_{80}$  Boyuna Karşılık Örneklerin Altın Kazanımı

D1 ve D2 cevherinde  $d_{50}$  ve  $d_{20}$  boylarının azalması altın kazanımını olumlu yönde etkilerken  $d_{80}$  boyunda böyle bir durum gözlenmemiştir. D1 ve D2 örneklerinin sahip olduğu ince tanelerinin yüzdesinin altın kazanımına olumlu etkisi olabileceği düşünüldüğü için teorik yüzey alanı hesaplanmaya çalışılmıştır. Her bir kırma işlemi sonucunda elde edilen örneklerdeki taneler şekil yönünden küresel olarak kabul edilip toplam yüzey alanı hesaplanmıştır. Örneklerle ait yüzey alanları Çizelge 5-8'te verilmektedir.

Çizelge 5-8 Kırma Boyu Dağılımlarının Yüzey Alanları

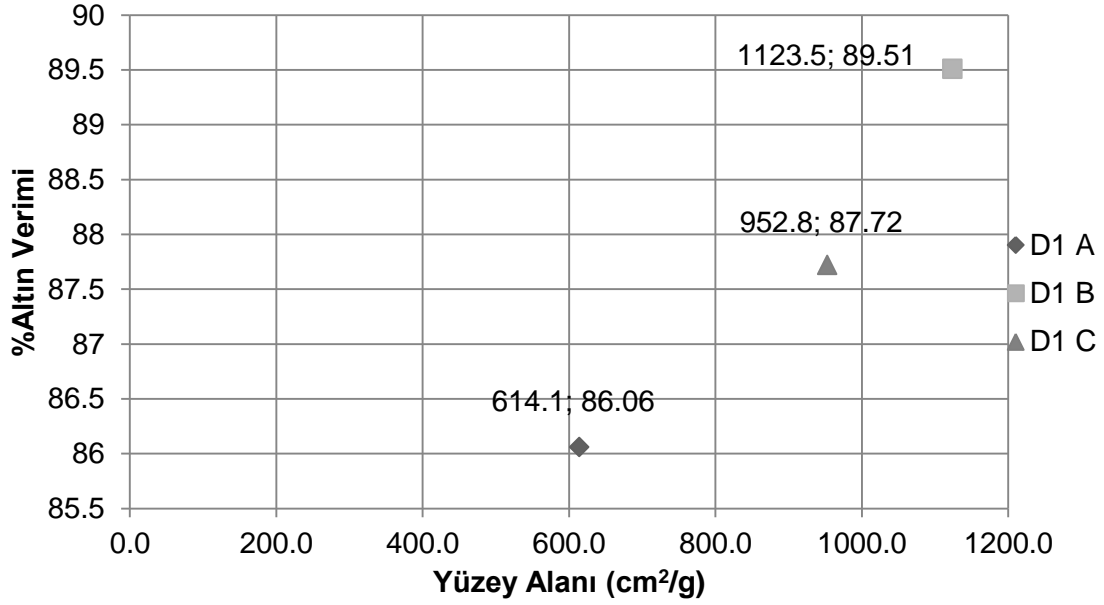
Teorik Yüzey Alanları(cm <sup>2</sup> /g)	
D1 A	614.09
D1 B	1123.52
D1 C	952.84
D2 A	686.43
D2 B	185.28
D2 C	397.08
D3 A	211.92
D3 B	179.54
D3 C	121.82

Böylelikle yüzey alanı ve altın kazanımı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. D1 Kompoziti Farklı Kırma Dağılımlarına Karşılık Gelen Yüzey Alanı Şekil 5-20'de gösterilmiştir.



Şekil 5-20 D1 Kompoziti Farklı Kırma Dağılımlarına Karşılık Gelen Yüzey Alanı

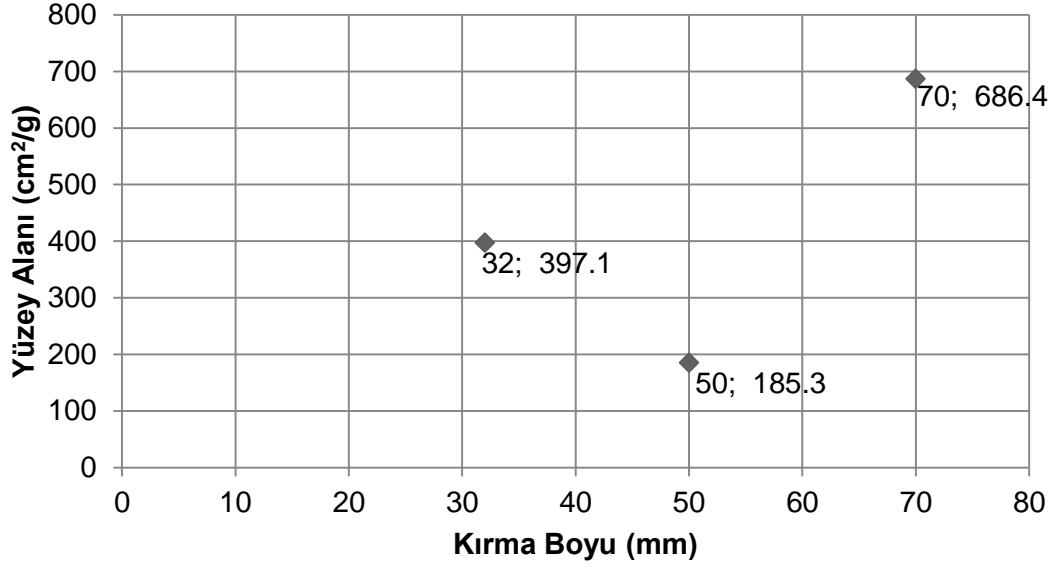
D1 kompozitinin farklı kırma boylarında kırılması sonucunda en fazla yüzey alanı 50mm kırma boyunda olmuştur. Altın kazanımının en yüksek olduğu örnek de yüzey alanının en fazla olduğu örnek olan 50mm kırma boyunda gerçekleşmiştir. Yüzey alanı arttıkça altın kazanımının arttığı görülmüştür. Elde edilen yüzey alanlarına karşılık altın kazanımı Şekil 5-21’de gösterilmiştir.



Şekil 5-21 D1 Kompiziti Yüzey Alanına Karşı Gelen Altın Verimi

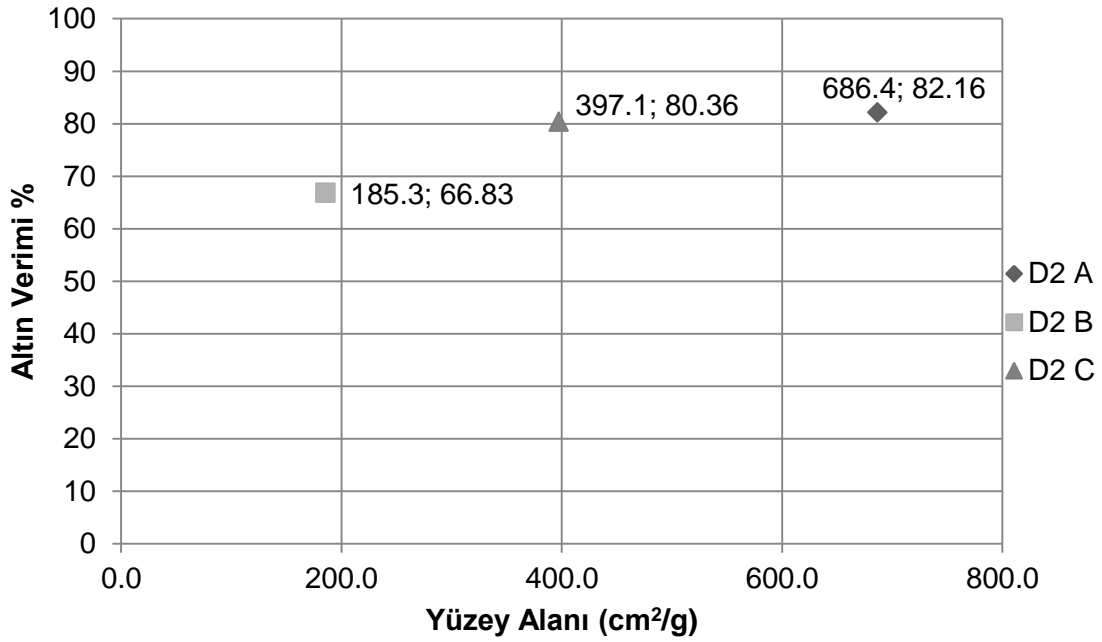
D1 kompozitine göre daha az ince tane içeren D2 kompozitinin farklı kırma boylarında elde edilen teorik yüzey alanı Şekil 5-22’de verilmiştir.





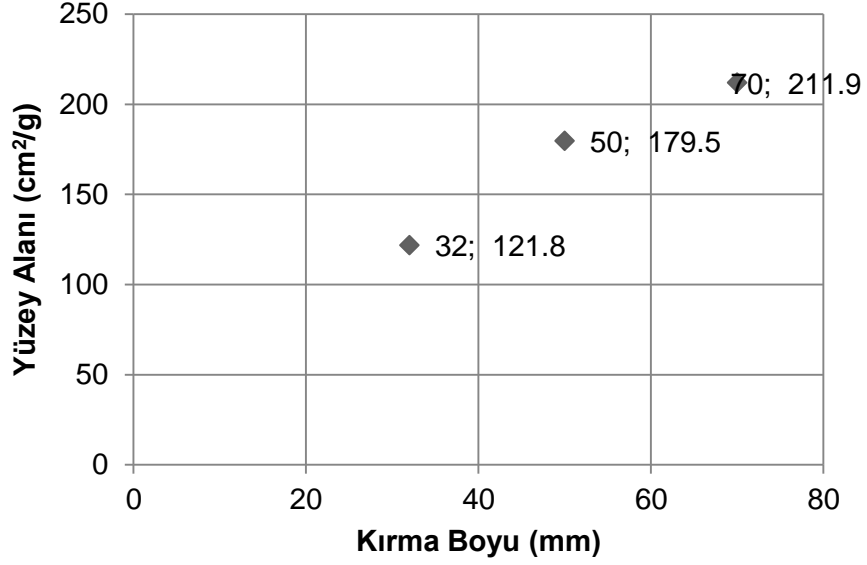
Şekil 5-22 D2 Kompoziti Farklı Kırma Boylarına Karşı Gelen Yüzey Alanı

D2 kompozitinin 50mm kırma boyunda diğer kırma boylarından düşük yüzey alanı elde edilmiştir. D2 kompozitinin yüzey alanına karşı gelen altın kazanımı grafiği Şekil 5-23'de verilmektedir.



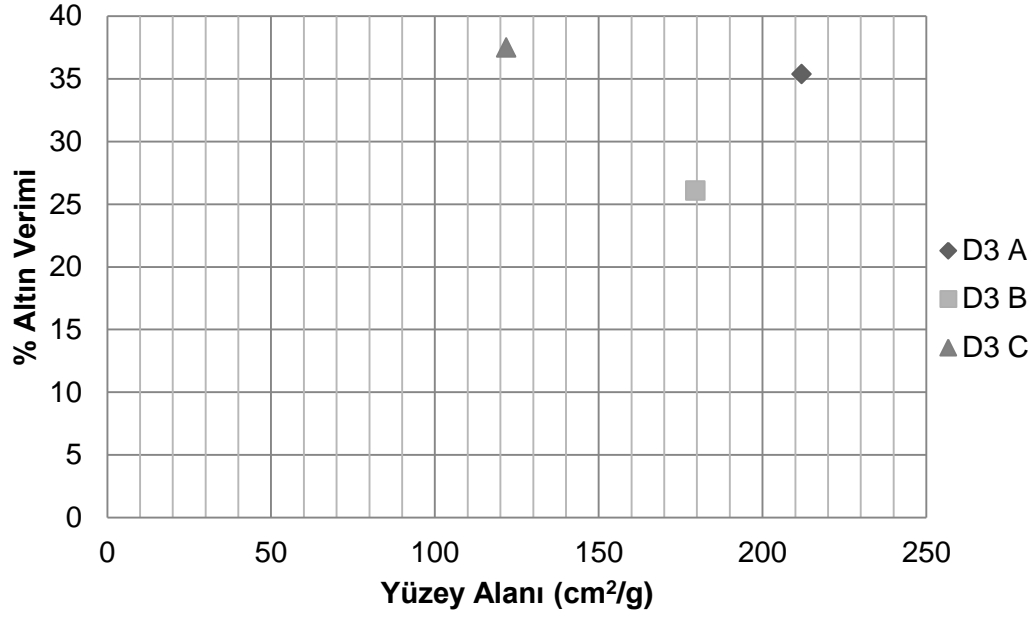
Şekil 5-23 D2 Kompoziti Yüzey Alanına Karşı Gelen Altın Verimi

D2 kompozitinde yüzey alanının artması ile birlikte altın kazanımının artmaktadır. Yüzey alanının en düşük olduğu -50mm kırma boyunda en düşük altın kazanım gerçekleşmiştir. D3 kompozitinin yüzey alanına karşı gelen altın kazanımı grafiği Şekil 5-24'de verilmektedir.



Şekil 5-24 D3 Kompoziti Farklı Kırma Boylarına Karşı Gelen Yüzey Alanı

Diğer kompozitlerden daha kayaçlı bir yapıya sahip olan D3 kompozitinde kırma boyu artıkça yüzey alanının arttığı açıkça görülmektedir. Yüzey alanına karşı gelen altın verimi Şekil 5-25'te verilmiştir.



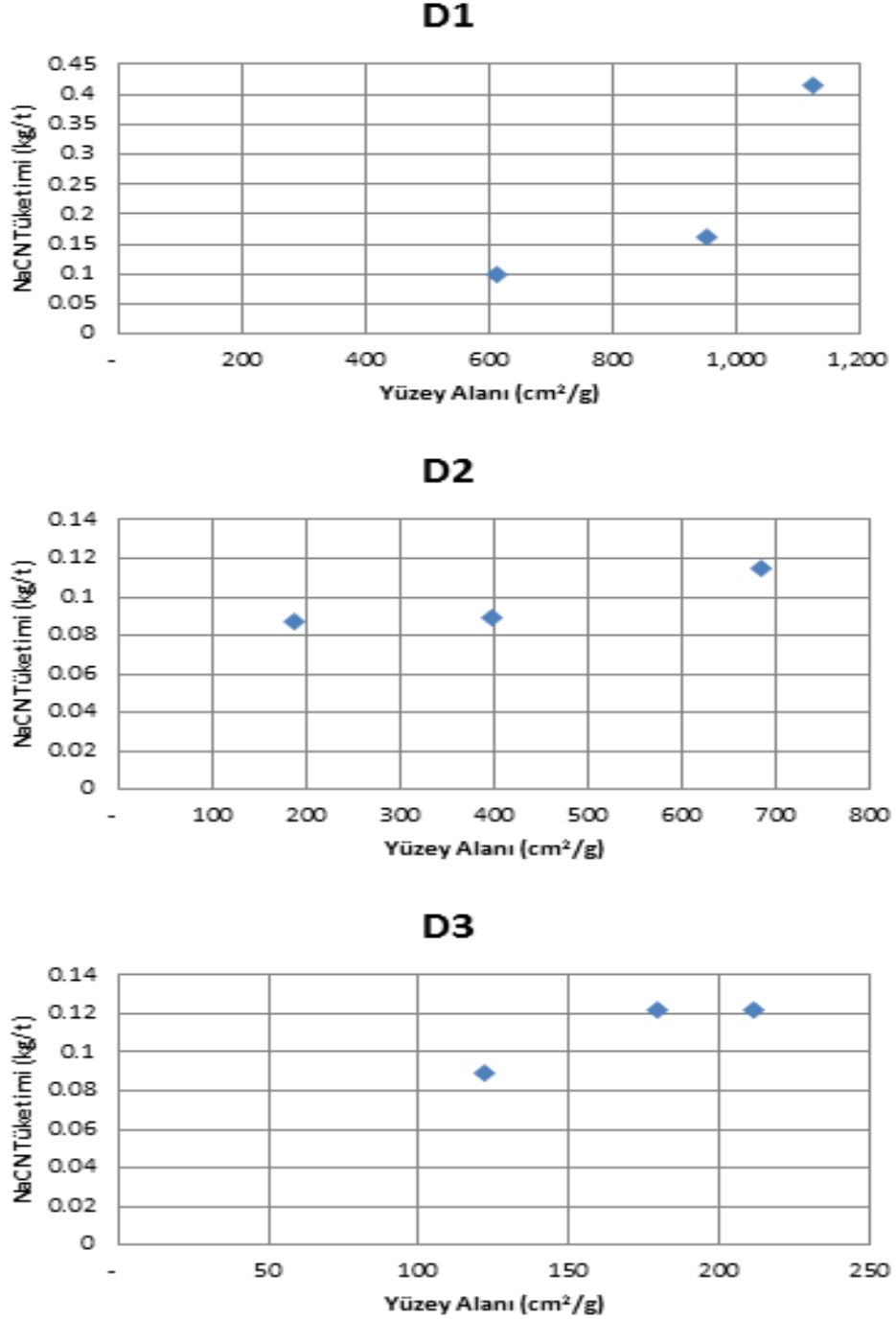
Şekil 5-25 D3 Kompoziti Yüzey Alanı Karşı Gelen Altın Verimi

D1 ve D2 kompozitinde yüzey alanı artıçça altın kazanımında da artış gözlenmişken D3 kompozitinde yüzey alanının artmasının altın verimine olumlu bir etkisi gözlenmemiştir. Kolon testleri sonrasında kompozitlerin siyanür tüketimleri de Çizelge 5-9'da verilmiştir.

Çizelge 5-9 Siyanür Tüketimleri

Örnek	NaCN Tüketimi (kg/ton)
D1 A	0.100
D2 A	0.115
D3 A	0.122
D1 B	0.416
D2 B	0.087
D3 B	0.122
D1 C	0.163
D2 C	0.089
D3 C	0.090

Yüzey alanın siyanür tüketimi ile ilişkisini belirleyebilmek için Şekil 5-26'deki grafikler çizilmiştir.

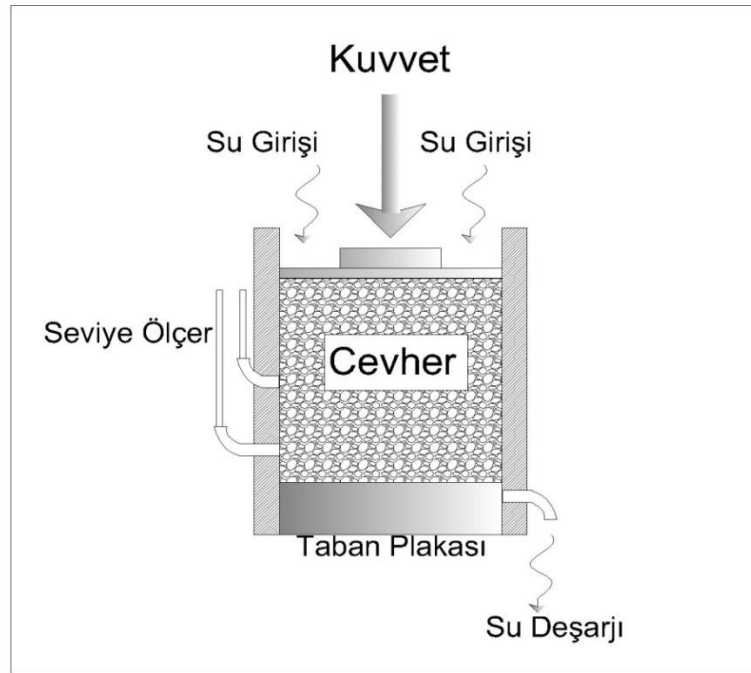


Şekil 5-26 Yüzey Alanı-NaCN tüketimi ilişkisi

D1 ve D2 kompozitlerinde yüzey alanı artıkça altın verimi ile birlikte NaCN tüketimi de artmaktadır. Ancak aynı durum D3 kompoziti için gözlenmemiştir.

### 5.3. Geçirimsizlik Testleri

Geçirimsizlik testi yığın liçi prosesleri için büyük önem taşır. Burada amaç yığın geçirimsizliğinin kaç metre yükseklikten sonra yığının ağırlığından kaynaklanan basınçtan dolayı geçirimsizliğin azalmaya başlayacağını belirlemektir. Test düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5-27’te verilmektedir.



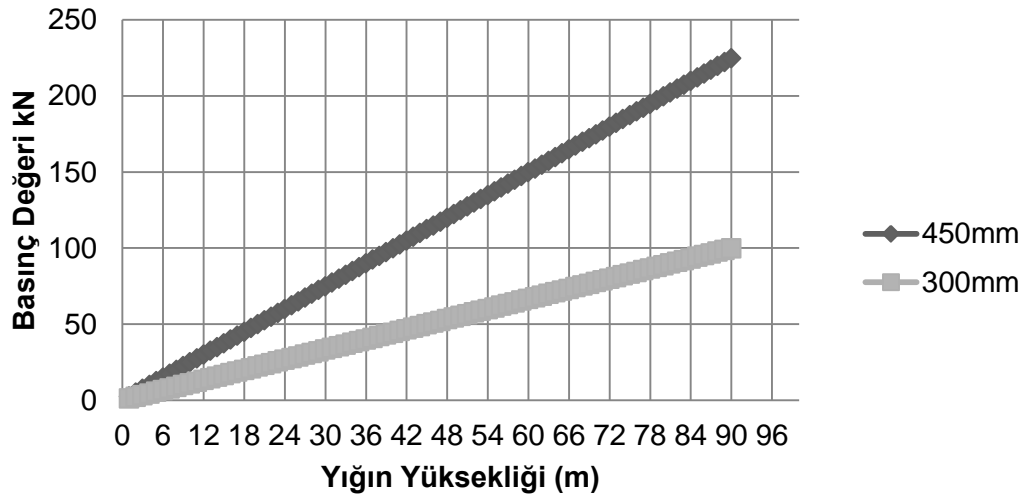
Şekil 5-27 Geçirimsizlik Testi

Geçirimsizlik testi ile yük altında malzemenin geçirimsizliği test edilmeye çalışılmaktadır. Seviye ölçer borular sayesinde düzeneğin içinde geçirimsizlikte sorun olup olmadığı ve göllenme olup olmadığı kontrol edilir. Kullanılan test düzeneğinde yükseklik/tabana oranı 1’den büyük tutulmaktadır [28]. Testte kullanılan geçirimsizlik testi düzeneği Şekil 5-28’te verilmiştir.



Şekil 5-28 Geçirimlilik Testi Düzeneği

Uygulanacak kuvvet uygulama yüksekliği ve düzenek çapına göre değişiklik göstermektedir. Test edilecek yükseklikler sırasıyla 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, ve 54 m olarak belirlenmiştir. Test için çapları iki farklı hücre kullanılmıştır. Seçilen çaplar cevherin içindeki maksimum tane büyüklüğünün en az 6 katı olacak şekilde belirlenmiştir. İki farklı çapta hücre kullanılması yüzünden yüksekliğe karşı basınç değerleri Şekil 5-29'da verilmiştir.



Şekil 5-29 Geçirimlilik Testi Yüksekliğe Karşı Basınç Değerleri

Sisteme yük verildikten sonra malzemede çökme meydana gelmektedir. Bu çökme miktarı sifıra yakın bir değer aldıktan sonra sisteme yukarıdan saatte 100L/m<sup>2</sup> olacak şekilde su verilir. Küçük hücreye verilen akış miktarı 117 ml/dakika iken büyük hücrede 265 ml/dakika olarak hesaplanmıştır. Yük altında bırakılan sistem 24 saat boyunca takip edilir. Eğer bu süre sonunda geçirimsilikte herhangi bir sıkıntı olmazsa ise, kuvvet arttırılarak teste devam ettirilir. Test, geçirimsilikte sıkıntı olana dek devam eder. Geçirimsilikte bir sıkıntı olması durumunda seviye ölçer borulardan suyun taşması ya da test düzeneğinin üstünde göllenme olması beklenir.

### 5.3.1. D1 Kompoziti Geçirimsilik Testleri

Farklı kırma boylarına kırılan D1 cevherinin kolon atık malzemesi yıkama işleminden sonra geçirimsilik testine alınmıştır. Farklı basınç altında gerçekleştirilen testlerde geçirgenlikte ciddi bir azalma gözlemlendiğinde test durdurulmuştur.

En büyük tane boyu -70 mm olan A örneği geçirimsilik testinde sırasıyla 12,18,24,30,36,42,48 ve 54 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç altında bırakılıp su çevrimi yapılmaya çalışılmıştır. İlk yük verildiğinde 23.90 mm ve su verildiğinde ise 43.79mm çökme gözlenmiştir. D1 A örneğinin geçirimsilik testi sonuçları Çizelge 5-10'de verilmiştir.

**Çizelge 5-10 D1 A Geçirimsilik Testi**

<b>D1 A (-70mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsilik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
12	265.00	265.00	Akış Düzgün
18	265.00	265.00	Akış Düzgün
24	265.00	171.00	Kısmi göllenme
30	265.00	93.00	Geçirimsilikte Ciddi Azalma

30m'ye denk gelen basınç değerinde D1 -70mm cevheri geçirgenlik özelliği büyük oranda kaybetmiştir. Bu yüzden test 30m'de bitirilmiştir.

En büyük tane boyu -50mm olan B rneğin kolon testi atığından alınan malzeme sırasıyla 12, 18, 24, 30 ve 36 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç altında bırakılıp su çevrimi yapılmaya çalışılmıştır.İlk yk verildiğinde 26.24mm ve su verildiğinde ise 37.84 mm çökme meydana gelmiştir. D1 B örneğinin geçirimlilik testi sonuçları şekil 5-11'de verilmiştir.

**Çizelge 5-11 D1 B Geçirimlilik Testi**

<b>D1 B (-50mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimlilik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
12	117	115	Akış Düzgün
18	117	114	Akış Düzgün
24	117	104	Kısmi göllenme
30	117	91	Kısmi göllenme
36	117	71	Geirimlilikte Ciddi Azalma

D1 B rneğinde 24 metreden sonra kısmı göllenmeler görülmüş ve 36 metrelik basınç altında ciddi oranda geçirimliliğini kaybetmiştir.

En büyük tane boyu -32 mm olan c örneğin kolon testi atığından alınan malzeme sırasıyla 12, 18, 24, 30 ve 36 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç altında bırakılıp su çevrimi yapılmaya çalışılmıştır.İlk yk verildiğinde 56,05 mm ve su verildiğinde ise 65,71 mm çökelme meydana gelmiştir. D1 C örneğinin geçirimlilik testi sonuçları şekil 5-12'de verilmiştir.



**Çizelge 5-12 D1 C Geçirimsizlik Testi**

<b>D1 C (-32mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
12	117	117	Akış Düzgün
18	117	116	Akış Düzgün
24	117	117	Akış Düzgün
30	117	116	Akış Düzgün
36	117	116	Akış Düzgün
54	117	117	Akış Düzgün

D1 C örneğinde 54m yüksekliğe kadar su akışında bir sıkıntı gözlenmemiştir.

### **5.3.2. D2 Kompoziti Geçirimsizlik Testleri**

En büyük tane boyu -70 mm olan A örneği geçirimsizlik testinde malzeme sırasıyla 18, 24, 30, 36, 42, 48 ve 54 metreye eşdeğer basınç altında bırakılarak su çevrimi yapılmıştır. Yük altındaki ilk çökme miktarı 25.83 mm'dir. Su çevrimi yapılırken 45.37 mm çökme gözlemlenmiştir. D2 A örneğinin geçirimsizlik testi sonuçları Çizelge 5-10'da verilmiştir. D2 A örneğinin test sonuçları Çizelge 5-13'da verilmiştir.

**Çizelge 5-13 D2 A Geçirimsizlik Testi**

<b>D2 A (-70mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	265	264	Akış Düzgün
24	265	264	Akış Düzgün
30	265	265	Akış Düzgün
36	265	261	Akış Düzgün
42	265	262	Akış Düzgün
48	265	260	Akış Düzgün
54	265	264	Akış Düzgün

D2 A örneğinde 18 metreden 54 metreye kadar geçirimsizlikte herhangi bir sızıntı gözlenmemiştir.

En büyük tane boyu -50mm olan B örneğin kolon testi atığından alınan malzeme sırasıyla 12, 18, 24, 30 ve 36 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç altında bırakılıp su çevrimi yapılmıştır. Yük altında ilk çökme miktarı 13,39mm ve su çevrimi yapılırken 32,31mm çökme gözlenmiştir. D2 B örneğinin geçirimsizlik testi sonuçları Çizelge 5-14'da verilmiştir.

**Çizelge 5-14 D2 B Geçirimsizlik Testi**

<b>D2 B (-50mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	117	117	Akış Düzgün
24	117	114	Akış Düzgün
30	117	116	Akış Düzgün
36	117	117	Akış Düzgün
48	117	117	Akış Düzgün
54	117	117	Akış Düzgün

D2 B örneğinde 54 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç değerine kadar geçirimsizlikte herhangi bir sızıntı gözlenmemiştir.

En büyük tane boyu -32mm olan D2 C örneği sırasıyla 18, 24, 30, 36, 42, 48 ve 54 metreye eşdeğer basınç altında bırakılarak su çevrimi yapılmıştır. Yük altında ilk çökme miktarı 35,0mm'dir. Su çevrimi yapılırken 49,9mm çökme gözlenmiştir. D2 C örneğinin geçirimsizlik testi sonuçları Çizelge 5-15'de verilmiştir.

**Çizelge 5-15 D2 C Geçirimsizlik Testi**

<b>D2 C (-32mm)</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	117	117	Akış Düzgün
24	117	117	Akış Düzgün
30	117	116	Akış Düzgün
36	117	116	Akış Düzgün
42	117	115	Akış Düzgün
48	117	116	Akış Düzgün
54	117	117	Akış Düzgün

D2 C örneği 54 metre yüksekliğe eşdeğer basınca kadar akışlarda herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir.

### 5.3.3. D3 Kompoziti Geçirimsizlik Testleri

En büyük tane boyu -70mm olan D3 A örneği sırasıyla 18, 24, 30, 36, 42, 48 ve 54 metreye eşdeğer basınç altında bırakılarak su çevrimi yapılmıştır. Yük altında ilk çökme miktarı 14,53 mm'dir. Su çevrimi yapılırken 15,11 mm çökme gözlemlenmiştir. D3 A örneğinin test sonuçları Çizelge 5-16'da verilmiştir.

**Çizelge 5-16 D3 A Geçirimsizlik Testi**

<b>D3 -70mm</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	265	263	Akış Düzgün
24	265	264	Akış Düzgün
30	265	265	Akış Düzgün
36	265	261	Akış Düzgün
42	265	263	Akış Düzgün
48	265	262	Akış Düzgün
54	265	264	Akış Düzgün

D3 A örneği 54 metrelik yüksekliğe karşı gelen basınç değerine kadar geçirimlilikte herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir.

En büyük tane boyu -50mm olan D3 B örneği sırasıyla 18, 24, 30, 36, 42, 48 ve 54 metreye eşdeğer basınç altında bırakılarak su çevirimi yapılmıştır. Yük altında ilk çökme miktarı 11,05 mm'dir. Su çevirimi yapılırken 12,84 mm çökme gözlemlenmiştir. D3 B örneğinin geçirimlilik testi sonuçları Çizelge 4-17'de verilmiştir.

**Çizelge 5-17 D3 B Geçirimlilik Testi**

<b>D3 -50mm</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimlilik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	117	117	Akış Düzgün
24	117	115	Akış Düzgün
30	117	116	Akış Düzgün
36	117	117	Akış Düzgün
42	117	115	Akış Düzgün
48	117	116	Akış Düzgün
54	117	115	Akış Düzgün

D3 B örneğinde 54 metre yüksekliğe eşdeğer basınca kadar akışlardan herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir.

En büyük tane boyu -32mm olan D3 C örneği sırasıyla 18, 24, 30, 36, 42, 48 ve 54 metreye eşdeğer basınç altında bırakılarak su çevirimi yapılmıştır. Yük altında ilk çökme miktarı 13,00 mm'dir. Su çevirimi yapılırken 19,56 mm çökme gözlemlenmiştir. D3 C örneğinin test sonuçlarına göre sonuçları Çizelge 5-18'te verilmiştir.

**Çizelge 5-18 D3 C Geçirimsizlik Testi**

<b>D3 -32mm</b>			
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>Verilen Akış (ml/dakika)</b>	<b>Geçirimsizlik (ml/dakika)</b>	<b>Notlar</b>
18	117	116	Akış Düzgün
24	117	116	Akış Düzgün
30	117	113	Akış Düzgün
36	117	113	Akış Düzgün
42	117	117	Akış Düzgün
48	117	117	Akış Düzgün
54	117	117	Akış Düzgün

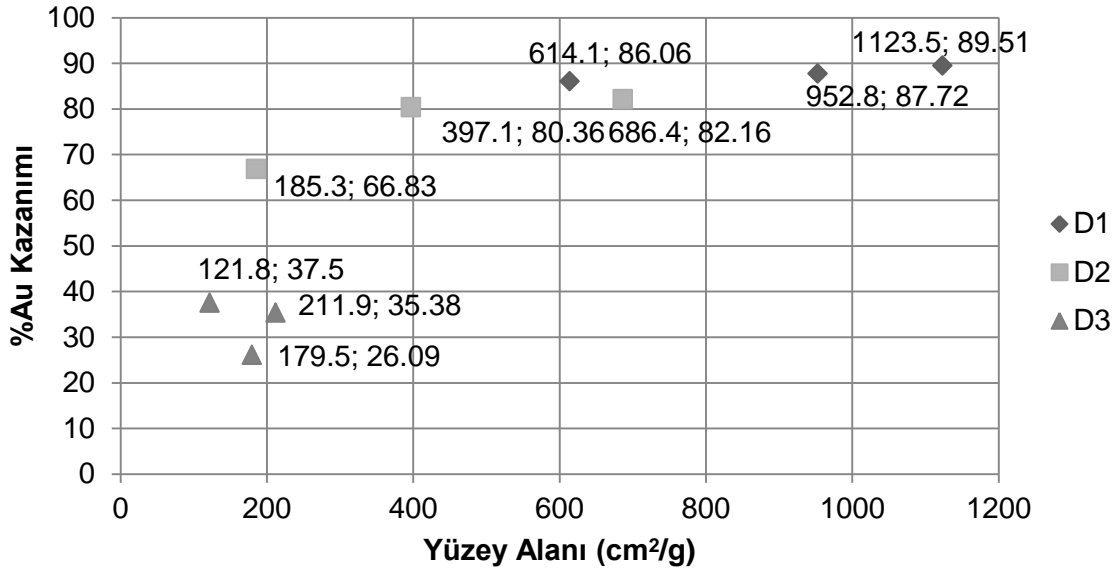
Diğer kompozitlerden daha kayaçlı bir yapıya sahip olan D3 kompozitinde kademeli olarak artan basınca bağlı olarak herhangi bir göllenme ya da seviye ölçerlerde su gözlenmemiştir.

İnce taneli yapıya sahip olan D1 kompozitinde yığın yüksekliği artıkça göllenme ve geçirimsizlikte sıkıntılar gözlenmiştir. Kayaçlı yapı ile az miktarda ince tanelerinin birlikte bulunduğu D2 kompozitinde ise geçirimsizlik testinde herhangi bir sıkıntı gözlenmemiştir. Aynı şekilde D3 kompozitinde de 54 metre yığın yüksekliğine kadar sıkıntı gözlenmemiştir.

## 6.0. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde artan işletme maliyetleri ve altın ons fiyatının 1200\$ seviyesinde olması nedeniyle nispeten düşük maliyetli yığın liçi tercih edilmeye başlanmıştır. Orta sertlikteki oksitli bir altın cevheri günümüzde CIP tesislerinde ton başına yaklaşık 15\$-20\$ tesis üretim maliyetine sahiptir. Buna ilave olarak bazı CIP tesisleri %90'ın üstünde verimle işletilebilmektedir. Buna karşın düşük tenörlü oksitli bir altın cevheri, öğütme maliyetlerinin olmadığı yığın liçi uygulaması ile 5\$-10\$ üretim maliyetine sahip olabilmektedir. Yığın liçi uygulamalarında altın verimi ise %70-80 civarındadır.

Bu tez kapsamında kullanılan cevher tüm ocağı temsil edecek şekilde ocağın farklı noktalarından temin edilen numunelerin harmanlanması sonucu elde edilmiştir. Bu kompozit cevher üzerinde metalürjik çalışmalar yürütülmüştür. Testler arasındaki bazı farklılıklardan ve malzemedeki kil içeriğinin yüksek olması sebebiyle yeni bir jeometalürjik çalışma yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, ocağı tamamiyle temsil eden 12 adet metalürjik sondaj çalışması planlanarak yapılmıştır. Jeolojik olarak incelenen karotlar jeometalürjik açıdan değerlendirilip ocak kil içeriği ve derinliğe bağlı olarak 3 farklı bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölgedeki kompozit cevher 3 farklı boya kırılarak kolon testi gerçekleştirilmiştir. Kolon testlerine ek olarak iri ve ince boy şişe çevirme testleri yapılmıştır. Farklı kırma boylarından elde edilen kompozitlerin altın kazanımı ve yığında geçirimsizlik açısından özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Örneklerin elde edilen farklı kırma boy dağılımları sonucunda elde edilen yüzey alanına karşılık gelen altın kazanımı Şekil 6-1'de gösterilmiştir.



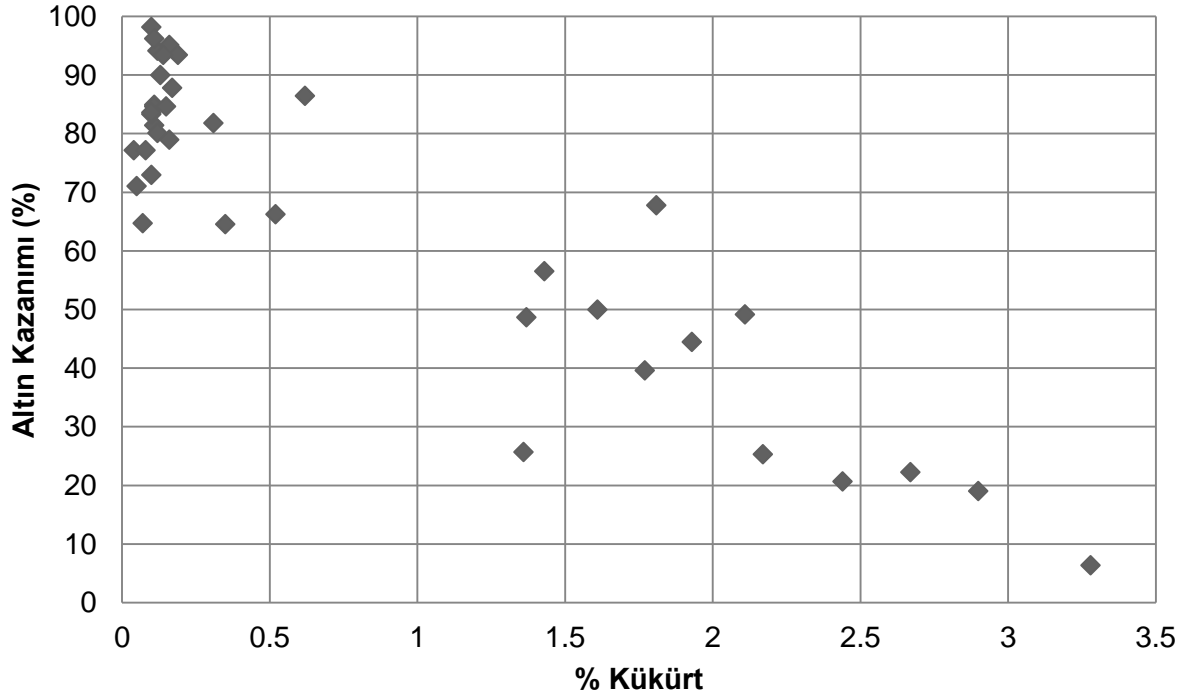
Şekil 6-1 Himmetdede Cevheri Yüzey Alanı Altın Kazanım İlişkisi

Yüzeye yakın olan ve D1 olarak adlandırılan kompozitin kil ve nem içeriği yüksektir. Yapılan kolon testleri sonucunda en yüksek altın kazanımı (%89,7) en yüksek yüzey alanına sahip olan B kırma boyu dağılımında sağlanmıştır. D1 cevherinin 75 mikron ve 1.7 mm'de yapılan liç testlerinde %94,53 ve %92,38 altın verimi elde edilmiştir. Siyanür liçinde yüksek altın kazanımına uygun olan D1 cevherine yapılan kolon testleri sonucunda yüzey alanının artması hem liç kinetiğini hızlandırmış hemde altın kazanımını %3-4 civarında arttırmıştır. Bu bilgiler ışığında artan yüzey alanının altın verimine olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir.

Cevher yatağının orta kısmında yer alan ve yer yer killi malzeme içeren D2 kompozitinde C ve A kırma boyu dağılımlarına kolon testi sonuçları 1.7 mm iri boy şişe çevirme sonuçlarına yakındır. B kırma boyu dağılımının kolon testi sonuçları dışındaki verimler %80'in üzerinde ve birbirlerine yakındır. B kırma boyu dağılımının teorik yüzey alanı A ve C kırma boy dağılımlarının yüzey alanlarından daha düşüktür. Altın kazanımındaki düşüşün bunun bir sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Ocağın en alt bölümünde yer alan D3 kompozitinin şişe çevirme ve kolon testlerindeki verimi D1 ve D2 kompozitlerine göre düşüktür. 75 mikrona öğütülen cevher için şişe

çevirme testinde ancak %64 verim elde edilebilmiştir. Daha iri boyda yapılan kolon testlerinde verim daha da düşüktür. Teorik yüzey alanının artmasının liç verimine olumlu etkisi D3 kompozitinde gözlenmemiştir. İnce öğütüldüğünde bile %64 altın verimi elde edilen D3 cevherinin kükürt içeriğinin D1 ve D2 örneklerinden bir miktar fazla olduğu bilindiği için kısmi refrakter olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, D3 cevheri kendi içerisinde daha detaylı çalışılmıştır. Toplam 45 adet örnek hazırlanıp kükürt oranı %1'den düşük olan 30 adet örneğin 1.7mm şişe çevirme testleri sonucunda altın kazanımı ortalama %81,04 olmuştur. Kükürt oranı %1'den büyük olan 15 örneğin 1,7 mm şişe çevirme testleri sonucunda altın kazanımları ortalama %34,36 olarak gerçekleşmiştir. D3 cevheri için yapılan 1,7 mm iri boy şişe çevirme testleri sonucunda elde edilen altın verimi kükürt içeriği ilişkisi Şekil 6-1'de verilmiştir.



Şekil 6-1 D3 Cevheri 1.7mm Şişe Çevirme Testleri Sonucunda % Kükürt ve Altın Kazanımı



D1 ve D2 cevherlerindeki gibi yüzey alanının altın kazanımına olumlu etkisinin gözlemlenmediği D3 cevherinde kükürt içeriği artıkça altın kazanımında azalma olduğu görülmüştür. Bundan dolayı D3 cevherinin içerisinde kısmi refrakter bölümler olduğu düşünülmektedir.

Geçirimsizlik açısından bakıldığında, D1 kompozitinin içinde ince tanelerin yüksek olmasının geçirgenliğe etkisi açıkça görülmüştür. D1 A ve B örneklerinin kolon atığının, 24m yüksekliğe karşılık gelen basınç değerinde, geçirgenliği azalmış ve göllenme gözlenmiş olup, 30 metrelik yüksekliğe çıkınca tamamiyle geçirgenliğini kaybetmiştir. C örneğinde ise geçirimsizlikte bir sıkıntı görülmemiştir.

D2 kompozitinin A, B ve C örneklerinin tüm testlerinde 54 metrelik yüksekliğe karşılık gelen basınç altında geçirgenlikte herhangi bir problem gözlenmemiştir. Aynı şekilde D3 kompozitinde de herhangi bir geçirimsizlik sorunu gözlenmemiştir.

Geçirimsizlik testleri gözleme dayalı ve küçük ölçekte yapılan testlerdir. Basınç altında geçirimsizlik testlerinin mevcut herhangi bir herkeşçe kabul edilmiş yöntemi bulunmamaktadır. Bundan dolayı kırma boyunun geçirimsizliğe etkisi belirlenemediği gibi , test sonuçlarına göre yüzey alanı ya da kırma boyundan bağımsız şekilde sadece D1 cevherinde 24 metreden sonra geçirimsizlikte sorun olabileceği düşünülmektedir.

Bu projede daha önce yapılan metalürjik testlerde tek bir kompozit kullanılmıştır. Gerçekleşen kolon testleri sonucunda altın kazanımı %72 olarak tahmin edilmiştir.

Cevher yatağının 3 bölgeye ayrılarak incelenmesi sonucunda, verim açısından daha mantıklı veriler elde edilmiştir.

D1 olarak tanımlanan bölge cevherin %50'sini, D2 olarak tanımlanan bölge %32'sini ve D3 olarak tanımlanan bölge %18'sini oluşturmaktadır. Yüksek tonaj işleyebilen bu yığın liçi projesinde değişen verim kullanıldığı takdirde tüm ocak için verimin %74 civarında olacağı öngörülmektedir. Özellikle orta ve büyük ölçekli yığın liçi uygulamalarında cevheri bu derece tanımlamanın ekonomik katkıları da olacaktır.

## 6.1. Öneriler

D1 ve D2 cevheri için yüzey alanının altın kazanımına olumlu etkisi gözlenmiştir. Tesisin potansiyeli olan 9.5mm kırma boyutuna da cevherler kırılıp daha ince tane boyu dağılımı elde edilip serbestleşmenin ya da serbest yüzey oluşumunun altın kazanımına etkisi araştırılmalıdır. Malzemenin incelmeyeine bağılı olarak ortaya çıkması muhtemel geçirimsizlik problemleri geçirimsizlik testi vasıtasıyla incelenmelidir. Örnekleme işlemi yapılırken altın için temsili örnekler hazırlanmıştır. Bu yüzden kil içeriğı açısından D1 cevherini temsil etmeyebilir ve D1 cevherinin tamamında olmasa da ocak içerisinde killi malzemelerin toplandığı noktaların yığında belirli bölgelerde geçirimsiz yüzeyler oluşturma ihtimali yüzünden sürekli geçirimsizlikte problem yaşanması ihtimaline sahiptir. Bundan dolayı D1 cevheri için belirli aralıklarla geçirimsizlik testleri yapılması gerekmektedir

Eğer geçirimsizlik problemi gözlenirse yığın üstüne kat kat cevher serimi yerine birkaç katlı ve daha geniş alana ihtiyaç duyulan yığın sahası inşa edilebilir. İnşaat maliyeti ve altın kazanımı arasında fayda maliyet analizi yapılması gerekmektedir.

D3 cevheri için ise altın kazanımını aşağı çeken bölümler için seçici madencilik faaliyeti yapıp yapılamayacağı araştırılmalıdır. Çok düşük altın kazanımına sahip bölgeler üretim planından çıkarılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] F. Vincent, A Comprasion of Knelson Concentrator and Jig Performance for Gold Recovery, McGill University, **1997**
- [2] D.Lunt ve N. Briggs, *Refractory Sulfide Ore – Case Studies*, Advances in Gold Ore Processing, Sayfa 920-937, **2005**
- [3] Dr.Haluk Çelik, *Cevher Mineralojisine Göre Altın Üretim Yöntemlerinin Tayini*, Celal Bayer Üniversitesi ,O2004S14
- [4] John O. Marsden-C.lain House, *The Chemistry of Gold Extraction*, Sayfa 19-25, **2006**
- [5] Zaccarini Federica ve Giorgio Garuti, *High and Low Temperature Gold Mineralizations in the Fe–Cu–Zn Sulfide Deposits of Corchia Ophiolite, Northern Italian Apennine*, Minerals Sayfa 82-93, **2013**
- [6] La Brooy S.R.,Linge H.G. ve Walker G.S., *Review of Gold Extraction From Ores*,Min. Engineering Vol.7 No.10 Sayfa 1213-1241,**1994**
- [7] F.Habashi, *Gold-An Historical Introduction*, Advances in Gold Ore Processing Sayfa XXV-XLVII, Elsevier, **2005**
- [8] R.Dunne, *Flotation of Gold and Gold Bearing Ores*, Advences in Gold Ore Processing Sayfa 309-345, Elsevier, **2005**
- [9] John O Marsden-C l ain House, *Chemistry of Gold Extraction*, Sayfa 48-49, **2005**
- [10] G.Deschénes, *Advances in the Cyanidation of Gold*, Advences in Gold Ore Processing Sayfa 479-500, Elsevier, **2005**
- [11] Walton R, *Zinc Cementation*, Advances in Gold Ore Processing, Sayfa 589-601, Elsevier, **2005**
- [12] M. Millard, *Processing of High-Silver Gold Ores*, Advences in Gold Ore Processing, Sayfa 849-860, Elsevier, **2005**
- [13] Hampton A.P, *Zinc Cementation-the Meril Crowe Process*, Mineral Processing Plant Desing, Practise and Control Proceiding Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Sayfa 1663-1679, **2002**

- [14] W. Stange , *The Process Design of Gold Leaching and Carbon-In-Pulp Circuits*, The Journal of the South African Institute of Mining And Metallurgy, Sayfa 13-26, **1999**
- [15] Heinen Harold J-D.G. Peterson-R.E. Lindstrom, *Processing Gold Ore using Heap Leach-Carbon Adsorption Methods*, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, **1978**
- [16] D.W.Kappes, *Heap Leaching of Gold and Silver Ores*, Advances in Gold Ore Processing, Sayfa 456-478, Elsevier, **2005**
- [17] Marsden, J House, *The Chemistry of Gold Extraction*, Ellis Horwood, Sayfa 379-385 ve 508, **1992**
- [18] Costello M, *Electrowinning in Advances in Gold Ore Processing, Developments in Mineral Processing*, Vol.15 Elsevier, Sayfa 637-625, **2005**
- [19] Hausen, D.M, Petruk W, Hagni R.D, *Global exploitation of heap leachable gold deposits*, The Minerals, **1997**
- [20] Philip, T.P, *To mill or to leach?*, World Gold'91-AusIMM/SME Joint Conference, **1991**
- [21] J.Brent Hiskey, *Gold And Silver Extraction: The Application of Heap Leach Cyanidation*, Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology, Vol.15 No.4, Fieldnotes, **1985**
- [22] Van Zyl,D.,Hutchison, I.,Kiel, *Introduction to Evaluation, design and operation of Precious Metal Heap Leaching Projects*, SMME, **1988**
- [23] W.P.Staunton, *Carbon-In-Pulp*, A.J. Parker Cooperative Research Centre for Hydrometallurgy, Advances in Gold Ore Processing, Sayfa 562-587, Elsevier, **2005**
- [24] J.D.Miller, C.L. Lin ,C. Roldan, C.Garcia, *Particle size distribution for copper heap leaching operations as established from 3d mineral exposure analysis by X-ray microCT, Volume VI-Hydrometallurgy of Copper*, **2003**
- [25] Alvora Videla, C.L.Lin and Jan Miller, *3D Characterization and Analysis of Heap Leaching Systems using X-Ray microtomography*, Hydrocopper 2005, **2005**
- [26] McClelland Laboratories Heap Leach Cyanidation Testing- MLI Job No.3590, **2012**

- [27] McClelland Laboratories Metallurgical And Geotechnical Testing – MLI Job No.3734, **2013**
- [28] T. Mandziak, *Percolation Test Procedure*, SRK Himmetsdede Final Design Report, **2013**

## **EKLER**

## EK-1 D1 KOMPOTİZİ ELEK ANALİZLERİ

<b><i>D1 KOMPOTİZİ ELEK ANALİZLERİ</i></b>			
	D1 A -70mm	D1 B -50mm	D1 C-32mm
<b>Elek (µm)</b>	<b>%Küm.</b>	<b>%Küm.</b>	<b>%Küm.</b>
<b>70000</b>	100.00	100.00	100.00
<b>45000</b>	73.99	93.36	100.00
<b>25000</b>	54.76	65.13	80.88
<b>18000</b>	46.24	57.77	67.42
<b>12500</b>	38.96	51.13	56.48
<b>6700</b>	29.21	41.71	42.37
<b>2360</b>	17.73	27.46	26.32
<b>1180</b>	13.34	20.45	19.55
<b>212</b>	7.71	13.56	11.18
<b>75</b>	5.71	10.26	8.66
<b>38</b>	4.70	8.64	7.32

## EK-2 D1 A FRAKSIYONLARDA ANALİZİ

<b>D 1 A-70mm. Fraksiyonlarda Analiz</b>			
<b>Elek (mm)</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>Hg</b>
	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
<b>-70 + 45 mm</b>	0.22	0.89	11.59
<b>-45 + 25 mm</b>	0.65	0.58	9.91
<b>-25 + 18 mm</b>	1.22	0.5	6.82
<b>-18 + 12.5 mm</b>	0.46	0.49	5.52
<b>-12.5 + 6.7 mm</b>	0.62	0.57	4.97
<b>-6.7 + 2.36 mm</b>	1.39	0.68	5.29
<b>-2.36 + 1.18 mm</b>	0.8	0.84	5.67
<b>-1.18 + 0.212 mm</b>	0.41	0.46	5.13
<b>-0.212 + 0.075 mm</b>	0.15	1.26	6.1
<b>-0.075 + 0.038 mm</b>	0.12	1.73	6.31
<b>-0.038 mm</b>	0.69	2.71	12.49

EK-3 D1 B FRAKSIYONLARDA ANALİZİ

D 1 B-50mm. Fraksiyonlarda Analiz			
Elek (µm)	Au	Ag	Hg
	ppm	ppm	ppm
-50 + 45mm	0.54	0.66	3.95
-45 + 25 mm	0.49	0.67	4.7
-25 + 18 mm	0.43	0.54	4.41
-18 + 12.5 mm	0.51	0.63	5.35
-12.5 + 6.7 mm	1.27	0.53	3.9
-6.7 + 2.36 mm	1.22	0.53	4.82
-2.36 + 1.18 mm	1.07	0.85	4.16
-1.18 + 0.212 mm	0.68	0.33	4.49
-0.212 + 0.075 mm	0.25	1.38	4.36
-0.075 + 0.038 mm	0.25	1.57	4.52
-0.038 mm	0.94	2.69	8.97

EK-4 D1 C FRAKSIYONLARDA ANALİZİ

D 1 C -32mm. Fraksiyonlarda Analiz			
Elek (µm)	Au	Ag	Hg
	ppm	ppm	ppm
-32 + 25 mm	0.28	0.7	8.76
-25 + 18 mm	0.34	0.58	3.76
-18 + 12.5 mm	0.48	0.55	3.83
-12.5 + 6.7 mm	0.98	0.6	1.75
-6.7 + 2.36 mm	1.02	0.67	3.94
-2.36 + 1.18 mm	0.96	0.9	3.89
-1.18 + 0.212 mm	0.52	0.58	3.43
-0.212 + 0.075 mm	0.28	1.55	3.41
-0.075 + 0.038 mm	0.41	1.3	3.37
-0.038 mm	0.88	2.66	10.74



## EK-5 D2 KOMPOTİZİ ELEK ANALİZLERİ

<b>D2 KOMPOZİTİ ELEK ANALİZLERİ</b>			
	D2 A -70mm	D2 B -50mm	D2 C-32mm
<b>Elek (<math>\mu</math>m)</b>	<b>Küm.Ağırlık %</b>	<b>Küm.Ağırlık %</b>	<b>Küm.Ağırlık %</b>
<b>70000</b>	100.00	100.00	100.00
<b>45000</b>	66.48	77.19	100.00
<b>25000</b>	44.64	28.05	64.71
<b>18000</b>	38.73	19.05	44.21
<b>12500</b>	33.62	13.46	33.62
<b>6700</b>	27.18	8.84	22.27
<b>2360</b>	18.49	5.18	12.47
<b>1180</b>	14.08	3.82	9.00
<b>212</b>	8.79	2.43	5.28
<b>75</b>	6.45	1.82	3.85
<b>38</b>	5.56	1.49	3.20

## EK-6 D2 A FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

<b>D 2 A-70mm. Fraksiyonlarda Analiz</b>			
<b>Elek (<math>\mu</math>m)</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>Hg</b>
	ppm	ppm	ppm
<b>-70 + 45 mm</b>	0.65	1.75	6.58
<b>-45 + 25 mm</b>	0.85	1.45	8.15
<b>-25 + 18 mm</b>	0.67	1.16	5.13
<b>-18 + 12.5 mm</b>	0.62	1.12	7.34
<b>-12.5 + 6.7 mm</b>	0.73	0.82	3.84
<b>-6.7 + 2.36 mm</b>	0.69	0.68	3.49
<b>-2.36 + 1.18 mm</b>	0.58	0.69	2.96
<b>-1.18 + 0.212 mm</b>	0.34	0.65	2.45
<b>-0.212 + 0.075 mm</b>	0.14	1.22	2.79
<b>-0.075 + 0.038 mm</b>	0.39	1.04	2.91
<b>-0.038 mm</b>	0.48	2.9	5.52

## EK-7 D2 B FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

D 2 B-50mm. Fraksiyonlarda Analiz			
Elek (µm)	Au	Ag	Hg
	ppm	ppm	ppm
-50 + 45mm	0.49	1.73	10.43
-45 + 25 mm	0.91	1.47	10.30
-25 + 18 mm	0.56	1.16	8.59
-18 + 12.5 mm	0.59	0.98	4.12
-12.5 + 6.7 mm	0.68	0.85	5.77
-6.7 + 2.36 mm	0.69	0.75	5.14
-2.36 + 1.18 mm	0.56	0.80	4.51
-1.18 + 0.212 mm	0.40	1.05	2.16
-0.212 + 0.075 mm	0.16	0.86	4.17
-0.075 + 0.038 mm	0.62	1.33	1.92
-0.038 mm	0.39	1.93	7.06

## EK-8 D2 C FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

D 2 C-32mm. Fraksiyonlarda Analiz			
Elek (µm)	Au	Ag	Hg
	ppm	ppm	ppm
-32 + 25 mm	0.26	1.58	4.18
-25 + 18 mm	0.59	1.23	6.42
-18 + 12.5 mm	0.80	1.12	6.81
-12.5 + 6.7 mm	0.85	0.99	6.02
-6.7 + 2.36 mm	0.75	0.81	5.30
-2.36 + 1.18 mm	0.58	0.76	3.87
-1.18 + 0.212 mm	0.45	1.25	2.68
-0.212 + 0.075 mm	0.44	1.95	4.11
-0.075 + 0.038 mm	1.20	1.85	1.67
-0.038 mm	0.66	0.88	4.16

## EK-9 D3 KOMPOTİZİ ELEK ANALİZLERİ

### D3 KOMPOZİTİ ELEK ANALİZERİ

Elek(µm)	D3 A-70mm	D3 B-50mm	D3C-32mm
	%Küm.	%Küm	%Küm
70000	100.00	100.00	100.00
45000	49.43	81.12	100.00
25000	23.64	31.89	51.95
18000	18.41	23.12	28.38
12500	14.33	16.66	16.50
6700	10.46	10.40	7.98
2360	6.62	6.00	3.78
1180	5.16	4.54	2.70
212	2.94	2.63	1.80
75	1.99	1.78	1.22
38	1.61	1.45	0.98

## EK-10 D3 A FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

### D 3 A-70mm. Fraksiyonlarda Analiz

Elek (µm)	Au	Ag	Hg
	ppm	ppm	ppm
-70 + 45 mm	0.17	1.43	4.03
-45 + 25 mm	0.25	1.78	2.21
-25 + 18 mm	0.38	1.40	5.35
-18 + 12.5 mm	0.54	1.27	5.48
-12.5 + 6.7 mm	0.65	1.19	5.23
-6.7 + 2.36 mm	0.49	1.13	4.70
-2.36 + 1.18 mm	0.63	1.20	3.54
-1.18 + 0.212 mm	0.34	1.19	4.26
-0.212 + 0.075 mm	0.27	2.20	3.43
-0.075 + 0.038 mm	0.44	2.37	3.64
-0.038 mm	0.48	2.56	4.57

## EK-11 D3 B FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

<b>D 3 B -50mm. Fraksiyonlar Analiz</b>			
<b>Elek (µm)</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>Hg</b>
	ppm	ppm	ppm
<b>-50 + 45mm</b>	0.24	1.82	7.37
<b>-45 + 25 mm</b>	0.94	1.78	9.81
<b>-25 + 18 mm</b>	0.81	1.37	4.02
<b>-18 + 12.5 mm</b>	0.78	1.31	6.58
<b>-12.5 + 6.7 mm</b>	0.68	1.23	3.19
<b>-6.7 + 2.36 mm</b>	0.57	1.18	4.70
<b>-2.36 + 1.18 mm</b>	0.56	1.04	2.94
<b>-1.18 + 0.212 mm</b>	0.43	1.90	2.77
<b>-0.212 + 0.075 mm</b>	0.52	1.90	2.65
<b>-0.075 + 0.038 mm</b>	1.01	2.18	2.08
<b>-0.038 mm</b>	0.57	2.29	2.02

## EK-12 D3 C FRAKSİYONLARDA ANALİZİ

<b>D 3 C-32mm. Fraksiyonlarda Analiz</b>			
<b>Elek (µm)</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>Hg</b>
	ppm	ppm	ppm
<b>-32 + 25 mm</b>	0.26	1.58	4.18
<b>-25 + 18 mm</b>	0.59	1.23	6.42
<b>-18 + 12.5 mm</b>	0.80	1.12	6.81
<b>-12.5 + 6.7 mm</b>	0.85	0.99	6.02
<b>-6.7 + 2.36 mm</b>	0.75	0.81	5.30
<b>-2.36 + 1.18 mm</b>	0.58	0.76	3.87
<b>-1.18 + 0.212 mm</b>	0.45	1.25	2.68
<b>-0.212 + 0.075 mm</b>	0.44	1.95	4.11
<b>-0.075 + 0.038 mm</b>	1.20	1.85	1.67
<b>-0.038 mm</b>	0.66	0.88	4.16

## EK-13 D1 A KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-1 -70mm. 1</b>	0.61	0.49	< 0.01	1.43	9.16	-	25.51	60.09	1010.41	53.27	146.55	41.93	29123
<b>D-1 -70mm. 2</b>	0.54	0.26	0.14	0.76	6.86	-	22.95	59.94	1386.99	64.69	142.61	36.72	38295
<b>D-1 -70mm. 3</b>	0.60	0.28	0.13	0.89	16.64	-	24.85	74.03	1510.05	72.82	151.71	70.36	27039
<b>D-1 -70mm. 4</b>	0.50	0.34	0.11	0.09	12.30	-	20.84	81.36	2396.81	77.94	158.71	59.65	35438
<b>D-1 -70mm. 5</b>	0.71	0.15	0.08	0.85	10.64	-	27.30	86.24	1683.55	81.09	165.50	55.11	25593
<b>D-1 -70mm. 6</b>	0.56	0.16	0.07	0.43	8.50	-	25.74	74.99	1646.01	67.61	150.40	49.19	30478
<b>D-1 -70mm. 7</b>	0.44	0.19	0.12	0.91	10.32	-	32.98	89.36	2072.92	71.82	214.22	52.17	34350
<b>ORTALAMA</b>	0.57	0.27	0.11	0.77	10.63		25.74	75.15	1672.39	69.89	161.39	52.16	31473.71

## EK-14 D1 B KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-1 -50mm. 1</b>	0.54	0.91	0.07	0.81	4.29	-	21.06	43.14	948.12	59.21	87.37	37.24	41281
<b>D-1 -50mm. 2</b>	1.36	0.83	0.12	0.84	7.01	-	22.76	40.73	1185.41	69.66	114.38	47.80	39451
<b>D-1 -50mm. 3</b>	0.53	0.87	0.09	0.92	4.41	-	22.86	48.05	933.87	58.08	130.10	34.14	35767
<b>D-1 -50mm. 4</b>	0.91	0.85	0.08	0.93	5.93	-	23.49	45.92	1058.40	75.89	113.93	45.19	38544
<b>D-1 -50mm. 5</b>	0.61	0.81	0.08	0.76	5.05	-	24.02	45.81	1072.67	74.86	267.75	87.26	40045
<b>D-1 -50mm. 6</b>	0.71	0.78	0.04	0.68	5.44	-	23.25	51.25	1374.43	55.32	136.33	46.26	40359
<b>D-1 -50mm. 7</b>	0.72	0.81	0.05	0.94	6.21	-	23.94	44.73	1093.37	65.90	142.76	36.42	42583
<b>ORTALAMA</b>	0.77	0.84	0.08	0.84	5.48		23.05	45.66	1095.18	65.56	141.80	47.76	39718.57

## EK-15 D1 C KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-1 -32mm. 1</b>	0.63	0.74	0.13	0.40	6.57	-	27.82	50.08	1581.37	63.33	187.35	51.90	45287
<b>D-1 -32mm. 2</b>	0.87	0.89	0.14	0.37	3.98	-	21.58	44.65	1089.47	55.90	127.11	35.02	37082
<b>D-1 -32mm. 3</b>	0.66	0.77	0.17	1.35	3.42	-	18.13	37.02	799.71	42.58	99.65	24.58	34335
<b>D-1 -32mm. 4</b>	0.65	0.79	0.10	0.95	4.28	-	26.55	48.60	1187.67	66.52	106.83	41.02	40347
<b>D-1 -32mm. 5</b>	0.67	0.67	0.09	0.58	5.40	-	24.28	48.75	1052.06	54.49	102.16	32.55	39954
<b>D-1 -32mm. 6</b>	0.71	0.84	0.09	1.01	4.80	-	23.15	51.61	1197.34	59.70	97.47	35.03	43506
<b>D-1 -32mm. 7</b>	0.56	0.86	0.07	0.59	6.86	-	31.38	53.51	1176.57	63.63	111.41	40.53	44211
<b>ORTALAMA</b>	0.68	0.79	0.11	0.75	5.04		24.70	47.75	1154.88	58.02	118.85	37.23	40674.57

## EK-16 D2A KOMPOTİZİ BESLEME TENÖRLERİ

	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>Hg</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-2 -70mm. 1</b>	0.81	1.11	0.12	3.32	6.42	-	21.62	34.96	1396.95	60.23	68.52	42.46	40478
<b>D-2 -70mm. 2</b>	0.35	1.32	0.08	3.72	5.41	-	23.83	37.88	853.52	50.97	73.49	24.44	22228
<b>D-2 -70mm. 3</b>	0.41	1.00	0.18	3.29	5.26	-	29.70	43.45	1411.49	77.00	89.61	32.80	19794
<b>D-2 -70mm. 4</b>	0.59	1.02	0.10	3.83	12.73	-	34.81	50.02	1156.93	76.88	98.77	48.89	24833
<b>D-2 -70mm. 5</b>	0.52	1.10	0.13	2.91	8.36	-	28.66	42.58	1242.88	76.83	70.45	34.07	28542
<b>D-2 -70mm. 6</b>	0.47	0.71	0.27	2.08	12.80	-	34.06	52.51	1461.42	88.98	92.40	30.83	26642
<b>D-2 -70mm. 7</b>	0.78	1.18	0.06	3.00	6.57	-	25.55	36.48	1312.86	67.73	69.76	28.72	21570
<b>ORTALAMA</b>	0.56	1.06	0.13	3.16	8.22		28.32	42.55	1262.29	71.23	80.43	34.60	26298.14

## EK-17 D2 B KOMPOTİZİ BESLEME TENÖRLERİ

	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>Hg</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-2 -50mm. 1</b>	0.50	0.85	0.19	2.16	7.06	-	30.36	61.84	2002.83	82.08	142.55	32.14	22824
<b>D-2 -50mm. 2</b>	0.54	1.22	0.09	3.16	5.61	-	21.38	41.57	890.11	48.80	55.67	24.60	22666
<b>D-2 -50mm. 3</b>	0.54	1.08	0.14	2.79	3.78	-	42.17	57.13	1853.16	90.36	117.86	57.14	17384
<b>D-2 -50mm. 4</b>	0.80	0.80	0.11	2.09	7.73	-	45.91	64.63	2157.11	127.74	120.23	55.04	23129
<b>D-2 -50mm. 5</b>	0.47	1.31	0.08	3.58	5.73	-	39.06	57.90	1686.56	77.67	104.19	34.40	20688
<b>D-2 -50mm. 6</b>	0.83	1.13	0.08	3.07	3.28	-	27.56	35.67	1257.63	70.49	72.79	24.70	25579
<b>D-2 -50mm. 7</b>	0.56	1.22	0.13	3.92	4.78	-	32.33	44.10	1241.57	74.69	80.50	30.16	31813
<b>ORTALAMA</b>	0.61	1.09	0.12	2.97	5.43		34.11	51.83	1584.14	81.69	99.11	36.88	23440.43

## EK-17 D2 C KOMPOTİZİ BESLEME TENÖRLERİ

	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>Hg</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>D-2 -32mm. 1</b>	0.55	1.44	0.09	2.86	9.20	-	27.76	35.33	1006.12	58.56	71.74	30.41	24311
<b>D-2 -32mm. 2</b>	0.57	1.22	0.16	2.66	3.46	-	21.15	32.64	1027.46	53.57	63.28	24.25	21999
<b>D-2 -32mm. 3</b>	1.13	1.21	0.11	2.65	3.18	-	27.43	48.75	1632.76	77.71	77.86	31.86	21623
<b>D-2 -32mm. 4</b>	0.68	1.40	0.09	2.83	2.43	-	24.17	33.48	1112.40	59.11	62.88	29.24	23611
<b>D-2 -32mm. 5</b>	0.49	1.40	0.10	2.89	6.76	-	35.86	57.34	1418.23	80.54	86.03	36.12	19561
<b>D-2 -32mm. 6</b>	0.53	1.15	0.12	2.57	10.36	-	37.19	59.07	1820.11	88.73	91.59	40.23	22569
<b>D-2 -32mm. 7</b>	0.54	1.07	0.08	2.34	7.67	-	25.64	44.52	1232.85	74.26	70.30	34.16	21744
<b>ORTALAMA</b>	0.64	1.27	0.11	2.69	6.15		28.46	44.45	1321.42	70.35	74.81	32.32	22202.57

## EK-18 D3 A KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
D-3, -70mm. 1	0.33	1.26	0.51	3.96	3.94	-	25.39	32.90	1208.64	145.25	72.53	52.17	20604
D-3, -70mm. 2	0.80	1.45	0.85	4.36	2.21	-	20.79	45.58	1553.44	73.48	65.33	18.25	16059
D-3, -70mm. 3	0.77	1.54	0.58	4.92	1.86	-	23.38	28.07	1143.43	65.46	58.17	19.30	14666
D-3, -70mm. 4	0.39	1.38	0.56	4.81	1.57	-	26.79	36.65	853.23	63.73	66.53	17.86	18064
D-3, -70mm. 5	0.71	1.59	0.86	4.26	3.73	-	23.87	28.16	812.72	83.60	55.94	27.25	16144
D-3, -70mm. 6	0.45	1.58	0.46	4.71	4.94	-	16.24	15.03	645.82	40.59	38.51	11.03	8845
D-3, -70mm. 7	0.43	1.32	0.44	3.69	2.97	-	11.13	15.86	439.30	27.43	28.61	9.47	7143
ORTALAMA	0.55	1.45	0.61	4.39	3.03		21.09	28.89	950.94	71.36	55.09	22.19	14503.57

## EK-19 D3 B KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
D-3 -50mm. 1	0.39	1.90	0.35	5.58	1.37	-	26.17	25.36	841.89	51.23	60.93	17.40	7981
D-3 -50mm. 2	1.30	1.62	0.65	4.70	2.37	-	20.07	27.37	693.37	55.27	52.00	19.76	14332
D-3 -50mm. 3	0.65	1.44	0.53	3.94	1.58	-	11.88	19.27	671.98	33.79	38.38	22.32	8358
D-3 -50mm. 4	0.73	1.41	0.36	4.51	7.49	-	20.46	24.50	891.29	55.14	65.26	35.48	8444
D-3 -50mm. 5	0.44	1.65	1.10	4.69	6.94	-	37.17	40.23	1356.35	168.28	87.45	36.82	15296
D-3 -50mm. 6	0.82	1.64	0.76	4.22	2.69	-	18.00	20.24	692.50	62.68	52.87	18.64	15771
D-3 -50mm. 7	0.35	1.79	0.54	4.76	0.55	-	10.43	13.06	403.66	29.25	34.29	9.57	6765
ORTALAMA	0.67	1.64	0.61	4.63	3.28		20.60	24.29	793.01	65.09	55.88	22.86	10992.43

## EK-19 D3 C KOMPOZİTİ BESLEME TENÖRLERİ

	Au	Ag	S	C	Hg	Co	Ni	Cu	As	Sb	Zn	Pb	Fe
	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
D-3 -32mm. 1	0.87	1.49	0.52	3.98	5.48	-	18.80	31.19	863.32	66.30	59.90	21.17	18159
D-3 -32mm. 2	0.52	1.74	0.54	4.52	3.21	-	21.86	33.77	914.07	70.12	52.06	18.21	20247
D-3 -32mm. 3	0.63	2.18	0.33	6.53	7.62	-	19.21	21.50	502.93	37.69	41.20	16.37	14903
D-3 -32mm. 4	0.51	1.71	0.50	5.02	4.32	-	20.94	25.64	761.07	51.66	49.30	24.17	17142
D-3 -32mm. 5	0.59	1.76	0.53	4.92	4.60	-	25.22	30.12	1016.48	70.98	62.77	21.02	17439
D-3 -32mm. 6	0.71	1.80	0.73	5.15	4.45	-	24.64	31.88	895.89	63.21	53.51	19.14	19889
D-3 -32mm. 7	0.68	1.64	0.53	4.89	5.45	-	28.27	38.93	1139.53	84.15	71.63	24.69	20416
ORTALAMA	0.64	1.76	0.53	5.00	5.02		22.71	30.43	870.47	63.45	55.77	20.68	18313.57

EK-20 YAPILAN ŞİŞE ÇEVİRME TESTLERİ

Örnek Adı	D1-A	D2-A	D3-A
%Yüzde Katı Oranı	45.00%	45.00%	45.00%
Örnek Miktarı (g)	442.8	441.9	446.4
Su Miktarı+ (g)	532.2	532.1	532.6
Sonuçlar			
Altın Kazanımı %	93.52	93.40	64.15
Atık Tenörü, gAu/mt ore	0.04	0.04	0.22
Hesaplanan Besleme Tenörü, gAu/mt ore	0.62	0.61	0.61
Besleme Tenörü, gAu/mt ore	0.75	0.68	0.45
NaCN Tüketimi, kg/mt ore	0.81	0.77	0.89
Kireç İlavesi, kg/mt ore	0.70	0.58	0.47
Gümüş Kazanımı %	36.90	5.81	5.20
Atık Tenörü, gAu/mt ore	0.37	0.78	0.87
Hesaplanan Besleme Tenörü, gAu/mt ore	0.59	0.83	0.92
Besleme Tenörü, gAu/mt ore	0.73	1.19	1.61
p80, mm Öğütme Boyu	75.00	75.00	75.00
Başlangıç Oksijen, ppm	5.80	6.20	6.10
Başlangıç pH	8.46	8.25	8.33
Nihai Oksijen, ppm	25.00	32.00	29.00
Nihai pH	10.62	10.65	10.32
Nihai NaCN, ppm	350.00	380.00	280.00
Liç Süresi , saat	<b>48.00</b>	<b>48.00</b>	<b>48.00</b>
%S Katıda	0.18	0.20	0.43
Cu, ppm Katıda	35.32	42.97	31.44
%Fe, Katıda	2.97	3.52	2.74
Ni, ppm Katıda	15.38	26.09	24.47
As, ppm Katıda	590.60	786.15	497.08
Sb, ppm Katıda	41.39	48.58	47.71
Carbon, % Katıda	1.11	2.73	5.00
Zn, ppm Katıda	48.01	54.07	42.78
Pb, ppm Katıda	15.78	15.55	9.99
Hg, ppm Katıda	5.46	8.54	7.76
Hesaplanan Besleme Tenörleri			
Cu, ppm in Katıda	132.09	63.30	53.74
%Fe, Katıda	4.02	4.05	3.37
Ni, ppm Katıda	22.00	107.45	37.94



As, ppm Katıda	1393.30	1003.53	1009.66
Sb, ppm Katıda	65.70	52.77	67.16
Zn, ppm Katıda	89.39	61.10	57.23
Pb, ppm Katıda	41.52	21.14	18.27
Hg, ppm Katıda	9.25	13.50	8.81
Cu, ppm Çözeltide	8.98	6.25	4.39
Fe, ppm Çözeltide	0.56	0.87	2.63
Ni, ppm Çözeltide	0.30	0.74	0.27
As, ppm Çözeltide	1.29	1.10	1.40
Sb, ppm Çözeltide	0.05	0.17	0.26
Zn, ppm Çözeltide	0.77	0.82	0.73
Pb, ppm Çözeltide	0.00	0.00	0.01
Hg, ppm Çözeltide	1.09	0.65	0.11
%S Atıkta	0.13	0.50	0.50
Cu, ppm Atıkta	121.29	55.77	48.50
%Fe, Atıkta	4.02	4.05	3.37
Ni, ppm Atıkta	21.64	106.56	37.62
As, ppm Atıkta	1391.75	1002.21	1007.99
Sb, ppm Atıkta	65.64	52.56	66.85
Carbon, % Atıkta	0.68	3.38	4.39
Zn, ppm Atıkta	88.463	60.104	56.363
Pb, ppm Atıkta	41.52	21.14	18.26
Hg, ppm Atıkta	7.942	12.716	8.676

### EK-21 YAPILAN ŞİŞE ÇEVİRME TESTLERİ

<b>Örnek Adı</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
<b>%Yüzde Katı Oranı</b>	40.00%	40.00%	40.00%
<b>Örnek Miktarı (g)</b>	4000	4000	3000
<b>Su Miktarı+ (g)</b>	6000	6000	4500
<b>Eklenen NaCN miktarı (g)</b>	6000	6000	4500
<b>Sonuçlar</b>			
<b>Au Kazanımı %</b>	<b>92.31</b>	<b>82.22</b>	<b>62.50</b>
<b>Atık Tenörü gAu/t</b>	0.06	0.12	0.27
<b>Hesaplanan Au Tenörü g/t</b>	<u>0.78</u>	<u>0.675</u>	<u>0.72</u>
<b>Başlangıç Besleme Tenörü</b>	<u>0.75</u>	<u>0.75</u>	<u>0.635</u>

<u>g/t</u>			
NaCN Tüketimi (kg/t)	1.065	1.17	1.44
Kireç İlavesi (kg/t)	2.55	2.82	1.7
Gümüş Kazanımı %	27.73	20.87	9.84
Atık Tenörü, gAu/t	0.11	0.16	0.08
Besleme Tenörü, gAu/t	<u>0.595</u>	<u>1.15</u>	<u>1.22</u>
<b>Başlangıç Besleme Tenörü</b>	<u>0.74</u>	<u>1.27</u>	<u>1.7</u>
<u>g/t</u>			
p100, mm	-1.7	-1.7	-1.7
Başlangıç Oksijen, ppm	8.70	7.20	8.70
Başlangıç pH	8.16	8.12	8.10
Başlangıç NaCN,ppm	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Nihai Oksijen, ppm	26.00	21.00	26.00
Nihai pH	10.46	10.05	9.40
Nihai NaCN, ppm	290.00	220.00	40.00
<b>Liç Süresi , saat</b>	<b>240.00</b>	<b>240.00</b>	<b>240.00</b>
%S Katıda	0.18	0.20	0.43
Cu, ppm Katıda	35.32	42.97	31.44
%Fe, Katıda	2.97	3.52	2.74
Ni, ppm Katıda	15.38	26.09	24.47
As, ppm Katıda	590.60	786.15	497.08
Sb, ppm Katıda	41.39	48.58	47.71
Carbon, % Katıda	1.11	2.73	5.00
Zn, ppm Katıda	48.01	54.07	42.78
Pb, ppm Katıda	15.78	15.55	9.99
Hg, ppm Katıda	5.46	8.54	7.76
<b>Hesaplanan Besleme Tenörleri</b>			
Cu, ppm in Katıda	59.16	66.62	235.92
%Fe, Katıda	7.53	3.16	2.59
Ni, ppm Katıda	23.53	39.18	69.41

<b>As, ppm Katıda</b>	984.08	1,137.16	1,384.65
<b>Sb, ppm Katıda</b>	62.79	55.58	122.02
<b>Zn, ppm Katıda</b>	75.84	92.52	85.07
<b>Pb, ppm Katıda</b>	35.60	18.68	23.94
<b>Hg, ppm Katıda</b>	3.46	11.82	5.89
<b>Cu, ppm Çözeltide</b>	1.12	1.61	2.34
<b>Fe, ppm Çözeltide</b>	0.87	3.66	5.89
<b>Ni, ppm Çözeltide</b>	0.18	0.99	0.50
<b>As, ppm Çözeltide</b>	2.34	3.66	5.32
<b>Sb, ppm Çözeltide</b>	0.09	0.10	0.77
<b>Zn, ppm Çözeltide</b>	0.71	1.12	0.09
<b>Pb, ppm Çözeltide</b>	0.00	0.00	0.01
<b>Hg, ppm Çözeltide</b>	1.32	1.12	0.01
<b>%S Atıkta</b>	0.04	0.17	0.54
<b>Cu, ppm Atıkta</b>	57.48	64.21	232.41
<b>%Fe, Atıkta</b>	7.53	3.16	2.59
<b>Ni, ppm Atıkta</b>	23.26	37.70	68.66
<b>As, ppm Atıkta</b>	980.57	1,131.67	1,376.67
<b>Sb, ppm Atıkta</b>	62.65	55.43	120.86
<b>Carbon, % Atıkta</b>	1.20	2.73	4.30
<b>Zn, ppm Atıkta</b>	74.77	90.84	84.93
<b>Pb, ppm Atıkta</b>	35.60	18.68	23.93
<b>Hg, ppm Atıkta</b>	1.48	10.14	5.87

## EK-22 KOLON TESTLERİ SONUÇLARI

Gün	D1 -70 mm	D1 -50 mm	D1 -32 mm	D2 -70 mm	D2 -50 mm	D2 -32 mm	D3 -70 mm	D3 -50 mm	D3 -32 mm
1	-	-	4.77	-	-	-	5.28	2.85	4.59
2	6.79	11.38	42.35	12.50	16.26	34.28	7.74	7.03	11.56
3	34.42	46.35	59.68	39.35	29.61	46.16	11.86	9.71	15.20
4	59.00	63.79	65.95	46.49	36.55	52.47	14.48	11.60	17.67
5	68.26	71.92	69.21	51.16	40.83	56.55	16.20	12.82	19.32
6	72.64	76.19	71.35	53.99	43.39	59.42	17.59	13.69	20.86
7	73.83	77.59	72.81	56.32	45.62	61.68	20.05	15.49	22.00
8	74.83	78.72	73.99	58.12	47.36	63.35	21.56	16.62	22.88
9	75.84	79.50	75.02	59.82	48.75	64.71	22.76	17.40	23.61
10	76.82	80.56	75.62	61.17	50.00	65.83	23.60	17.90	24.28
11	77.66	81.37	76.16	62.32	51.25	67.02	24.41	18.37	25.04
12	78.45	82.17	76.85	63.49	52.39	68.21	25.10	18.86	25.71
13	79.09	82.92	77.62	64.51	53.48	69.19	25.91	19.35	26.06
14	79.64	83.43	78.12	65.37	54.17	69.98	26.49	19.78	26.66
15	80.04	83.89	78.47	66.17	54.82	70.63	26.99	20.09	27.08
16	80.44	84.42	78.81	66.90	55.59	71.18	27.41	20.47	27.62
17	80.76	84.75	79.06	67.40	56.23	71.89	27.83	20.77	28.08
18	80.92	84.94	79.23	67.84	56.67	72.29	28.07	20.97	28.35
19	81.23	85.20	79.57	68.40	57.10	72.61	28.45	21.27	28.62
20	81.47	85.40	79.83	68.91	57.54	72.93	28.74	21.46	28.89
21	81.68	85.53	80.09	69.48	57.98	73.32	29.12	21.66	29.29
22	81.87	85.79	80.26	70.06	58.48	73.73	29.45	21.89	29.62
23	82.18	86.05	80.51	70.72	59.03	74.04	29.84	22.16	30.01
24	82.48	86.36	80.85	71.22	59.40	74.28	29.91	22.20	30.21
25	82.72	86.55	81.02	71.64	59.71	74.66	30.19	22.42	30.40
26	82.80	86.74	81.10	72.13	60.03	74.89	30.53	22.57	30.60
27	83.06	86.93	81.18	72.49	60.40	75.21	30.80	22.72	30.79
28	83.30	87.19	81.44	72.99	60.77	75.52	31.26	22.95	31.12
29	83.47	87.33	81.61	73.42	61.11	75.84	31.53	23.10	31.32
30	83.80	87.46	82.03	74.06	61.49	76.25	32.03	23.29	31.72
31	84.05	87.59	82.29	74.48	61.82	76.40	32.38	23.53	31.99
32	84.21	87.78	82.37	74.70	62.09	76.56	32.93	23.68	32.25
33	84.30	87.81	82.54	75.05	62.25	76.79	33.14	23.79	32.31
34	84.46	87.94	82.62	75.26	62.47	76.87	33.28	23.94	32.44
35	84.80	88.07	83.04	75.54	62.79	77.18	33.58	24.09	32.77
36	85.04	88.26	83.29	75.75	63.15	77.57	33.89	24.24	33.03
37	85.13	88.38	83.61	76.03	63.46	77.72	34.24	24.36	33.29
38	85.54	88.44	83.70	76.66	63.67	77.88	34.57	24.51	33.35
39	85.61	88.52	83.76	76.90	63.84	78.01	34.76	24.61	33.46

40	85.69	88.65	83.84	77.17	64.10	78.16	34.99	24.75	33.59
41	85.85	88.71	83.92	77.38	64.31	78.38	35.12	24.83	33.71
42	86.01	88.77	84.16	77.72	64.58	79.35	35.34	24.93	33.90
43	86.18	88.84	84.44	77.95	64.79	80.00	35.80	25.04	34.03
44	86.34	88.90	84.50	78.15	64.95	80.15	36.09	25.11	34.16
45	86.35	88.94	84.53	78.20	65.00	80.45	36.14	25.14	34.20
46	86.37	88.98	84.57	78.24	65.08	80.85	36.15	25.16	34.25
47	86.51	89.04	84.74	78.68	65.33	81.10	36.45	25.40	34.52
48	86.67	89.21	84.90	79.07	65.74	81.39	36.72	25.50	34.70
49	86.75	89.24	85.22	79.36	65.96	81.53	36.89	25.65	34.76
50	87.33	89.37	85.39	79.65	66.07	81.68	36.96	25.80	34.89
51	87.50	89.49	85.55	79.93	66.27	81.77	37.17	25.91	35.08
52	87.58	89.52	85.71	80.07	66.48	81.81	37.31	25.98	35.14
53	87.62	89.55	85.96	80.29	66.69	82.11	37.45	26.06	35.33
54	87.72	89.61	86.06	80.36	66.83	82.16	37.50	26.09	35.38

### EK-23 GEÇİRİMLİLİK TESTİ SONUÇLARI

Kompozit	Verilen Akış (100L/m <sup>2</sup> )	Alınan Akış (100 L/m <sup>2</sup> )							
		12 m	18m	24m	30m	36m	42m	48m	54m
D1 -70mm	265	265	265	171	<b>93</b>	-	-	-	-
D1 -50mm	117	115	114	104	<b>91</b>	<b>71</b>	-	-	-
D1 -32mm	117	117	116	117	116	116	117	116	117
D2 -70mm	265	265	265	265	265	265	265	265	265
D2 -50mm	117	117	114	116	117	117	117	117	117
D2 -32mm	117	117	116	116	115	116	117	117	117
D3 -70mm	265	265	263	264	265	261	263	262	263
D3 -50mm	117	117	117	115	116	117	115	116	115
D3 -32mm	117	117	116	116	113	113	117	117	117
D3 -9.5mm	117	117	115	116	117	117	<b>101</b>	-	-

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Emre ERKAN  
Doğum Yeri : ANKARA  
Medeni Hali : Evli  
E-Posta : [emrerkan85@gmail.com](mailto:emrerkan85@gmail.com)  
Adresi : Bademlik Mah. Bostancı Sok. 8/8 Keçiören / ANK

### Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği  
Yüksek Lisans : -  
Doktora : -

**Yabancı Dil ve Düzeyi** İngilizce - İyi

**İş Deneyimi** Koza Altın İşletmelerinde Metalürji Şefi

**Deneyim Alanları** Metalürji

**Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi** -

**Tezden Üretilmiş Yayınlar** -

**Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunum İle Katıldığı Toplantılar** -