

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YIĞIN GEÇİRGENLİĞİNİN ALTIN ÇÖZÜNME VERİMİNE ETKİSİ



MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SERDAR YILMAZ

MART 2018

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞIN GEÇİRGENLİĞİNİN ALTIN ÇÖZÜNME VERİMİNE ETKİSİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Serdar YILMAZ

DANIŞMAN: Prof. Dr. Sait KIZGUT

ORTAK TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ

Zonguldak

Mart 2018

KABUL:

Serdar YILMAZ tarafından hazırlanan “Yığın Geçirgenliğinin Altın Çözünme Verimine Etkisi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 16/03/2018

Danışman: Prof. Dr. Sait KIZGUT

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. İhsan TOROĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Hale SÜTCÜ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Alim GÜL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Hayrünnisa ATEŞOK

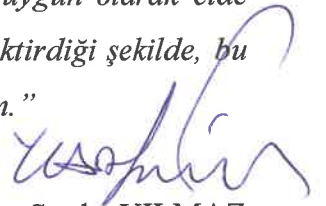
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum./....../2018

Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Serdar YILMAZ

ÖZET

Doktora Tezi

YIĞIN GEÇİRGENLİĞİNİN ALTIN ÇÖZÜNME VERİMİNE ETKİSİ

Serdar YILMAZ

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sait KIZGUT

Ortak Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ

Mart 2018, 119 sayfa

Altının yığın liçi ile kazanımında, yığının optimum koşullarda hazırlanmasında boyut dağılımının kontrolü önem kazanmakta, yığının yeterince geçirgen ve gözenekli olması gerekmektedir. Yığının hazırlanması aşamasında ince ve iri tanelerin ayrışmaması gerekmektedir. Yığına, mümkün olduğu kadar ince tane içeren malzemenin düzenli olarak dağıtılması gerekmektedir. Özellikle, tane boyutu, 0,150 mm altındaki taneler büyük sorunlara yol açmaktadır. Bu tür malzemenin bol bulunması yığına beslenen malzemelerde ayrışmaya neden olmaktadır. Ayrışmayı önlemenin dolayısıyla da yığın geçirgenliği sorununu aza indirme yollarından birisi, ince tanelerin iri tanelere bağlanmalarını sağlamaktır.

Altının yığın liçi ile kazanılmasında endüstriyel uygulamalarda ortalama boyut 6 - 12 mm arasında değişmekte, daha ince boyutlarda yapılan yığın liçinde, siyanürün cevhere temasında büyük sorunlar yaşanmaktadır. Bunun nedeni yığındaki ince tane varlığının geçirimsiz tabaka oluşturması sonucunda, siyanür çözeltisinin yığın içerisinde kendine uygun yollar ve kanallar

ÖZET (devam ediyor)

oluşturarak, akışını bu kanallardan sürdürerek tamamlamasıdır. Bunun sonucunda siyanür çözeltisi homojen şekilde cevhere temas edememekte, altın çözünme verimi de düşmektedir.

Deneysel çalışmalarımızda; ortalama tenörü 1.32 ppm olan Uşak - Kışladağ bölgesinde bulunan cevher yatağından alınan numuneler ile çalışılmıştır. Numune üzerinde yapılması planlanan deneysel çalışmalar, birebir yığın liçini temsil edecek şekilde laboratuvarımızda kurduğumuz “Geçirgenlik Deney Seti” ve “Kolon Liç Deney Seti” ‘nde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda, çözünme verimini artırmak için numunenin tane boyutu normal yığına beslenen boyutun altına indirilerek, ince boyutlu cevher, fındık kabuğu gibi bitkisel atıkla belirli oranlarda karıştırılarak geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen bulgulara göre de numuneler daha sonra liç işlemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kolonlara beslenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile ince boyut varlığının geçirgenlik üzerindeki olumsuz etkisi giderilerek, siyanür çözeltisinin malzeme üzerinde homojen şekilde akışının sağlanması hedeflenmiştir. Böylelikle Uşak - Kışladağ Altın Madeni’nde fiili olarak yığın liçine beslenen cevherin tane boyutu, 2,36 mm’nin altına indirilerek tane serbestleşmesinin artırılması sağlanmış ve yüksek altın çözünme verimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın, Yığın Liçi, Kolon Liçi Seti, Geçirgenlik, Siyanür

Bilim Kodu: 607.02.00

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE EFFECT OF HEAP PERMEABILITY ON GOLD DISSOLUTION EFFICIENCY

Serdar YILMAZ

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Sait KIZGUT

Co-Thesis Advisor: Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ

March 2018, 119 pages

In gold heap leaching operations, controlling of the size distribution is important during the preparation of heap in optimum conditions since heap should be permeable and porous enough. Fine and coarse particles should not be separated during heap preparation steps. Material with finer size distribution should be distributed as much as possible in an order. Especially particles having the size finer than 0,150 mm cause in big problems. Having more of this above-mentioned material results in disintegration in the material being fed to the heap. Making connection between fine and coarse particles is one of the methods to prevent this disintegration and to minimize heap permeability problem.

In gold heap leaching operations, in terms of industrial applications average ore size changes between 6 - 12 mm and finer sized heap leaching operations having the problems of less contact between cyanide and ore. This is because of the fact that fine particles in heap results a impermeable zones, and cyanide solution forms ways and channels inside the heap, and it finally completes the flow through these channels without desired contact on ore. At the end

ABSTRACT (continued)

of this, cyanide solution would not have homogenous contact on the ore and due to this lack of contact gold recovery efficiency is decreasing.

In our experimental work, collected ore samples having the average grade of 1,32 ppm from Uşak - Kışladağ ore deposit were analyzed. Experimental studies were carried out on the established experimental set-ups, i.e. “Permeability Experimental Set-up” and Column Leach Experimental Set-up” which represent the heap leaching.

In this study, in order to increase dissolution rate, sample size distribution was lowered down and fine sized ore samples were mixed with specific ratios of nut-shell and permeability experiments were carried out on these abovementioned mixtures. Regarding to the findings of the permeability tests, samples (ore - nutshell mixtures) were fed to the columns for leach experiments. Carried out experimental studies have the aim of decreasing the effect of fine size material on permeability and increasing the contact of cyanide solution on material homogeneously. Finally, ore samples from Uşak - Kışladağ Gold Mine crushed down to -2,36 mm and liberation was ensured, rather than original size of heap in this in-situ operation, while with nut-shell addition decrease in permeability prevented and high recovery of gold efficiency was achieved.

Keywords: Gold, Heap Leach, Column Leach Set, Permeability, Cyanide

Science Code: 607.02.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın danışmanları olan Prof. Dr. Sait KIZGUT ve Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ'ye çalışmamın her anında bana verdikleri katkılardan, desteklerden ve yönlendirmelerinden ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Tez izleme jürimde yer alarak her türlü katkı ve destekleri için Prof. Dr. İhsan TOROĞLU ve Prof. Dr. Hale SÜTCÜ'ye, sınavıma gelerek bana akademik anlamda destek olan Prof. Dr. Alim Gül ve Prof. Dr. Hayrünnisa ATEŞOK'a teşekkür ederim.

Ayrıca, tez izleme jürimde olmasa bile her türlü yardımlarını bana esirgemediği için, bana Cevher Hazırlama'yı sevdiren Prof. Dr. Ayşe Dilek ÇUHADAROĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Yine zor zamanlarda yardımlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Dekanı'mız Prof. Dr. Hakan KUTOĞLU'na, o tarihte dekan yardımcılığı görevini yürüten şimdiki Fen Bilimleri Enstitü Müdürü'müz Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim

Tez yazımı sırasında her defasında yanına koştuğum Doç. Dr. Hamit AYDIN'a, çok değerli akademisyen arkadaşlarım, dostlarım, hocalarım Doç. Dr. Kemal BARIŞ ve Yrd. Doç. Dr. Özgür YILMAZ, Yrd. Doç. Dr. İbrahim YİĞİT, Doç. Dr. Okan SU'ya, kıymetli büyüğüm Prof. Dr. Melih GENİŞ', Yrd. Doç. Dr. Alaaddin ÇAKIR' ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim BUZKAN'a, her türlü kahrımı çeken canım akademisyen kardeşlerim Arş. Gör. Haşim DURU, Arş. Gör. Mehmet BİLEN, Arş. Gör. Ekin KÖKEN ve Arş. Gör. Utku SAKIZ'a sonsuz teşekkürler sunarım.

TEŞEKKÜR (devam ediyor)

Bana gerek numunenin temini gerekse diğer desteklerinden dolayı TÜPRAG Altın Madenciliği o zamanki proses müdürü olan şuan Acacia Bakır İşletmesi İşletme Müdürü Veli GÖKDERE başta olmak üzere Uşak Kışladağ Altın Madeni Laboratuvar Müdürü Uğur AFŞAR'a, laboratuvar şefi İbrahim AYZAZ'a, laboratuvar çalışanları değerli kardeşlerim Akif GÜNGİL'e ve Ahmet ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni yönetimine ve bu şirket ile bağlantımızı kurarak bize Altın Madenciliği konusunda çalışmalarımızın yolunu açan Altın Madencileri Derneği Yönetim Kurulu Üyesi Dr. Muhterem KÖSE'ye çok teşekkür ederim.

Hem Altın Madencileri Derneği ile bağlantılarımızı sağlayarak çalışmalarımızda katkısı olan hem de akademisyenlik hayatımda emeği olan Prof. Dr. Yadiğar V. MÜFTÜOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Üniversitemiz "Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde" görev yapan akademisyen arkadaşlarım Dr. Soner ÇAKAR'a, Dr. Cengiz TEMİZ'e, Dr. Koray ALPER'e ve daha önce bu birimde görev yapan ancak şuan Düzce Üniversitesi'nde akademik hayatını devam ettiren Yrd. Doç. Dr. Sezen SİVRİKAYA'ya yardımları için teşekkür ederim.

Deney setlerimin oluşturulmasında üniversite demirhane atölye şefi Mazlum TANRIVERDİ başta olmak üzere birimde çalışan Yüksel NALKIRAN, Özgür ŞEKERCİ, Ahmet KÖSE, Satılmış ODABAŞ, Kayhan METİNTAŞ ve Ümit LAFÇI'ya çok teşekkür ederim.

Genel Sekreter Yardımcımız Veli ELİÇORA başta olmak üzere emekli olan ve Yapı İşleri Daire Başkanlığı biriminden Makine Yüksek Mühendisi Muhammet BÖLÜKBAŞ'a, Bilimsel Araştırma Projesi çalışanı Fatih YILMAZ'a ve Fen Bilimleri Enstitü Sekteri Çiğdem ERDOĞAN'a yardımları için minnetleri sunarım.

Deneylerimi gerçekleştirmek üzere cihazlarda yaşadığım sıkıntıları en aza indirmek adına elinden geleni esirgemeyen Tetra Teknolojik Sistemler teknik personeli Ali Er KARŞAĞ'a çok teşekkür ederim.

TEŞEKKÜR (devam ediyor)

Deneyletime bizzat katılarak yardımlarını esirgemeyen öğrenci arkadaşlarım; Ertuğrul Ensar BAYRAK başta olmak üzere, Kurtuluş OYMAK, Emrah ABANOZ, Görkem YILMAZ, Esin DURAN, Osman ÇAKMAKÇIOĞLU, Ahmet DİLAVER, Beytullah GÜVENDİ, Şefik Tunca AŞÇIOĞLU, Ozan Fatih ÇETİNER ve Sezai BAHADIR'a çok teşekkür ederim.

Sevgili kardeşim Halit KAYA'ya deneylerimin gerçekleştirilmesi esnasında maddi manevi desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Manevi desteklerinden dolayı Türkiye Taş Kurumu'nda Maden Mühendisi olarak görev yapan değerli dostlarım Sadık SARİMEHMET ve Hanefi ORUÇ'a, yine aynı kurumda çalışan Kimya Mühendisi Gökhan SARIHAN'a teşekkür ederim.

Cihazlarımla ilgili sorunların giderimde yardımlarını hiç esirgmeden yapan Elektrik Atölyesi Teknik Elemanı Kerim BİR'e, Kalorifer Bakım Şefi Salih AYDIN'a, teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının yapılması aşamasında 2013 - 98150330 - 05 No'lu Lisansüstü Öğrenim ve Araştırma Projesi kapsamında gerekli maddi desteğinden dolayısıyla Üniversitemize teşekkür ederim.

Benim can parelerim her türlü kahrımı çeken biricik Eşim Pınar ve biricik kızlarım Sıla ve Aslı'ya sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak, beni yetiştiren, hayatım boyunca yanımda olan, sabırla eğiten ve büyüten anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ALTIN İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	7
2.1 ALTIN.....	7
2.1.1 Altının Kimyasal Özellikleri	7
2.1.2 Altın Mineralleri	9
2.2 ÜLKEMİZDE ALTIN ÜRETİMİ VE SEKTÖRÜN DURUMU	10
2.3 DÜNYADA ALTIN MADENCİLİĞİ.....	13
BÖLÜM 3 ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	17
3.1 UYGULANAN TEKNOLOJİ	17
3.1.1 Kimyasal Zenginleştirme (Liç)	19
3.1.1.1 Yerinde Liç.....	19
3.1.1.2 Yığın Liçi	19
3.1.1.3 Süzülme Liçi	22
3.1.1.4 Tank Liçi	23
3.1.2 Yüklü Çözeltiden Altın Kazanımı	24

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1.2.1 Çinko ile Çöktürme (Merrill Crowe) Yöntemi	24
3.1.2.2 Aktif Karbona Soğurma Yöntemi	24
BÖLÜM 4 KULLANILAN SİYANÜRÜN YÖNETİMİ	27
4.1 SİYANÜR YÖNETİM SİSTEMİ.....	28
4.2 SİYANÜRÜN TOKSİK ÖZELLİKLERİ.....	29
4.3 SİYANÜR ARITMA TEKNOLOJİSİ.....	30
4.4 ATIK BARAJLARI.....	35
4.5 REHABİLİTASYON.....	39
BÖLÜM 5 YIĞININ HAZIRLANMASI VE GEÇİRGENLİĞİ.....	41
5.1 BİR YIĞININ HAZIRLANMASI.....	41
5.2 YIĞIN LIÇİNE GEÇİLMEYEN ÖNCE YAPILMASI GEREKENLER	44
5.2.1 Cevherin Yığın Liçine Uygunluğu.....	44
5.2.2 Yığın Tane Boyutu ve Topaklaştırma (Aglomerasyon).....	45
5.2.3 Cevherin Yığına Serimi	48
5.2.3.1 Kamyon ile Cevherin Serimi	48
5.2.3.2 Taşıyıcı Bant ile Cevherin Serimi	49
5.2.4 Çözelti Uygulama Ekipmanları.....	50
5.3 YIĞIN LIÇİ PERFORMANSINA GEÇİRGENLİĞİN ETKİSİ.....	51
BÖLÜM 6 UŞAK KIŞLADAĞ ALTIN MADENİ	61
6.1 BÖLGENİN JEOLojİSİ	62
6.1.1 Proje Alanının Jeolojisi.....	62
6.2 CEVHERLEŞME	63
6.3 MADEN İŞLETME YÖNTEMİ.....	64

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 7 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	65
7.1 GİRİŞ	65
7.2 ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	66
7.2.1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Boyut ve Kimyasal Analizler	67
7.2.2 Numunenin Mineralojik Analizi	69
7.2.3 Geçirgenlik Deneyleri.....	71
7.2.4 Bottle - Roll (Şişe Testi) Deneyleri	79
7.2.5 Kolonlarda Gerçekleştirilen Liç Deneyleri	83
7.2.5.1 Fındık Kabuğu Kullanılarak Gerçekleştirilen Kolon - Liç Deneyleri	91
7.2.6 Siyanür Çözeltilisinin Cevherdeki Altını Çözme Hızındaki Değişimlerinin İncelenmesi.....	98
BÖLÜM 8 SONUÇLAR.....	105
KAYNAKÇA	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
EK AÇIKLAMALAR	117
ÖZGEÇMİŞ	119



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 İnce altın levhanın çeşitli yükseltgen çözeltiler içindeki çözünme hızları	8
Şekil 2.2 2001 - 2016 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen altın üretimi (ton) grafiği	11
Şekil 2.3 Ülkemiz altın ve gümüş cevherleşme sahaları haritası	13
Şekil 2.4 Dünya altın rezervlerinin ülkelere göre dağılımı.	14
Şekil 2.5 Ülkemizin 2007 - 2015 yılları arasında dünyadaki altın üretimi içerisindeki payı... 15	
Şekil 3.1 Yığın liçi alanının tabanının kil ve jeomembranla geçirimsiz hale getirilmesi.	20
Şekil 3.2 Yığın liçi prosesinin akım şeması	21
Şekil 3.3 Uşak Kışladağ Altın Madeni, yığın görüntüsü.....	21
Şekil 3.4 (a) Bir tepe yamacındaki yığın liçi, (b) Çukur bir alandaki yığın liçi.....	22
Şekil 3.5 Tank liçi akım şeması	23
Şekil 3.6 Sıvı fazdaki altının aktif karbonlara soğrulması	25
Şekil 3.7 Katotda toplanan altının ergitme fırınında ergitilmesi	26
Şekil 3.8 Dore Külçe Altının elde edilmesi.....	26
Şekil 4.1 MTA Altın Pilot Tesisinde siyanürlü atıkların doğal bozundurma sürecinin durumu	31
Şekil 4.2 Kimyasal arıtma yöntemi	33
Şekil 4.3 Kaya Dolgu Baraj.....	37
Şekil 4.4 Yükselti tip barajlar; a- Akıntıya yukarı (membaya) doğru ilerletimli barajda atık doldukça yükseltilir, b- Akıntıya aşağıya (mansaba) doğru ilerletimli barajda atık doldukça yükseltilir, c- Her iki yönde ilerletimli barajda merkezden itibaren atık doldukça yükseltilir	38
Şekil 5.1 Yığının hazırlanması sırasında ince ve iri tanelerin ayrışmaya uğraması.....	42
Şekil 5.2 İnce tanelerin kil bantları oluşturması nedeniyle yatay yönde geçirimsiz bir tabaka oluşturması ve liç verimini olumsuz yönde etkilemesi.	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.3 Topaklaştırma işlemine tabi tutulmamış (a) ve tutulmuş (b) tanelerden oluşan kütle içinden çözelti akışı	47
Şekil 5.4 Kamyon ile cevher serimi	49
Şekil 5.5 Yığın liçi işleminde serim	50
Şekil 5.6 Damlatma sistemi ile siyanür çözeltilisinin yığın üzerine uygulanması	51
Şekil 5.7 Cevherin yığındaki dağılımı: (a) Gerçekte, (b) İstenen	52
Şekil 5.8 Kil miktarına göre su geçirgenliği (hava geçirgenliğinin yüzdesi olarak) ve su tuzluluğu (ppm)	54
Şekil 5.9 Tabakalı Yığın Liçi'nde ara Kaldırma Astarlarının kullanımı	55
Şekil 5.10 Hidrolik iletkenliğin (geçirgenlik) yığın yüksekliğine ve cevher tipine bağlı değişimi.....	55
Şekil 5.11 Sabit seviyeli geçirgenlik deney düzeneği	57
Şekil 5.12 Düşen seviyeli geçirgenlik testi düzeneği.....	58
Şekil 5.13 Zemin tiplerine bağlı geçirgenlik değerleri.....	58
Şekil 6.1 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nin konumu ve maden sahası görünümü	61
Şekil 7.1 Üçüncül çeneli çıkışı malzemelerin konileme - dörtleme metodu ile azaltılarak kovalara doldurulması (yaklaşık 1,5 ton).	65
Şekil 7.2 İkincil çeneli çıkışı malzemenin görünümü (yaklaşık 2 ton).....	66
Şekil 7.3 a) Saçınımlı şekilde gözlenen pirit mineralleri b) Küçük yumrular şeklinde gözlenen pirit, markazit, sfalerit ve galen cevher topluluğu c) İri yumrular şeklinde gözlenen pirit, markazit, sfalerit ve galen cevher topluluğu d) Opak mineral (Rutil) e) Sfalerit f) Limonit.	70
Şekil 7.4 "Sabit Seviyeli Geçirgenlik Deney Setinin" şematik bir görünümü.....	72
Şekil 7.5 "Sabit Seviyeli Geçirgenlik Deney Setine" ait görüntüler.....	73
Şekil 7.6 -18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyut gruplu cevherin geçirgenlik deney sonuçları. 74	
Şekil 7.7 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %2,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	75
Şekil 7.8 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.9 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %7,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	76
Şekil 7.10 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %10 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	76
Şekil 7.11 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %12,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	77
Şekil 7.12 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %15 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.	77
Şekil 7.13 Numune ile fındık kabuğunun karışımları. a) -18 mm boyutundaki fındık kabuğu, b) -10 mm boyutundaki fındık kabuğu.	78
Şekil 7.14 %5 oranında -10 mm boyutlu fındık kabuğu ile -2,36 mm boyutlu numune karışımının “Geçirgenlik Deney Seti” görünümü.....	79
Şekil 7.15 “Bottle - Roll” (Şişe Testi) deney düzeneği.....	79
Şekil 7.16 Laboratuvarımızda yer alan Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS) Cihazı	80
Şekil 7.17 -18 mm (orijinal) boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.	81
Şekil 7.18 -10 mm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.	81
Şekil 7.19 -2.36 mm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.	82
Şekil 7.20 -74 µm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.	82
Şekil 7.21 “Bottle - Roll” deneyi liç süresi - Au çözünme verimi toplu deney sonuçları.....	83
Şekil 7.22 Pilot ölçekli “Kolon Liç Setine” ait bir görüntü ve CN çözeltilisinin akış yönleri. ..	84
Şekil 7.23 -18 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim.....	85
Şekil 7.24 -18 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi.....	85
Şekil 7.25 -2,36 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim.....	87
Şekil 7.26 -2,36 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi.....	87
Şekil 7.27 Manyetik karıştırıcıda fındık kabuğunun 1 gr/lt NaCN içeren çözelti ile muamele edilmesi.	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.28 -2,36 mm boyutlu numune ve %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.....	92
Şekil 7.29 -2,36 mm boyutlu numune ve %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda absorbe olan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.	93
Şekil 7.30 -2,36 mm boyutlu numune ve %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.....	94
Şekil 7.31 -2,36 mm boyutlu numune ve %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.....	95
Şekil 7.32 -2,36 mm boyutlu numune ve %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.....	96
Şekil 7.33 -2,36 mm boyutlu numune ve %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.....	97
Şekil 7.34 Kolonlarda gerçekleştirilen liç deneylerinin liç süresi - %Au çözünme verimi toplu deney sonuçları.....	98
Şekil 7.35 Siyanür çözeltilisinin -18 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.	99
Şekil 7.36 Siyanür çözeltilisinin -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.	100
Şekil 7.37 Siyanür çözeltilisinin %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.....	101
Şekil 7.38 Siyanür çözeltilisinin %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.....	102
Şekil 7.39 Siyanür çözeltilisinin %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.....	103
Şekil 7.40 Siyanür çözeltilisinin 30 gün boyunca cevher içerisindeki altını çözme (kazanma) hız değişimleri.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 2001 - 2016 yılları arası altın üretimi.....	10
Çizelge 2.2 Aktif işletme projeleri	11
Çizelge 2.3 Aktif arama projeleri.....	12
Çizelge 2.4 Dünya Altın Üretimi (2007 - 2015 yılları arası, ton/yıl).....	14
Çizelge 4.1 Atık barajı ve alıcı ortama atık deşarjı dünya standartları (mg/lt)	27
Çizelge 4.2 Atık havuzlarındaki siyanür konsantrasyonlarının doğal bozunma sonucundaki değişimi	32
Çizelge 4.3 Çözeltilerin toplam siyanür konsantrasyonlarının SO ₂ /HAVA kimyasal arıtma yöntemi sonrası değişimi.....	33
Çizelge 4.4 Siyanür arıtma işlemlerini seçmek için başlangıç rehberi.	34
Çizelge 7.1 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde fiili olarak yığına serilen malzemenin (-18 mm) elek analiz değerleri.	68
Çizelge 7.2 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde fiili olarak yığına serilen malzemenin (-18 mm) kimyasal analiz değerleri.....	68
Çizelge 7.3 Boyut gruplarında Au analiz değerleri.....	69
Çizelge 7.4 Tamamı -10 mm boyutlu cevherin boyut dağılımı.	71
Çizelge 7.5 Tamamı -2,36 mm boyutlu cevherin boyut dağılımı.	71
Çizelge 7.6 Fındık kabuklarının çözeltideki altını absorplayip absorplamadığının tayini.....	90



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: Borunun kesit alanı (cm ²)
A	: Toprak örneğinin kesit alanı (cm ²)
h _o - h ₁	: Boruda başlangıç ve bitişindeki su seviyeleri (cm)
i	: Hidrolik eğim
L	: Toprak örneğinin yüksekliği (cm)
k	: Geçirgenlik (permeabilite) (cm/s)
Q	: Deşarj edilen su miktarı (cm ³)
t	: Toplam deşarj süresi (s)
ΔAuçözünme verimi	: Altın kazanımı derişimi (%)
ΔAuçözünme verimi _T	: T zamanda elde edilen altın kazanımı (%)
ΔAuçözünme verimi _{T-1}	: T-1 zamanda elde edilen altın kazanımı (%)
Δh	: Manometrelerdeki basınç farkı (cm)

KISALTMALAR

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometre
ADR	: Adsorpsiyon Desorpsiyon Kazanım (Adsorption Desorption Refining)
WAD	: Zayıf asitte çözünen siyanür (Weak Acid Discociable)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uygarlıklar tarihinde Anadolu, zengin maden kaynakları ile madenciliğin daima kaynağı ve merkezi olmuştur. Anadolu'da dünyadaki ilk kurşun, bakır ve demir maden işletmesi de yer almıştır. M.Ö. 5000 yıllarında yine Anadolu'da, süs eşyaları yapımında altın kullanılmıştır. Hatta dünyadaki ilk altın para, M.Ö. 700 yıllarında Manisa - Salihli - Sart bölgesinde hakimiyet kuran Lidya Kralı Krezüs tarafından basılmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde de işletmesi yapılan altın-gümüş madenleri, hazine için büyük bir kaynak olmuştur. 1. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla Çanakkale - Kartaldağı Bölgesi'nde bulunan altın madeni, Anadolu'da işletilmesi durdurulan son altın madenidir. Cumhuriyet döneminde ise; **Altın Arama ve İşletme İdaresi** adı altında 1933'de kurulan ilk madencilik kurumu oluşturulmuştur (DPT 2001).

Dünya altın madenciliği açısından 1970'li yıllardan itibaren yükselen bir eğilim izleyen, epitermal porfiri ve listvenit tipi yataklardan yapılan üretim çok büyük önem kazanmıştır. Ülkemiz açısından özellikle Batı Anadolu'nun epitermal cevherleşmeler bakımından önem taşıyan jeotermal sistemlerin zengin olması, ayrıca, epitermal altın yataklarının iz elementi olarak önem taşıyan Sb - As - Hg cevherleşmelerinin yaygın olması, ayrıca yine Doğu Karadeniz Bölgemiz'de altın yatakları açısından önemli olan masif sülfür ve porfiri yataklarının bulunması; Orta ve Doğu Anadolu'da listvenitlerle yakından ilgili ofiyolitlerin geniş alanlar kaplaması, topraklarımızın altın oluşumlarının yerleşmesi için jeolojik açıdan çok elverişli olduğunu göstermektedir (DPT 2001).

Bu jeolojik durum göz önüne alındığında altın madeni açısından Anadolu'yu hiç de azımsanmayacak bir biçimde çekici hale getirmektedir.

Ülkemizde altın üretimi ilk olarak 2001 yılında Ovacık Altın Madeni'nde (Bergama, İzmir) başlamıştır. 1,4 ton/yıl seviyesinde başlayan üretim kapasitesi yeni açılan altın madenleri ile

giderek artmış 2013 yılında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2016 yılı sonu itibariyle toplam üretimimiz 252 ton/yıl gibi bir rakama ulaşmıştır (MTA 2016).

Dünya’da, altın cevherlerinin zenginleştirilme aşamasında kullanılan yöntemler; gravimetrik, flotasyon, amalgamasyon ve siyanür liçidir. Bunun; %83 - 85’i siyanürleme ile, %3 - 5’i gravimetrik yöntemler ile ve %10 - 14’ü de fiziko - kimyasal (flotasyon) yöntemler ile olmaktadır.

Gerek pirometalürjik yöntemler gerekse fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile altın kazanımında teknik açıdan zorlukların olması, maliyetlerin artması ve değerli metal içeriği yüksek olan cevherlerin giderek azalması nedeniyle, son yıllarda düşük tenörlü ve ince dağılımlı kıymetli mineral içeren cevherlerin değerlendirilmesinde kimyasal yöntemler ile zenginleştirme, endüstride daha geniş bir yer bulmuştur.

Bundan dolayıdır ki günümüzde cevherlerden altın üretiminde en önde gelen yöntem, zehirliliğinden dolayı çevresel kaygılar oluşturmamasına rağmen, siyanür liçi yöntemidir.

Siyanür ile altın üretiminde altının cevherde bulunuş şekli ve cevherin mineralojisi, altın üretiminde izlenecek yolun belirlenmesinde etkili olmakta ve bunun sonucunda proses ya son derece basit şekilde uygulanabilmekte ya da bazı işlemlerin bu prosese ilavesi ile üretim gerçekleştirilmektedir.

Yüzeeye yakın altın yataklarında altınla birlikte bulunan diğer mineraller su, oksijen, güneş ışığı ve bakterilerin etkisiyle oksitlenmekte ve bu cevherler klasik siyanür liçi ile kolaylıkla işlenebilmektedir. Ancak bu tip yataklar hızla tükenmektedir.

Dünya altın üretiminin yaklaşık olarak 1/3’ü refrakter olarak nitelendirilen cevherlerden yapılmaktadır ve bu oran yüzeeye yakın oksitlenmiş altın yataklarının tüketilmesiyle hızlı bir şekilde artmaktadır. Bundan dolayı, ekonomik ve çevre açısından uyumlu ön iyileştirme yöntemlerinin önemi önümüzdeki yıllarda daha çok artacaktır (Anon (a) 2004).

Refrakter yapıda bulunan altın yataklarındaki altın tanecikleri, siyanür tarafından kolay çözümlenemeyecek durumda olmakta, özellikle pirit ve arsenopirit gibi sülfür içeren mineraller içerisinde hapsolmuş durumda bulunmaktadır. Bu tip altın yataklarının

değerlendirilmesinde cevherin siyanür ile muamelesi öncesinde ön hazırlama işlemleri uygulanmaktadır. Öncelikle sülfür fazının parçalanıp ve böylece altının siyanür ile daha kolay bir biçimde temasını sağlayarak siyanür liçi yönteminin daha efektif bir konuma getirilmesi gerekmektedir (Brierley 1995).

Altın cevherleri;

- ❖ öğütme ile serbestleşen altın cevherleri,
 - ❖ kompleks konumda olan altın cevherleri ve
 - ❖ refrakter altın cevherleri
- olmak üzere sınıflara ayrılabilirler.

Öğütme ile serbestleşen altın cevherlerinde; cevherden altın; kırma ve öğütmenin ardından, basit gravite teknikleri ile veya direk siyanür liçi ile kolaylıkla kazanılabilmektedir. Altının basit bir şekilde öğütmeye serbestleştiği cevherlere 20 - 30 saat süreli, 100 - 250 mg/lit siyanür konsantrasyonunda ve pH=10 civarında liç işlemi uygulandığında, altın %90'nın üzerinde verim değerleri ile kazanılabilmektedir.

Kompleks cevherlerden altının kazanımı sırasında, yüksek siyanür konsantrasyonları kullanılabilir ve/veya liç tankına oksidant ilavesi yapılarak altın elde edilebilir.

Refrakter altın cevherlerine geleneksel siyanür liçi prosesi uygulandığında, son derece düşük altın kazanım değerleri elde edilmektedir. Bundan dolayı, bu cevherlere siyanür liçi öncesinde uygulanacak bir takım ön iyileştirme işlemlerinin yapılması ve bu ön iyileştirme işlemlerinin seçiminde de gerek teknik, ekonomik gerekse çevresel faktörlerin düşünülmesi gerekmektedir.

Altın cevherinin refrakter yapılı olmasının temel nedenlerinden bazıları aşağıda yer almaktadır (Fernandez vd. 2000):

- ❖ Çok ince taneli veya submikroskopik altının özellikle pirit, arsenopirit veya pirotit gibi sülfür mineralleri içerisinde kapalı durumda bulunması,
- ❖ demir ve bazı metal sülfürlerin liç ortamındaki parçalanma ürünlerinin siyanür ve/veya oksijen ile tepkimeleri,

- ❖ cevherde arsenik minerallerinin varlığı,
 - ❖ altının siyanürde çözünmez bileşikler halinde bulunması (tellüridler ile birlikte),
 - ❖ çözülmüş altını adsorbe eden karbonlu malzemelerin varlığı,
 - ❖ altın siyanür bileşiğini adsorbe edebilen kil minerallerinin varlığı,
- şeklinde sıralanabilir.

Eğer bir altın yatağında altını hapseden hem karbonlu malzemelerin varlığı hem de sülfürlü minerallerin varlığı söz konusu ise bu yataklar çift refrakter altın yatakları olarak isimlendirilmektedir.

Teknik, ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alınarak yapılan bu ön iyileştirme işlemlerinde temel olarak aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır;

- ❖ kavurma,
- ❖ basınçlı oksidasyon/basınç altında oksidasyon,
- ❖ kimyasal oksidasyon ve
- ❖ bakteriyel oksidasyondur.

Kavurma yöntemi; sülfür fazını parçalayıp siyanür ile altın taneciklerinin temasını sağlamayı hedefleyen, geleneksel bir yöntem olup, meydana çıkan gazların tutulması zorunluluğundan dolayı son yıllarda hızla yükselen çevre bilinci ile de zaten çoğu ülkede kabul edilebilir bir yöntem olmaktan uzaklaşmıştır.

Basınçlı oksidasyon/Basınç altında oksidasyon prosesi; refrakter altın cevherlerinin ön iyileştirilmesinde son derece etkili bir yöntem olup, yüksek tenörlü ve sülfür fazının tamamen parçalanması gereken cevherler için oldukça uygun bir prosestir. Fakat bu da ileri teknoloji ve yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir. Prosesin ilk yatırım maliyeti, kullanılan basınçlı otoklavlara ve oksijen tesisine gereksinimden dolayı yüksektir. Ayrıca yüksek basınç ve sıcaklık sebebiyle gerekli güvenlik önlemlerinin alınması zorunluluğu, yöntemin işletme maliyetini de artırmaktadır.

Kimyasal ön iyileştirme yöntemlerinden olan Nitroks/Redoks prosesi, Artech/Cashman prosesi, Aktivoks prosesi vb. proseslerde sülfür kafes yapısının parçalanıp altının açığa çıkartılmasında asidik ortam kullanılmaktadır. Bu oksidasyon yöntemleri laboratuvar veya pilot çapta uygulanmış olup, tesis çapında uygulamaları bulunmamaktadır (La Brooy vd. 1994, Brierley 1995, Ubaldini vd. 2000).

Bakteriyel oksidasyon prosesi ise;

- ❖ atmosferik kirlilik yaratmaması,
 - ❖ yüksek sıcaklık veya yüksek basınçlarda çalışan ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması,
 - ❖ kavurma ve basınçlı oksidasyonla karşılaştırıldığında düşük yatırım ve işletme maliyetinin olması,
 - ❖ tesis dizaynındaki basitlik ve işletmeye geçiş süresindeki zaman kısalığı,
 - ❖ rezervi büyük ve düşük tenörlü refrakter altın cevherlerinin ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan ucuz bir şekilde iyileştirilebilmesi,
- gibi avantajları söz konusudur.

Ancak bunların yanında bu prosesin sahip olduğu dezavantajlar da vardır. Bunlar;

- ❖ düşük reaksiyon hızına sahip olması (sülfür konsantreleri için birkaç gün süreli oksidasyon),
- ❖ sıcaklığın dikkatlice ayarlanma gereksinimi,
- ❖ düşük pH'dan dolayı korozyona sebep olması,
- ❖ karbonatlı malzeme içeren altın cevherlerinin ön hazırlanmasında köpürme problemlerine sebep olabilmesi,

şeklinde sıralanabilir (La Brooy vd. 1994, Brierley 1995, Crundwell 1995, Deng vd. 2000).

Kısacası bu tür uygulamaların çoğu ya laboratuvar deneyleri ile sınırlı kalmakta ya da endüstriyel boyuta taşınmaları durumunda çevreye vereceği zararlar nedeniyle olumsuz etkilerinin giderilmesi için firmaların tesis-altyapı kurmalarını gerektirmektedir. Bu da ekstra maliyet yüklemektedir.

Şu an itibari ile ülkemizde refrakter altın yatakları okside olmuş altın yataklarından oldukça fazladır. Bu durum prosesleri zorlamaktadır ve altın kazanımlarını düşürmektedir.

Bir yığında; kullanılan siyanür çözeltisinin cevhere temas etmesi altın kazanım veriminin yüksek olması açısından son derece önemlidir. Bundan dolayı yığının düzgün hazırlanması ve yığın geçirgenliğinin uygun olması gerekmektedir. Bir yığında büyük oranlarda kil ya da -0,150 mm taneler bulunması durumunda, malzeme yığın liçi öncesinde mutlaka bir ön işlemden geçirilmektedir. Bu ön işlemin amacı malzeme içerisindeki ince taneleri iri tanelere bağlamak olmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirirken de su, kireç, çimento vb. bağlayıcılar kullanarak topaklandırma (aglomerasyon) işlemi yapılmaktadır. Böylece yığındaki ince boyut varlığının yığın geçirgenliğine etkisinin azaltılması hedeflenmektedir.

Bugüne değin yapılan çalışmalarda hem tesis ölçeğinde hem araştırma çalışmalarında yığın geçirgenliğindeki düzenli akışı sağlamak adına bitkisel atıklar, iç bünyelerinde bulunan organik karbon nedeni ile ilgili metali bünyesine bağlayacağı (hapsedeceği) düşünülerek kullanılmamıştır.

Bu doktora tezi kapsamında yapılan deneysel çalışmalar ile ince boyut varlığının geçirgenlik üzerindeki olumsuz etkisi giderilerek, siyanür çözeltisinin malzeme üzerinde homojen şekilde akışının sağlanması hedeflenmiştir. Böylelikle tane boyutu düşürülmesine imkan tanınarak tane serbestleşmesinin artırılması ile yüksek altın çözünme verimi elde edilmiştir.

Kullanılan fındık kabuğu ile yığında oluşan ince boyut varlığının geçirgenlik üzerine etkisi en aza indirilerek yığın permeabilitesi artırılmıştır. Fındık kabuğunun çevreye zarar vermemesi, yığın liçi açısından nötr bir malzeme oluşu, bozunma sonrası bitki yaşamına uygun ortam sağlaması ve kolay elde edilebilen bir malzeme olması gibi özelliklerin yanı sıra altın çözünme verimi üzerindeki etkisinin olumlu olması çalışmanın özgünlüğünü arttırmaktadır.

BÖLÜM 2

ALTIN İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1 ALTIN

Altın, yumuşaklığı, herhangi bir zor işlem gerektirmeden kolay şekil alabilmesi, hemen hemen hiç kaybolmayan parlak sarı rengi nedeniyle insanların ilgisini her dönem çekmeyi başarmıştır.

Altın, doğada element olarak tek başına bulunma özelliğine sahip, parlak sarı renkte, ağır bir metaldir. Periyodik cetvelin 1B grubunda yer alır. Oksitlenmeye, korozyona ve sülfürlenmeye karşı dirençlidir. Diğer metaller ile kolay alaşım yapar, elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir.

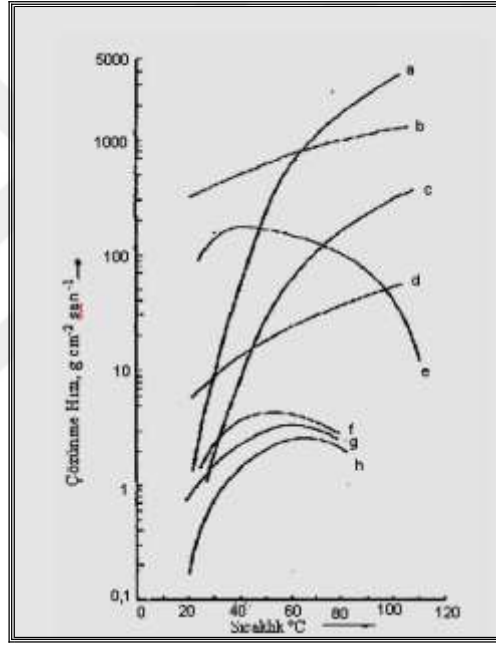
Kimyasal simgesi Au, atom numarası 79, atom kütlesi 196,97 g/mol ve 14 izotopu bulunan bir element olup, sertliği 2,5 - 3,0, yoğunluğu ise 19,3 g/cm³'tür. Bileşiminde diğer metallerin olması durumunda yoğunluğu 15 g/cm³'e kadar düşebilir. Erime noktası 1064 °C, kaynama noktası yaklaşık olarak 2700 °C, son derece yumuşak ve ağır, dövüldüğünde 0,000147 mm inceliğinde levhalar haline gelebilen, kendine has sarı renkli bir metaldir. Çok kolay şekil verilebildiği için kuyumculukta tercih edilir. Saf halde toplu iğne kullanılarak bile altın delinebilir. Bu özelliği nedeniyle diğer benzer metallerden ayrılır. Atmosfer şartlarında (sıcaklık, nem) hangi durumda bulunursa bulunsun havadan etkilenmez. Ayrıca oksijen, ozon, azot, hidrojen gazlarının altına etkisi yoktur. Bu sebeple çeşitli teknik aletlerde kullanılır.

2.1.1 Altının Kimyasal Özellikleri

Altın her koşulda oksijen ile reaksiyon vermeyen bir metaldir. HF, H₂SO₄, HPO₄, çok yüksek konsantrasyonlar hariç halojensiz HNO₃ ve pratikte tüm organik asitlerin seyreltik

ya da derişik çözeltileri kaynama sıcaklığında bulunsalar dahi altına etki edemezler. Altın, hidrohalojenik asit, HNO_3 , H_2O_2 ve H_2CrO_4 , serbest halojen gibi bir yükseltgen ile birleştirildiğinde oluşan çözelti içinde çözünür. Ayrıca su ve halojen karışımlarında ve selenik asitte de çözünebilir. Şekil 2.1’de altının çeşitli endüstriyel çözeltiler içindeki çözünürlük hızları verilmiştir (Habashi 1997).

Kimyasal olarak zor tepkimeye giren altın, oksijenden, yüksek sıcaklıklarda dahi etkilenmez. Bütün asitlere karşı dirençlidir. Ancak kral suyu olarak adlandırılan 3 mol HCl + 1 mol HNO_3 karışımı, demir III klorürün sıcak çözeltisi, NaCN , KCN , Br_2 , Cl_2 , altına etki eder. Civa ise altınla alaşım şeklinde birleşebilir.



Şekil 2.1 İnce altın levhanın çeşitli yükseltgen çözeltiler içindeki çözünme hızları (Habashi 1997).

Şekil 2.1’de a) Kral suyu, 6 mol/L; b) HCl , 6 mol/L + Br_2 , 0,2 mol/L; c) NaCN , 0,45 mol/L + 4-nitrobenzoik asit, 0,1 mol/L + NaOH , 0,2 mol/L; d) HCl , 6 mol/L + Cl_2 (doymuş); e) HCl , 6 mol/L + H_2O_2 , 0,22 mol/L; f) NaCN , 1 mol/L + hava; g) NaCN , 0,45 mol/L + NaOH , 0,2 mol/L + hava; h) NaCN , 0,006 mol/L + $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 0,04 mol/L + havayı temsil etmektedir.

Altın sırası ile çinko, kurşun ve bakıra karşı çok büyük ilgi oluşturduğundan bu metaller altın için toplayıcı reaktif gibi davranışta bulunurlar (Habashi 1997).

2.1.2 Altın Mineralleri

Doğada altın nabit olarak bulunabilir. Nabit altın kübik sistemde kristalleşir. Genellikle metal ve çeşitli alaşımlar halinde bulunmaktadır. Katı alaşımlar halinde en fazla gümüş, bakır, nikel, palladyum ve platınle bulunmaktadır. Nabit altın dışında en önemli altın mineralleri tellüridlerdir. En az altını metallerin içerdiği görülmektedir. Altının içindeki gümüş miktarı genellikle %10 - 15 arasında değişmektedir. Gümüşten başka önemli miktarda bulunan metaller aşağıda verilmektedir.

Cu	en fazla	% 20,4
Fe		% 0,1
Bi		% 2, 9
Sn		% 0, 8
Al		% 0, 1
Mn		% 0,0002

Dünyada çeşitli yerlerden alınan metal altın örneklerinde yapılan analizler, altının saf olmadığını ve doğada saf altının bulunamayacağını göstermiştir. Altınla en fazla Ag, Cu ve Fe elementleri görülmüştür. Bunlardan başka sırasıyla; Pb, Hg, V, Bi, Mn, Si, Mg, Ni, Ca, Zn, Pb, Pt, Ti, Al, Sb, Te, B, Co, Cr, As, Sn Mo, Cd, Rh, Sr, W, Zr olmak üzere 30 çeşit element belirlenmiştir. Plaser yataklarda altının saflığı ana kayaktan uzaklaştıkça ayrışma sebebiyle artmaktadır.

Doğada Altın İçeren Başlıca Mineraller:

Elektrum	(Au, Ag)	% 20'den fazla Ag içermektedir. Au % 0 - 50 arasındadır.
Porpezit	(Au, Pb)	% 5 - 10 kurşun içermektedir.
Rodit	(Au, Rh)	% 34 - 43 Rh içermektedir.
Aurikuprit	(AuCu ₅)	
Aurosmirid	(Altınlı osmiridyum)	% 19,3Au
Altın-Amalgam	(Au ₂ Hg ₃)	% 34,2 - 41,6Au
Aurostibit	(AuSb ₂)	% 43,5 - 50,9Au
Krennerit	(AuTe ₂)	% 30,7 - 43,9 Au
Kalaverit	(AuTe ₂)	% 30,7 - 43,9 Au

Silvanit	(AuAg)Te ₂	% 24,2 - 29,9 Au
Koskavit	(CuAuTe ₂)	% 25,2 Au
Petzit	(AgAuTe ₂)	% 19 - 25,2 Au
Hessit	(Ag ₂ Te)	% 4,7 Au
Montbrayit	(Au ₂ Te ₃)	% 38,6 - 44,3 Au
Nagyagit	Pb ₅ Au(Te ₂ Sb) ₄ S ₅₋₈	% 7,4 - 10,2 Au
Aurobizmutinit	(Bi,Au,Ag) ₅ S ₆	% 12,3 Au, % 2,3 Ag

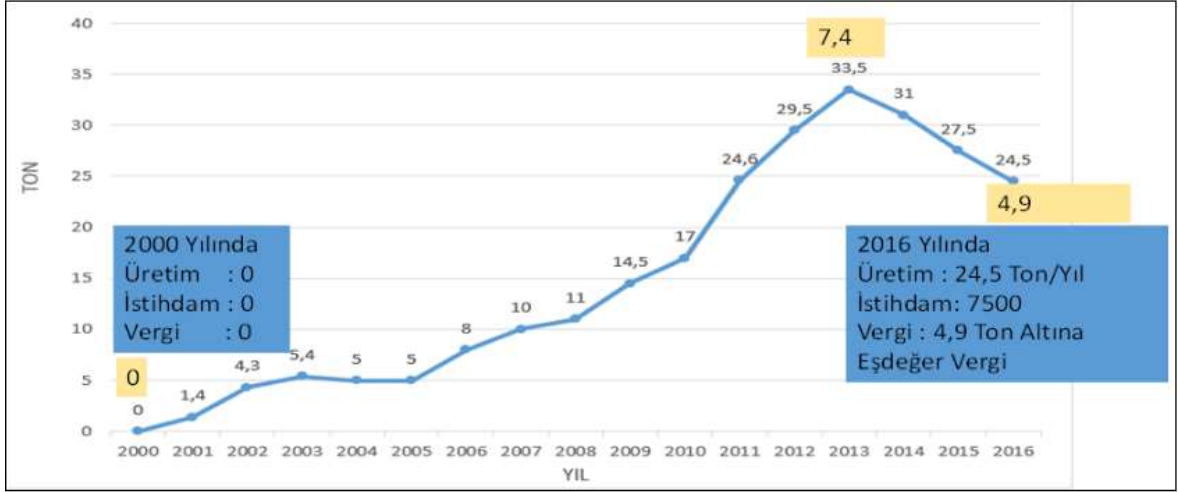
şeklinde sıralanabilir (Jones ve Fleischer 1969).

2.2 ÜLKEMİZDE ALTIN ÜRETİMİ VE SEKTÖRÜN DURUMU

Ülkemizde Cumhuriyet döneminde resmi olarak altın cevherinden doğrudan ilk altın üretimi 2001 yılında İzmir Bergama’da Ovacık altın madeninde başlamış olup, başlangıçtaki üretim 1,4 ton/yıl seviyesindeyken yeni açılan altın madenleri ve gerçekleştirilen kapasite artışlarıyla 2013 yılında 33,5 ton ile maksimum seviyeye ulaşmıştır (Çizelge 2.1). Ülkemizde 2001 - 2016 yılları arası toplam altın üretimi 252 ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.2). Dünya genelinde metal fiyatlarında meydana gelen düşüştür altının da etkilenmesi sebebiyle, buna paralel olarak ülkemizdeki altın üreticileri de kendi dengelerini kurmak amacıyla üretimlerini düşürmüşler ve kapasite artış yatırımlarını altın fiyatlarının yükseleceğini öngördükleri dönemlere ertelemek zorunda kalmışlardır. Bununla birlikte altının pazar fiyatının artmasına müteakip bundan sonraki süreçlerde ülkemiz altın üretim potansiyelinin 50 ton/yıl olabileceği öngörülmektedir (MTA 2016).

Çizelge 2.1 2001 - 2016 yılları arası altın üretimi (MTA 2016)

Yıllar	Üretim (ton)	Yıllar	Üretim (ton)	Yıllar	Üretim (ton)	Yıllar	Üretim (ton)
2001	1,4	2005	5,0	2009	15,0	2013	33,5
2002	4,3	2006	8,3	2010	17,1	2014	31,1
2003	5,4	2007	10,4	2011	24,9	2015	27,9
2004	5,0	2008	11,5	2012	28,8	2016	24,5



Şekil 2.2 2001 - 2016 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen altın üretimi (ton) grafiği (URL-1 2018).

Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde altın arama ve işletme projeleri yer almaktadır. Çizelge 2.2’de aktif olan işletme projeleri, Çizelge 2.3’de ise aktif olan arama projeleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Aktif işletme projeleri (MTA 2016).

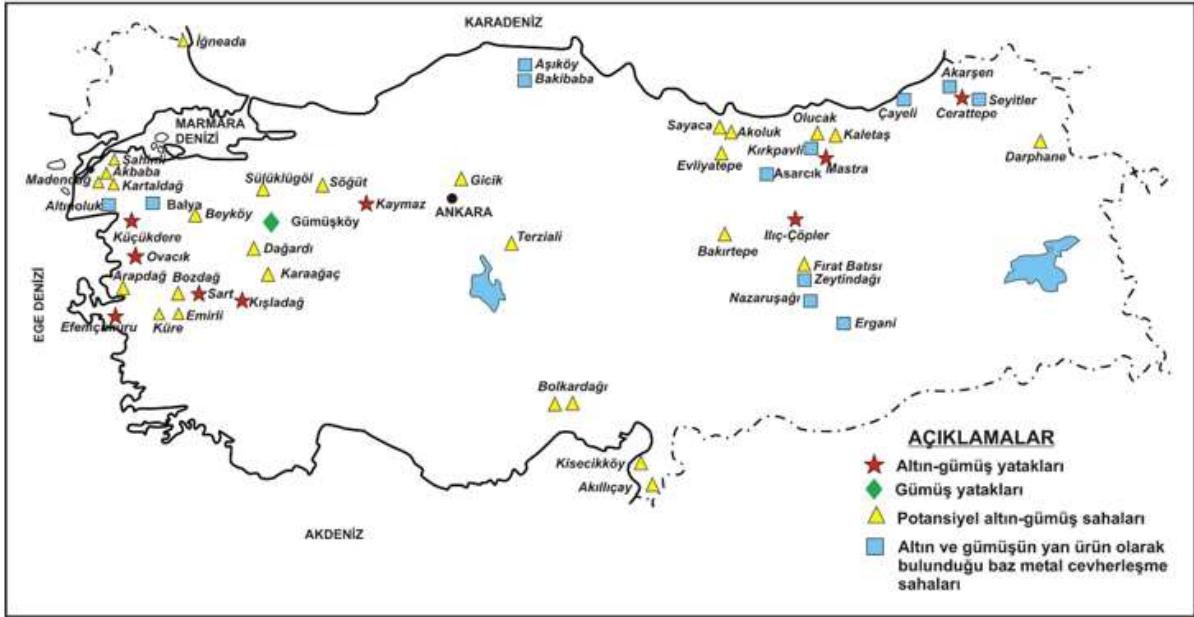
Proje	İl	Yatak Tipi	Tenör (gr/ton)		Metal İçeriği (ton)	
			Au	Ag	Au	Ag
Bakırtepe	Sivas				4,66	
Bergama	İzmir	Epitermal	4,06	3,02	0,0008	0,0006
Efemçukuru	İzmir	Epitermal	7,31	10,6	62,14	90,10
Himmetdede	Kayseri	Epitermal	0,67			
İliç	Erzincan	Porfiri	1,59		55	63
Kaymaz	Eskişehir	Epitermal	3,69	4,94	0,0034	0,0046
Kışladağ	Uşak	Porfiri	0,66	1,5	353,36	803,10
Mastra	Gümüşhane	Epitermal	2,94	4,94	0,0004	0,0007
Sart	Manisa	Plaser				
Bolkardağı	Niğde	Karstik				
Altıntepe	Ordu	Epitermal				

Çizelge 2.3 Aktif arama projeleri (MTA 2016).

Proje	İl	Yatak Tipi	Tenör (gr/ton)		Metal İçeriği (ton)	
			Au	Ag	Au	Ag
Ağı Dağı	Çanakkale	Epitermal	0,59	4,09	52,71	368,31
Cerattepe	Artvin	VMS		1,15		
Ergama	Balıkesir	Epitermal, porfiri				
Halılağa	Çanakkale	Porfiri	0,34		54,80	
Hot Maden	Artvin-Erzurum		13,4		63,23	
İvrindi	Balıkesir		1,65		0,34	
Kepez	Balıkesir	Porfiri	4,5	22,5	0,28	1,40
Kızılçukur	Balıkesir	Epitermal	2,39	48,5	0,53	10,76
Kızıltepe	Sındırgı	Epitermal	3,1	39,8	6,87	88,20
Kirazlı	Çanakkale	Epitermal	0,72	8,74	23,57	286,10
Kubaşlar	Balıkesir	Epitermal	2,29	14,36		
Küçükdere	Balıkesir	Epitermal	1,36	6,28		
Mollakara	Ağrı	Porfiri	0,84	0,21		
Muratdere	Bilecik	Porfiri	0,12	2,4	6,35	122,40
Öksüt	Kayseri		1,4		37,32	
Salınbaş	Artvin	Porfiri	2,03		33,90	
Söğüt	Bilecik	Epitermal	13,85	1,26		
Tavşan	Kütahya	Epitermal	1,3	3,9	3,64	10,92
Tv Tower	Çanakkale	Epitermal, porfiri	1,22		14,18	
Yenipazar	Yozgat	VMS	2,42		72,60	

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'e bakıldığında ülkemizde altın yatakları Ege, Doğu Karadeniz, İç Batı Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. İşletilebilir altın rezervimiz metal bazında yaklaşık 840 tondur civarındadır. Jeolojik yapısı ve dünyadaki altın oluşum modellerine dayanılarak yapılan hesaplama göre Türkiye altın potansiyelinin 6000 - 7000 ton olduğu tahmin edilmektedir (ETKB 2018).

Şekil 2.3'de Türkiye altın ve gümüş cevherleşme sahaları yer almaktadır.



Şekil 2.3 Ülkemiz altın ve gümüş cevherleşme sahaları haritası (MTA 2018).

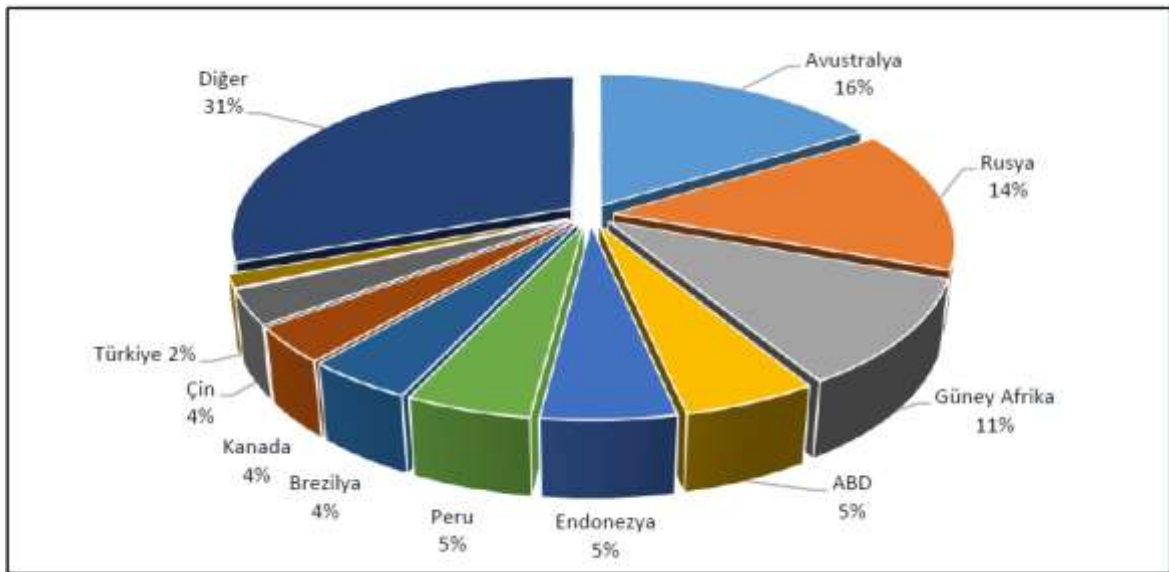
2.3 DÜNYADA ALTIN MADENCİLİĞİ

Gerek iletken yapılarda kullanımının artması gerekse taşı sanayinin her geçen gün gelişmesi sebebiyle dünya üretiminde altına ihtiyacı giderek artmaktadır. Özellikle 2007 yılından başlayarak 2015 yılına kadar geçen zaman dilimine bakıldığında dünya üretiminde %30 bir artışın olduğu Çizelge 2.4'den anlaşılmaktadır. Bu süreç içerisinde özellikle Çin Halk Cumhuriyeti, ABD, Avustralya, Rusya, Güney Afrika, Kanada ve Peru gibi ülkelerin altın üretiminde söz sahipleri oldukları görülmektedir. Dünya altın üretimi ile talep arasındaki ortaya çıkan farkları, külçe altın ve hurda altın ticaretinden olmak üzere merkez bankaları tarafından karşılanmaktadır (MTA 2016).

Çizelge 2.4 Dünya Altın Üretimi (2007 - 2015 yılları arası, ton/yıl) (MTA 2016).

Ülkeler	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ABD	238	233	223	231	234	235	230	210	200
Avustralya	246	215	222	261	258	250	265	274	300
Brezilya	40	50	60	58	62	65	71	80	80
Çin	275	285	320	345	362	403	430	450	490
Endonezya	118	60	130	120	96	59	61	69	75
Gana	84	75	86	82	80	87	90	91	85
Güney Afrika	252	213	198	189	181	160	160	152	140
Kanada	101	95	97	91	97	104	124	152	150
Meksika	39	50	51	73	84	97	98	118	120
Özbekistan	85	85	90	90	91	93	98	100	103
Papua Yeni Gine	65	62	66	68	66	53	57	53	50
Peru	170	180	182	164	164	161	151	140	150
Rusya	157	176	191	192	200	218	230	247	242
Şili	42	39	41	38	45	50	51	50	50
Türkiye	10,4	11,5	15	17,1	24,9	28,8	33	31,1	27,9
Diğer	471	446	490	559	640	655	684	858	855
Dünya Toplamı	2393,4	2275,5	2462	2578,1	2684,9	2718,8	2833	3075,1	3117,5
Türkiye'nin Payı %	0,43	0,51	0,61	0,66	0,93	1,06	1,16	1,01	1,00

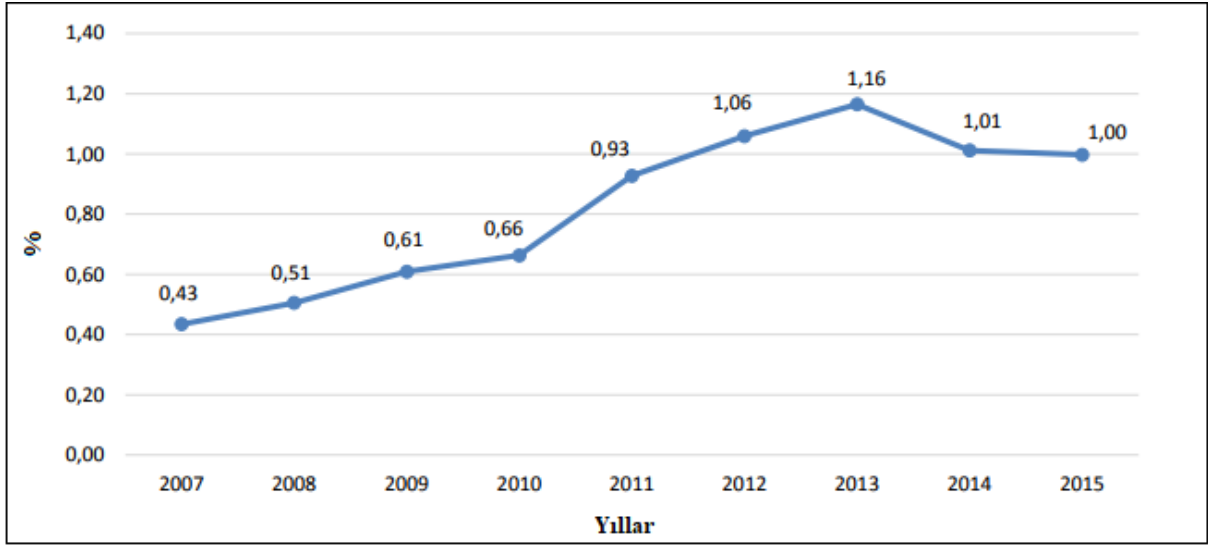
Çizelge 2.4'de görüleceği üzere; altın üretimi en fazla olan ülkelerin başında ABD, Çin, Avustralya, Rusya ve Güney Afrika gelmektedir. Ancak dünya altın rezervleri dağılımı (Şekil 2.4) açısından durum biraz farklıdır.



Şekil 2.4 Dünya altın rezervlerinin ülkelere göre dağılımı. (MTA 2016).

Dünya altın rezevlerine bakıldığında (Şekil 2.4), en yüksek altın üreten ülkelere göre Avustralya ve Rusya'nın başı çektiği görülmektedir.

Ülkemiz; 2001 yılında 1,4 ton altın üretimi ile başladığı ve 2013 yılında ise 33 ton gibi en yüksek altın üretimini gerçekleştirdiği dönemler ile birlikte, dünya üretimindeki payının yaklaşık %1'e erişmesi sağlanmıştır. Şekil 2.5'de ülkemizin dünya altın üretimi içindeki payı gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Ülkemizin 2007 - 2015 yılları arasında dünyadaki altın üretimi içerisindeki payı (MTA 2016).



BÖLÜM 3

ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1 UYGULANAN TEKNOLOJİ

Altın cevherinden altının üretimi için uygulanacak olan endüstriyel bazdaki süreçler; cevherin çevresel ve coğrafik özellikleri ile mineralojik, metalürjik, jeolojik faktörlerine bağlı olup, cevher yatağının tenörü, türü ve yapısal durumları dikkate alınarak geçilmektedir. Bu üretim %83 - 85'i siyanürleme ile %10 - 14'ü flotasyon ile ve %3 - 5'i de gravite yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda dünyada altın üretiminde altının çözünmesi için kullanılan kimyasal reaktif, endüstriyel ölçekte yalnızca siyanürdür (MTA 2016).

Altının tenörü, kazanılma şeklini etkileyen önemli bir faktördür. Primer yataklardan altın eldesi ile plaser yataklardan ya da çamurlu sulardan kazanılması farklı tenörlerde mümkündür. Örneğin; primer altın yatklarının tenörü, tonda en az 10 - 15 gr dolayındadır. Esas üretim yapılabilen büyük yataklarda bu değer günümüzde tonda 1 gr'a kadar düşebilmiştir Altın cevherinin kalitesini etkileyen faktörler arasında tenörden başka, altın içeren mineraller, altın kristallerinin büyüklüğü ve yapı - doku ilişkisi sayılabilir.

Ayrıca altın tenörünün yanında, rezerv durumu da o altın yatağının işletilebilirliği açısından son derece önemlidir. Rezerv durumuna göre bir altın yatağı;

- ❖ 5000 kg altın miktarına kadar; çok küçük yatak,
- ❖ 5000 - 30000 kg altın miktarında; küçük yatak,
- ❖ 30000 - 100000 kg altın miktarında; orta büyüklükle yatak,
- ❖ 100000 - 500000 kg altın miktarında; büyük yatak,
- ❖ 500000 kg altın miktarından fazla; çok büyük yatak, olarak adlandırılabilir (URL-2 2018).

Altın içeren cevherlerin zenginleştirilmesinde kimyasal yöntemler dışında, temel olarak, altın mineralinin oluşum şekli ve içeriklerine bağlı olarak;

- ❖ fiziksel yöntemlerden; sallantılı masa, jig, spiral ve ağır ortam ayırması ile
- ❖ fizikokimyasal yöntemlerden; flotasyon ve amalgamlaştırma ile zenginleştirme yapılmaktadır (Yüce 1995).

Altın üretiminde, plaser yataklarda oluşan serbest ve iri altın taneleri için öğütme, yıkama, gravite zenginleştirme yöntemleri uygulanırken, serbestleşmenin 30 - 40 mikrondan daha büyük tane boyutlarında meydana geldiği cevherler için flotasyon gibi fizikokimyasal yöntemlerin uygulandığı cevher zenginleştirme prosesleri yeterli olmaktadır.

Cevherdeki altının, sıvı faza alınmasını mümkün kılan amalgamasyon ve siyanürleme günümüzde endüstriyel boyutlu uygulama alanı bulmuştur. bakteriyel liç, tiyoüre ve asit liçi gibi diğer kimyasal yöntemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar halen sürdürülmektedir.

Altın madenciliğinin bilinen eski yöntemlerden biri olan amalgamasyon yöntemi, altının civa ile bileşik yaparak çözünmesi işlemidir. Bu yöntemin uygulanabilirliği ancak, altının yüzey verebilecek irilikte olması ve amalgamasyonu olumsuz yönde etkileyecek olan arsenik, bizmut, antimuan ve diğer sülfürlü minerallerin ortamda bulunmaması durumunda olmaktadır. Bu yöntem; daha çok nabit altın içeren cevherlerin gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulandığından ayrıca da civa ile çalışmanın çok daha özel koşullar gerektirmesi nedeniyle günümüzde siyanür ile zenginleştirme yönteminin gelişmesiyle terk edilmiş durumdadır (DPT 2001).

Kimyasal ve metalurjik yöntemler ise altının; çok küçük tane iriliğinde, diğer minerallerin kafes yapılarına dağılmış olarak bulunduğu veya kuvars kapanımları içinde olduğu kompleks ve bazı epitermal cevherlere uygulanmaktadır. Bu yöntemlerde altının üretimi, cevherin ya doğrudan ya da flotasyon gibi ön zenginleştirme işlemlerinden geçirildikten sonra uygun bir çözücü ile çözülerek katı fazdan sıvı faza alınması ve tekrar sıvı fazdan geri kazanılması ilkesine göre yapılmaktadır (La Brooy vd. 1994).

3.1.1 Kimyasal Zenginleştirme (Liç)

Kimyasal zenginleştirme, uygun kimyasal reaktifler kullanarak bir cevherin içerdiği kıymetli metal ya da minerallerin kimyasal yapılarını değiştirmek suretiyle uygulanan bir yöntemdir. Bu tür zenginleştirmelerin büyük bir kısmında kimyasal çözünürlük farkından faydalanılır. Liç adı verilen bu yönteme göre, uygun bir çözücü vasıtasıyla, kıymetli metal ya da metallerin seçimli olarak çözeltilmeye alınması sağlanmakta ve bir sonraki aşamada da bu yüklü çözeltiden yine seçimli olarak istenilen metalin kazanımı yapılmaktadır. Özellikle değerli metal oranı yüksek olan cevherlerin giderek azalması sonucunda 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, ince dağılımlı ve düşük tenörlü değerli mineral içeren cevherlerin değerlendirilmesi önem arz etmiştir. Fiziksel zenginleştirme ve pirometalürjik yöntemler ile elde edilecek metal kazanımının teknik açıdan zorluklar çıkarması ve maliyetleri yükseltmesi nedeniyle endüstride kimyasal yöntemlerle zenginleştirme daha geniş bir kullanıma sahip olmaktadır.

Liç yöntemi uygulanış şekline göre; yerinde liç, yığın liçi, süzülme liçi, tank liçi olarak sınıflandırılabilir.

3.1.1.1 Yerinde Liç

Verilecek olan çözeltilenin özellikle kolaylıkla dolaşabileceği yataklarda ya da eski maden ocaklarında uygulanan bu yöntemde, liç çözeltisi, yeryüzünden verilerek yapılmaktadır. Üstten verilen çözelti, gözenek ve çatlakları dolaşarak, sistem içinde temas ettiği kıymetli metalleri çözer ve bünyesine katar. Yatağın alt kısımlarında biriken bu çözelti, daha sonra yeryüzüne basılarak değerlendirilir.

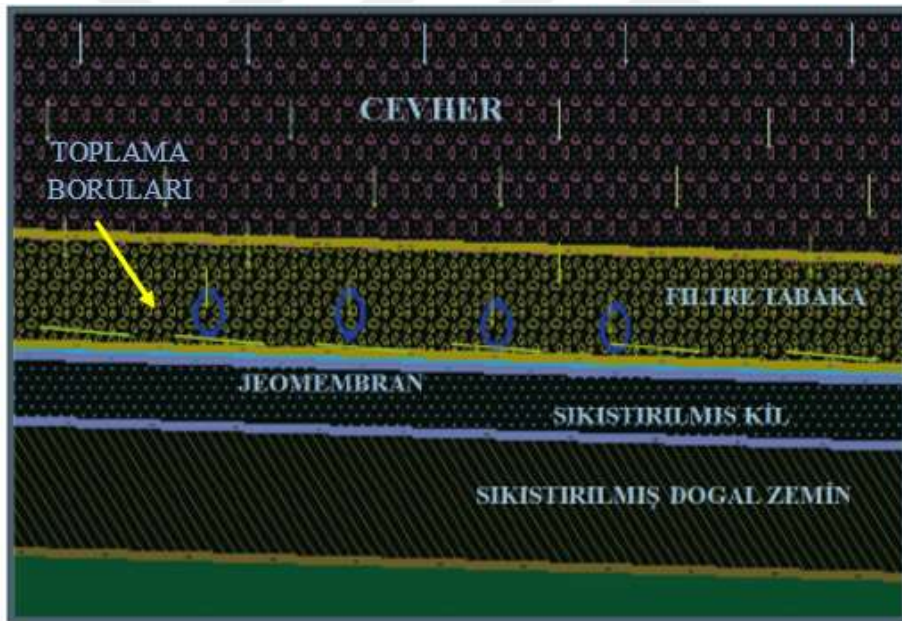
3.1.1.2 Yığın Liçi

Tenörü düşük altın cevherlerine uygulanan yöntemdir. Burada cevher, mevcut topoğrafyaya bağımlı olarak düz bir zeminde veya eğimli bir yamaca yığılabılır, yığının kapladığı alan yüzlerce dönüme kadar ulaşabilir. Yığının tabanında kil ve jeomembranla geçirimsizlik sağlanır ve geçirimsizlik sağlayan tabaka üzerine toplama boruları tesis edilir. Liç çözeltisi ise, yağmurlama şeklinde püskürtme veya damlama usulüyle yığının üzerinden bırakılır. Çözelti, taneler arasından ve gözeneklerden süzülerek kıymetli metalleri bünyesine katar. Daha sonra da yığının en alt seviyesinde “pad” adı verilen sızdırmaz bir tabaka (Şekil 3.1) üzerinde bulunan

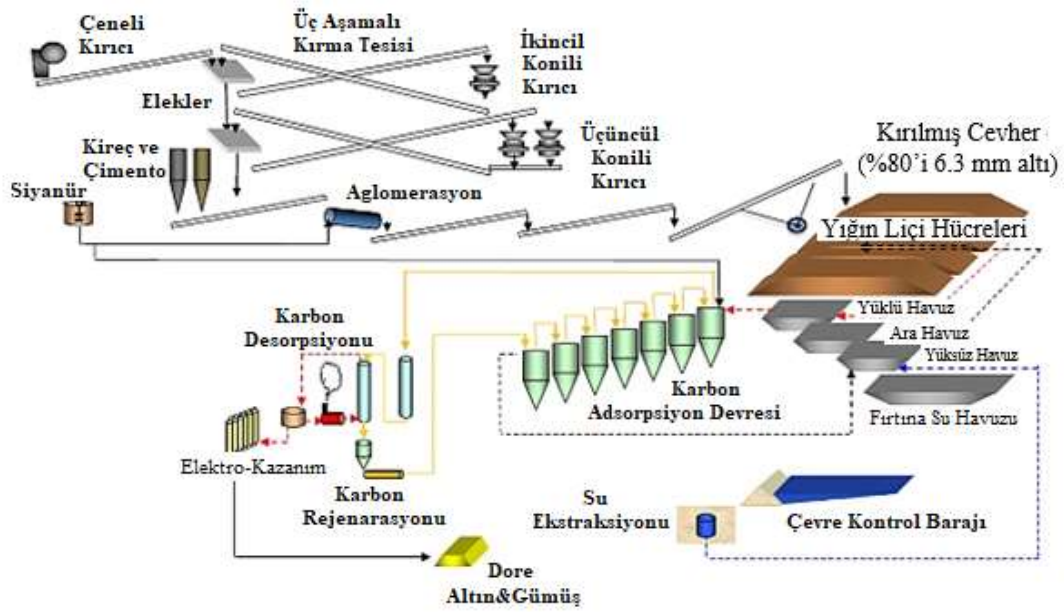
toplama boruları aracılığıyla havuzlara aktarılır. Düşük tenörlü (< 3 gr/t) ve altının çok küçük tanecikler halinde dağıldığı gerek oksitli, gerekse sülfürlü yataklar için günümüz koşullarında ekonomik olabilen açık işletmeyle işletilebilecek cevherler için uygulanan tek zenginleştirme yöntemidir.

Altın kazanma veriminin düşük (%50 - 75) olmasına rağmen gerek yatırım ve gerekse işletme maliyetlerinin azlığı sebebiyle geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin ülkemizde Erzincan - Çöpler'de, Uşak - Kışladağ'da ve Kayseri - Himmetdede'de altın çözündürme işlemi, yığın liçi ile gerçekleştirilmektedir (MTA 2016).

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere; boyut küçültme ve aglomerasyon işlemleri ile %80'i 6,3 mm'nin altına geçecek şekilde boyutlandırılarak hazırlanan cevher, yığında siyanür ile çözülmektedir. Daha sonra yüklü çözeltiden altın kazanılmaktadır.



Şekil 3.1 Yığın liçi alanının tabanının kil ve jeomembranla geçirimsiz hale getirilmesi.



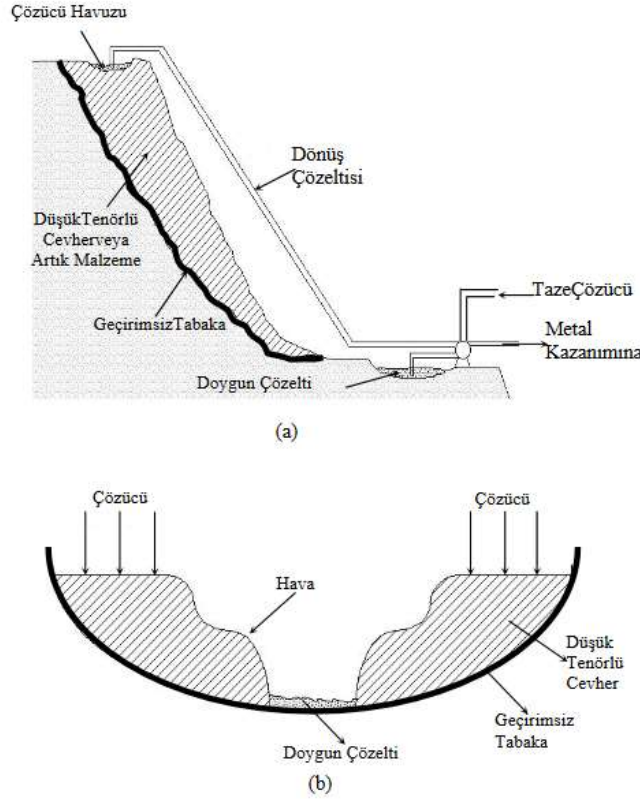
Şekil 3.2 Yığın liçi prosesinin akım şeması (URL-3 2018).

Şekil 3.3'de gösterilen Kışladağ Altın Madeni'nde olduğu gibi cevher, kırıldıktan sonra, her bir katı yaklaşık 10 metre yüksekliğinde olan, 5 - 6 katlı yığımlardan oluşan çeşitli hücreler meydana getirilip üzerine damla damla seyreltik siyanür çözeltisi (1 ton kırılmış kaya için yaklaşık 300 - 500 gram siyanür) verilir. Kullanılan sodyum siyanür, su ve kireç ilavesi ile seyreltilerek pH'ı 10 - 11'e ayarlanır. Ortamda pH'nın yükseltilmesiyle hidrojen siyanür gazı çıkışı engellenmiş olur. Çözücünün temasıyla da cevherdeki altının çözülerek sıvı faza alınması sağlanır.



Şekil 3.3 Uşak Kışladağ Altın Madeni, yığın görüntüsü (AMD 2011).

Yığın liçi aynı zamanda artık niteliği taşıyan malzemelere de uygulanabilmektedir. Bu tür yığın liçi uygulamaları yaklaşık yüz bin ton dolayında bulunan bir artık malzemede yeterli görülmektedir. Bu tür uygulamalarda geniş alanlar yerine bir tepe yamacında kurulan yığınlar söz konusudur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 (a) Bir tepe yamacındaki yığın liçi, (b) Çukur bir alandaki yığın liçi (Canbazoğlu ve Girgin 2001).

3.1.1.3 Süzülme Liçi

Yığın liçinden farklı olarak, tenörü daha yüksek olan ve çözelti dolaşımını etkilemeyecek kadar 9 mm ile 12,5 mm arasında iri boyutlu olan cevherlere uygulanmaktadır. Kullanılacak olan çözeltinin, yığın liçine oranla daha iyi kontrol altında tutulması söz konusu olursa, süzülme liçi tercih edilir. Uygulamada bu yöntemde; tank ya da tekne kullanılır. Her ikisinin de tabanında filtre bulunmakta ve onun da altında yüklü çözeltiyi toplama kanalı yer almaktadır. Bu yöntemde çözücü ya tankın üzerinden verilir ya da tankın altından verilir. Üstten verilen çözücü cevher tanelerinin arasından aşağı doğru süzülür. Ardından değerli metal bakımından yüklü hale gelen çözelti, tabandaki borular aracılığıyla alınır. Eğer çözücü tankın altından verilirse bu sefer yüklü çözelti taşma halinde alınır. İşlem seri devre halinde uygulanır ve liç süresi yaklaşık

Tank liçi ile yığın liçi karşılaştırıldığında, tank liçinin daha yüksek bir yatırıma ihtiyaç gösterdiği ve işletme masraflarının da daha yüksek olduğu bilinmektedir. Buna karşı, siyanür işlemleri için ihtiyacı olan zaman daha kısa olup, daha yüksek randıman vermektedir. Tank liçinin diğer bir özelliği de, kış aylarında diğer yöntemlerin liç çözeltilerinde görülen donma olayının bu yöntemde görülmemesidir (Özbayoğlu 1974).

3.1.2 Yüklü Çözültiden Altın Kazanımı

Yığın liçi veya tank liçi yöntemleriyle siyanür çözeltisine yüklenen altın, “Çinko ile Çöktürme” (Merrill Crowe) ya da “Aktif Karbona Soğurma” yöntemlerinden birisi uygulanarak siyanür bağından ayrılmış olur.

3.1.2.1 Çinko ile Çöktürme (Merrill Crowe) Yöntemi

1900’lü yılların başlarında, siyanürleme prosesinin geliştirilmesinden kısa bir süre sonra bulunan ve bugün artık yerini aktif karbona soğurma yöntemine bırakmakta olan bu proses, esasen sıvı fazdaki değerli metalin, çinko tozu yardımıyla çöktürülmesi işlemidir. Altın içeren çözeltilere oksijen uzaklaştırıldıktan sonra (oksijensizleştirme) çinko tozu eklenir ve altın indirgenir. Çözeltide oksijenin bulunması halinde altın tekrar çözeltiye geçmektedir. Tenörü yüksek, özellikle konsantre edilmiş altının kazanılmasında kullanılan bu yöntem, altına nispeten daha yüksek tenörlerde çalışılan gümüş üretim teknolojilerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde altının kazanılması denklemi;



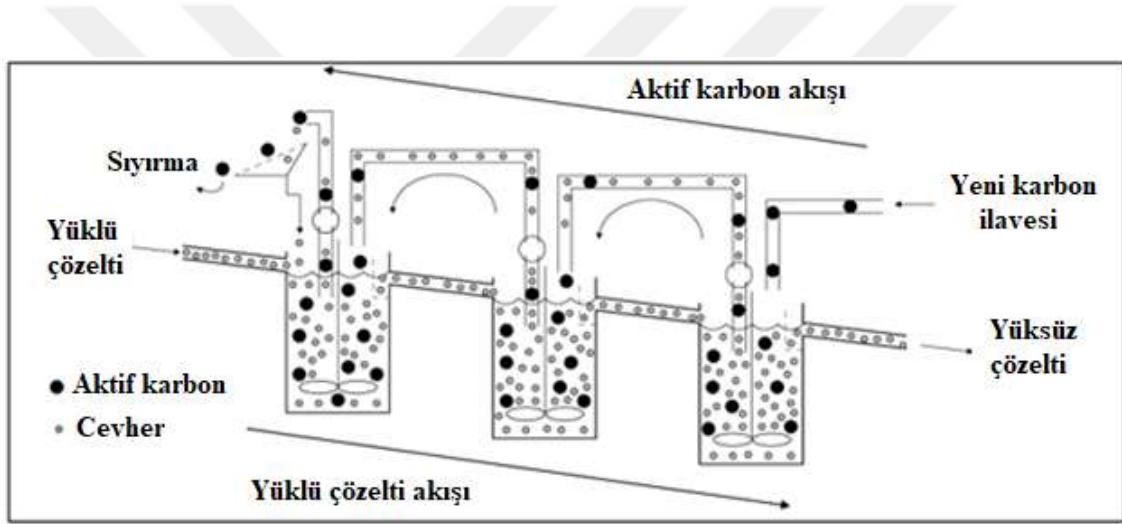
reaksiyonları şeklinde gerçekleşmektedir.

3.1.2.2 Aktif Karbona Soğurma Yöntemi

Aktif karbon, yüksek poroziteli ve birim kütle başına büyük oranda yüzey veren aktiviteli karbondur ve bu özellik absorpsiyon mekanizmasında önemli bir rol oynamaktadır. Değerli

metal aktif karbona soğurulması “Çinko ile Çöktürme” prosesiyle kıyaslandığında, ekonomik üstünlüğünün yanı sıra, teknolojik avantajlar da sağlamaktadır. Kıymetli metal konsantrasyonu değişiminden etkilenmeden yüksek kazanım verimi %99,9’a kadar çıkmaktadır (Yüce 1995). Refrakter cevherlerin günümüzde giderek daha da ön plana çıkmasına bağlı olarak, altın üretiminin düşmesi beklenirken, tam tersine ve özellikle de son 30 yılda dünya altın üretimi ikiye katlanmıştır. Burada, temel faktörün aktif karbona soğurma prosesi olduğu düşünülmektedir. Bugün dünya altın üretiminin yaklaşık %70’inde bu prosesin uygulanması söz konusudur (MTA 2016).

Sıvı faza geçen altın çözeltisi aktif karbon üzerinde toplanır. Şekil 3.6’de sıvı faza geçen altının, aktif karbon üzerine soğurulmasının gerçekleştirildiği ADR ünitesi yer almaktadır.



Şekil 3.6 Sıvı fazdaki altının aktif karbonlara soğurulması (URL-4 2018).

Karbondan ilk önce ılık sıyırma tankı daha sonra da sıcak sıyırma tanklarında belirli bir basınç altında sıyrılan altın çözeltisi, elektroliz ünitesinden geçirilerek katı zerrecikler halinde katotta toplanması sağlanır.

Katotta toplanan ve toz haline getirilen altın, 1063 °C sıcaklıktaki ergitme fırınından (Şekil 3.7) sonra potalara dökülür. Potalara dökülen altına “Dore Altın” denir (Şekil 3.8). “Dore Altın” saf olmayıp içerisinde bakır, demir, gümüş vb. gibi diğer metaller bulunabilir. Dore altın rafineriye gönderilerek içindeki diğer metaller uzaklaştırıldıktan sonra %99,5 veya %99,9 saflıkta altın haline getirilmektedir.



Şekil 3.7 Katotda toplanan altının ergitme fırınında ergitilmesi (AMD 2011).



Şekil 3.8 Dore Külçe Altının elde edilmesi (AMD 2011).

BÖLÜM 4

KULLANILAN SİYANÜRÜN YÖNETİMİ

Siyanürü oluşturan elementlere bakıldığında (karbon ve azot) bunların etrafımızı tamamıyla kuşattığını görürüz. Soluduğumuz havanın %80'nini karbon ve azot oluşturmakta ve hayatımızın şeklini oluşturan organik moleküllerde de bulunmaktadır. Hidrojen siyanür, dünyada hayatın başlamasına sebep olan aminoasitlerin öncüsü olarak gezegenimizin erken dönemlerinde oluşan bir bileşiktir. Birçok organizma aslında siyanürün varlığına uyum sağlamakta ve onu bir şekilde doğal olarak bozundurmaktadır.

Altın üretimi, siyanürleme yöntemiyle çok uzun yıllardır tüm dünyada başarıyla yapılmaktadır. Altın madenciliğinde, iklimin ve yerel koşulların uygun olması halinde siyanür, hem doğal bozundurma yöntemi ile hem de kimyasal bozundurma yöntemi ile etkin bir biçimde kontrol edilmekte ve bu yolla çevre koruma önlemleri alınmaktadır. Dünya altın madenciliğinde, atık havuzlarında depolanan atıklara doğal bozundurma uygulanması esnasında hiçbir limit değer söz konusu değil iken, kimyasal bozundurma işlemleri sonrasında, meydana gelecek olan atık suların alıcı ortam dediğimiz yüzey ve yeraltı sularına deşarjında limit değerler söz konusudur. Bu limit değerler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Atık barajı ve alıcı ortama atık deşarjı dünya standartları (mg/lt) (Akçıl 2002).

	Dünya Standardı							
	Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)		ABD		Kanada		Dünya Bankası	
	Baraja	Çevreye	Baraja	Çevreye	Baraja	Çevreye *	Baraja	Çevreye
Siyanür	50**	0,5	LİMİT YOK	0,2	LİMİT YOK	2'ye kadar	LİMİT YOK	1
Arsenik				-		0,01-1		1
Antimon				-		-		-
Bakır				0,15		0,05-0,3		0,1
Cıva				0,001		0,001		0,002
Çinko				0,75		0,2-1		1
Kadmium			0,05	0,01-0,1	0,1			
Krom			-	0,05-0,3	1			
Kurşun			0,3	0,05-0,2	0,6			

* Eyaletlere göre değişmektedir; en yüksek ve en düşük değerler alınmıştır.

** Henüz öneri safhasında

4.1 SİYANÜR YÖNETİM SİSTEMİ

Özellikle 1887 yılından başlayarak cevherden altının kazanılmasında, teknik açıdan en çok tercih edilen ve rahatlıkla bulunabilen, tüm dünyada kullanılan ve yönetilen siyanür, altını çözebilen az sayıdaki kimyasallardan biridir.

Altın ve gümüş madenciliğinde tonda 100 - 500 gr kadar seyreltik siyanür çözeltileri kullanılmaktadır. Diğer sanayilerde çok daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılan siyanürün, altın madenciliğindeki kullanımına oranla çok daha fazla olduğu gerçeğini de ortaya koymaktadır.

Altın üretiminde kullanılan sodyum siyanür, hidrojen siyanürden (HCN) elde edilmektedir ve dünyadaki yıllık HCN üretimi yaklaşık 1,4 milyon ton civarındadır (Mudder vd. 2001). İngiltere, ABD, Kore ve Almanya gibi ülkeler, başlıca sodyum siyanür üreticileridir.

Siyanürün, yalnızca yaklaşık %18'lik (270 bin ton) bir kısmı madencilik sektöründe kullanılmaktadır. Geriye kalan %82'i gibi büyük bir kısmı ise naylon ve plastik sanayi, tekstil sanayi, metal işleme ve kaplama, galvanizleme, kuyumculuk ve mücevhercilik, ilaç sanayi, tarım kimyasallarının üretimi ve fotoğrafçılık gibi diğer sanayii sektörlerinde tüketilmektedir. Dünyadaki altın üretiminin %85'inde siyanür kullanılmaktadır. Türkiye'de ise yılda 300 bin ton siyanür sanayiide kullanılmakta olup bunun sadece %1,5'lik bir kısmı altın madenciliğinde kullanılmaktadır

Zehirli ve öldürücü bir madde olduğu bilinen siyanür, yaşamın vazgeçilemez ve son derece yaygın olarak kullanılan bir kimyasal maddesidir. Siyanürün güvenli kullanımı, sağlıklı yönetim uygulamalarının yürürlüğe konması ile sağlanabilmiştir. Bunun ilk adımı olarak Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından 2000 yılından itibaren çalışmalar başlatılmış, siyanürün üretilmesi, taşınması, depolanması ve kullanılması sırasında uyulması gereken kurallar belirlenmiştir. Bu süreçten sonra birçok madencilik ve kimya sanayindeki şirketler siyanürün risk yönetimini uygulamaya başlamışlardır (ETKB 2018).

Sağlıklı bir siyanür yönetim sisteminin esasını, halkın ve tüm çalışanların siyanür ile ilgili riskler konusunda bilinçlendirilmesi oluşturmaktadır. Siyanürün doğaya vereceği tahribat çok iyi incelenmiştir. Siyanür, yasalarla sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmakta ve bununla ilgili

risk yönetimi çalışmaları düzeyinde etraflı bir literatür bulunmakta ve tesisteki çalışanlara, oluşturacağı riskler hakkında bilgi verilmektedir. Riskin büyüklük ve doğası hakkında, tesis çalışanlarına bilgi iletilmesi, toplumun bilinçlendirilmesinde ilk adımı oluşturmaktadır. Ayrıca ilgili yerel makamlarla, gerek iletişim gerekse de acil durum planları hakkında uygun bir şekilde koordinasyon haline çalışılmaktadır.

4.2 SİYANÜRÜN TOKSİK ÖZELLİKLERİ

Siyanür, yüksek dozlarda maruz kalındığında ani toksik etki yaratan bir kimyasaldır. Yanlış kullanılması halinde ciddi sağlık ve çevre sorunları oluşturabilir. Ayrıca siyanür, organizmalarda birikmeyen ve güneş ışığı, bitkiler ve bakteriler tarafından doğal olarak bozunabilen bir özelliğe de sahiptir. Aslında insanlar, yedikleri ve içtikleri veya kullandıkları çeşitli maddelerden dolayı her gün siyanürle temas halindedirler. Günlük yaşamda bile siyanüre maruziyetin pek çok kaynağı vardır. Otomobillerden çıkan egzoz gazları, sigara ve oluşturduğu dumanlar, yangınlar bunlardan bazılarıdır. Ancak insan vücudu, böylesi küçük miktarlardaki siyanürü daha az toksik bir bileşik olan tiyosiyanata dönüştürüp dışarı attığından siyanür dokularda birikmemektedir. ABD’de her yıl havaya atılan 22 bin ton hidrojen siyanür gazının %90’ı egzoz gazlarından ve yüzey suyuna bırakılan 15 bin ton siyanürün yine %90’ı belediyelere ait atık su arıtma tesislerinden kaynaklanmaktadır. Toksikoloji bilimi içerisinde kimyasal maddeler zehirli veya zehirsiz olarak bir ayırma tabi tutulmazlar. Bir maddenin zehirli olup olmamasını belirleyen parametre onun dozudur. Bu bakımdan, bir kimyasal maddeye ne sürede ve hangi oranlarda maruz kalındığının bilinmesi son derece önem teşkil etmektedir.

Siyanür, sanayide kullanılan pek çok kimyasalın aksine toksisitesi yıllar önce tamamıyla aydınlatılmış bir maddedir. Siyanürün toksisitesi akut toksisite ile sınırlıdır. Siyanürün kronik toksisitesinin, toksikologlar tarafında pratikte ihmal edilir düzeyde kabul edilmesinin nedeni, siyanürün kronik etki gösterebilmesi için gerekli olan ve her gün alınması gereken dozunun, bir defada ölüme neden olan akut doza çok yakın olmasıdır. Diğer bir deyişle akut etkiler gözlenmeden, kronik etkilerin gelişme olasılığı pratik olarak son derece zordur. Bu özelliği nedeniyle de siyanür, toksisitesi henüz tam olarak aydınlatılmamış olan ve önemli kronik toksisiteye sahip bazı endüstriyel kimyasallara kıyasla, risk yönetimi çok daha kolay olan bir kimyasal konumundadır (Mudder ve Botz 2008).

ABD Çevre Koruma Dairesi, günde 1,5 mg serbest siyanür etkilenmesinin sağlık açısından tehlike yaratmayacağını belirtmiştir (ICME 2002). Siyanürün en toksik şekli “Hidrojen Siyanür” (HCN) gazıdır. HCN gazının havadaki 20 - 40 ppm arasındaki konsantrasyonlarında birkaç saat maruz kalınması sonucunda solunum zorlukları gözlemlenebilir. HCN gazının havadaki konsantrasyon oranının yaklaşık 250 ppm’i aşması durumunda birkaç dakika içinde ölüm meydana gelebilir. Serbest siyanür için insanlar tarafından ağız veya solunum yolu ile alınacak ölümcül doz 50 ile 200 mg (vücudun beher kg için 1 ile 3 mg) arasında değişir. Deri yoluyla emilim halinde ölümcül doz çok daha fazla olup, bu değer vücudun beher kg için 100 mg civarındadır (Mudder vd. 2001).

4.3 SİYANÜR ARITMA TEKNOLOJİSİ

Çözeltilerde bulunan siyanür konsantrasyon oranının düşürülmesine arıtma denir. Serbest siyanürün çözeltideki konsantrasyonunun düşmesine neden olan HCN gazının buharlaşması doğal arıtmayı (bozundurma) oluşturmaktadır.

Kimya ve madencilik sektörlerinde, özellikle son yıllarda, atıkların halk sağlığına veya çevreye zarar vermesini önleyecek biçimde siyanürlü çözeltilerin arıtılmasında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu nedenle arıtma ve geri kazanım gibi iki teknoloji, genellikle birlikte kullanılmaktadır.

Siyanürlü çözeltilerin arıtılmasında üç farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

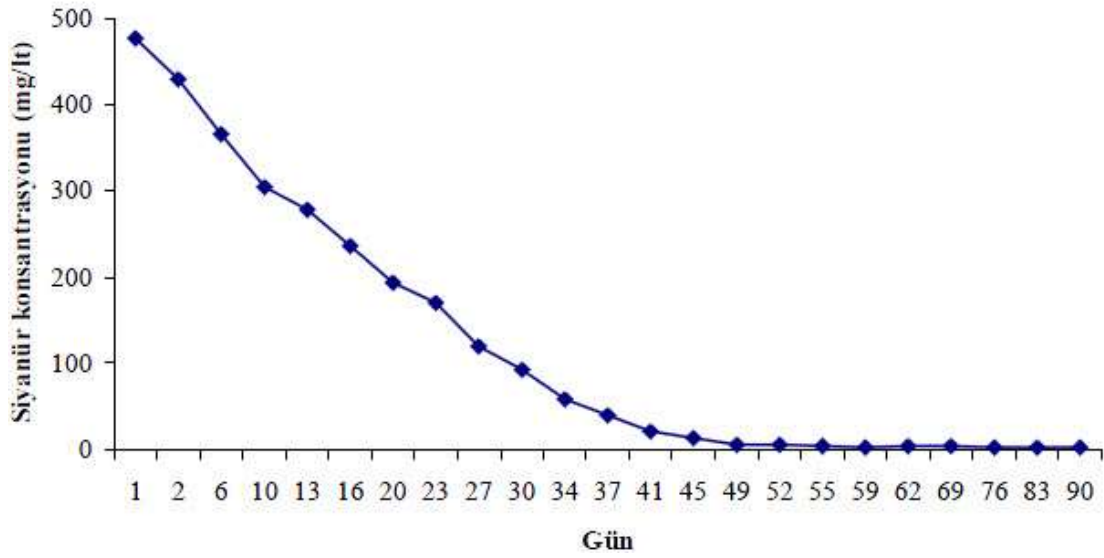
- ❖ doğal bozundurma yöntemi,
- ❖ kimyasal arıtma (oksidasyon prosesleri) yöntemi,
- ❖ biyolojik arıtma yöntemi olmaktadır.

Doğal Bozundurma Yöntemi: Bu prosesin mekanizması buharlaşmadır. Buharlaşma sayesinde siyanür bozularak atmosferde daha az toksik kimyasal maddelere dönüşür. Ayrıca bu proses içinde güneş ışınlarının etkileri, siyanürün bozunmasında katkıda bulunmaktadır.

Bu işlem yağışın, buharlaşma olayından az olduğu iklimlerde uygulanır. Bozundurulacak malzeme, atık havuzlarına yayılarak doğal koşullarda (güneş ışınları, devinim, bakteri, vb

etkisiyle) bozunmaya bırakılır. Bu bozundurma işleminde kullanılacak olan atık havuzunun, çevreye herhangi bir sızıntı yaratmaması için tabanı ve yanları kil ve jeomembran ile kaplanır.

Ülkemizde, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından pilot ölçekli altın tesisinde proses atıklarında siyanürün doğal bozunma, kimyasal arıtma ve geri kazanım süreçlerini incelemek üzere bir dizi araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda; altın pilot tesisinden alınan atıkta 477,5 mg/lt siyanür içeren derişim doğal koşullarda 76 günde %99,8 oranında azalmıştır. Şekil 4.1’de siyanürün, doğal bozundurma yoluyla ortamdan uzaklaştırma süreci yer almaktadır.



Şekil 4.1 MTA Altın Pilot Tesisinde siyanürlü atıkların doğal bozundurma sürecinin durumu (MTA 1996).

Dünyanın çeşitli yerlerindeki bazı altın madenlerinde uygulanan doğal bozundurma sistemlerine ait bazı veriler Çizelge 4.2’de verilmektedir. Çizelgede çözeltilerin siyanür konsantrasyonlarının doğal bozunma sonucundaki değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.2 Atık havuzlarındaki siyanür konsantrasyonlarının doğal bozunma sonucundaki değişimi (ICME 2002).

Maden	Atık sistemine giren CN konsantrasyonu (mg/lt)	Atık sisteminden alıcı ortama (ekosistem) deşarj edilen CN konsantrasyonu (mg/lt)
Lupin, NWT, Kanada	184	0,17
Holt McDermott, Ontario, Kanada	74,8	0,02
Cannon, Washington, ABD	284	<0,05
Ridgeway, South Carolina, ABD	480	0,09
Golden Cross, Yeni Zelanda	6,8	0,33

Kimyasal Arıtma (Oksidasyon Prosesleri) Yöntemi: Siyanürün kimyasal metotlarla arıtılmasını sağlayan başlıca oksidasyon prosesleri; Kanada'nın INCO şirketi tarafından geliştirilmiş "SO₂/HAVA" prosesi ile Alman Degussa tarafından geliştirilmiş H₂O₂ (hidrojen peroksit) prosesidir. Kimyasal arıtma tekniklerinde kullanılan alkali klorlama prosesi, günümüzde çok az kullanılmaktadır.

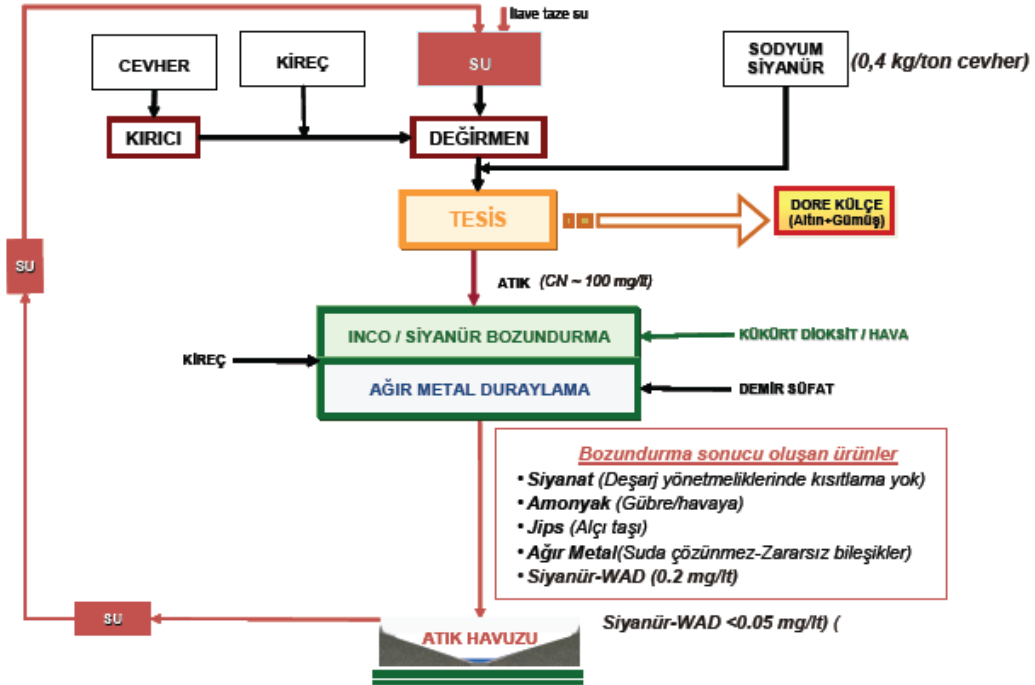
Bu işlem yağışın buharlaşma olayından fazla olduğu iklim koşullarında uygulanır. Siyanür çözeltisi, bazı kimyasal maddelerle kapalı bir ortamda muamele edilerek bozundurulması sağlanır. Arıtma sonucunda çıkan atık çözelti, havuzda/atık barajında dinlendirilir ve katı maddeler halinde çöktürülür.

"SO₂/HAVA" ile kimyasal arıtma yönteminde; serbest ve "WAD" (zayıf asitte çözünen siyanür) siyanür nihai olarak amonyak ve karbonata oksitlenerek, demir siyanürün tek başına veya bir yada iki değerlikli metalle birleşerek çözünmeyen katı halinde çökmesi sağlanır. Bu işlemin bazı maden işletmelerinde yapılan test çalışmalarında, çözeltilere veya çamurlara uygulanabildiği ve reaksiyonun çok hızlı seyrettiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.3'de bu işlemin performansına yönelik bir tablo yer almaktadır. İşlemin potansiyel sınırlamaları arasında, işlemi kullanmak için lisans alma zorunluluğu, tesis inşa etmenin maliyeti ve sistemi optimize etmek için ampirik olarak deneme durumu yer almaktadır. Bu işlemin ürettiği yan ürünlerin bozunmasını sağlamak için ayrıca dinlendirme havuzuna ihtiyaç vardır. SO₂/HAVA kimyasal arıtma yöntemi, günümüzde özellikle ABD ve Kanada'da olmak üzere bir çok tesiste uygulanan en modern teknolojidir. Şekil 4.2'de kimyasal arıtma yönteminin akım şeması gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Çözeltilerin toplam siyanür konsantrasyonlarının SO₂/HAVA kimyasal arıtma yöntemi sonrası değişimi (Smith ve Mudder 1991, TMD 2002).

Maden Yeri	CN _T Giriş Değeri (mg/lit)	CN _T Çıkış Değeri (mg/lit)
Colosseum (ABD)	364	0,4
Ketza River (ABD)	150	5,0
Equity (Kanada)	175	2,3
Casa Berardi (Kanada)	150	1,0
Westmin Premier (Kanada)	150	<0,2
Golden Bear (Kanada)	205	0,3
Ovacık (Bergama)	144	0,2

CN_T: Toplam siyanür



Şekil 4.2 Kimyasal arıtma yöntemi (ICME 2002).

Kuvvetli bir oksitleyici olan hidrojen peroksit işleminde ise serbest ve zayıf asitte çözünen siyanür (WAD), amonyak ve karbonata oksitlenir. Demir siyanürler peroksitlerle oksitlenmezler ancak suda çözünmeyen duraylı katı oluşturarak çökelirler. Ancak peroksit sistemi ile bozundurmada, katıların bulunduğu ortamda hidrojen peroksit ihtiyacı düzensiz olduğundan çamurların arıtımına uygun olmamaktadır.

Her iki kimyasal oksitleme metodu da siyanür konsantrasyonlarını en aza indirdiğinden çevre standartlarını sağlayacak kapasitededir. Yine her iki işlem için de nihaî tesis tasarımından önce sahaya özgü cevherlerden örnekler alınarak bir dizi deneye tâbi tutulması zorunludur.

Sülfürik asitle hidrojen peroksit karışımını kullanarak H_2SO_5 oluşturan “Caro asiti” de çözeltideki siyanürü bozunduran bir oksitleyici olarak kullanılır. Çizelge 4.4’de siyanür arıtma işlemlerini seçmek için başlangıç rehberi verilmiştir.

Çizelge 4.4 Siyanür arıtma işlemlerini seçmek için başlangıç rehberi (Mudder ve Botz 2008).

Arıtma Prosesi	Demir siyanür uzaklaştırma	WAD siyanür uzaklaştırma	Çamur uygulaması	Çözelti uygulaması
SO ₂ /Hava	√	√	√	√
Hidrojen peroksit	√	√		√
Caro asidi		√	√	
Alkali klorlama	√	√		√
Demir çökeltme	√	√	√	√
Aktif karbon	√	√		√
Biyolojik	√	√		√
Siyanür geri kazanımı		√	√	√
Doğal arıtım	√	√	√	√

Demir ile çökeltme işlemi, özellikle ortamda diğer kimyasallarla bileşik yapma özelliği olan demir elementinin olması reaksiyonda suda çözünmeyen bir dizi tuzdan oluşan katı çökeltiler oluşturması ve bunun sonucunda duraylı haldeki siyanürlerin çökmesini sağlamaktadır. Bu işlem serbest siyanür konsantrasyonunu azalttığı gibi, ortamda bulunan diğer metallerin düşük düzeylerde kalmasını da sağlar.

MTA Genel Müdürlüğü’ndeki pilot ölçekli altın tesisinde, proses atıklarında siyanürün kimyasal arıtma sürecine ilişkin ilk araştırmada 450 mg/lt siyanür içeren atıktaki siyanür derişimi, sodyum hipoklorit (NaClO) kullanılarak 20 saat sonunda 2,6 mg/lt düzeyinin (MTA Laboratuvarı deteksiyon limiti) altına inmiştir. İkinci çalışmada, 270 mg/lt siyanür içeren örnek, hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılarak 2,5 saat sonunda 2,6 mg/lt siyanür düzeyine düşmüştür.

Biyolojik Arıtma Yöntemi: İngiltere’de ICI’nın Bioproducts Şirketi ve Amerika Birleşik Devletlerinde Homestake Madencilik Şirketi tarafından kullanılan bu yöntem su arıtma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Günümüzde Homestake kurşun madeninde çevreye

deşarj ölçütlerini yerine getiren bir biyolojik siyanür arıtma sistemi halen kullanılmaktadır. Uygulama içinde hem aktif hem de pasif biyolojik arıtma sistemleri inşa edilmiştir. Bu sistemler aerobik veya anaerobik mikro organizmaları kullanarak siyanürü arıtmaktadırlar. Arıtmada, anaerobik organizmalar litrede birkaç miligram konsantrasyona kadar etkin olmaktadır. Bu arıtma yönteminde atık çözeltisi, içinde bakteri bulunan reaksiyon tanklarına gönderilir ve bakteriler havadan aldıkları oksijenle siyanür bileşiklerini bozundurarak nitratlar, sülfatlar ve bikarbonatlar oluştururlar.

Bu arıtma işleminin avantajları arasında; tasarımının basit olması, işletme kontrolünün bulunması, maliyetinin düşük ve her türlü siyanürün ve onun yan ürünlerini arıtma kapasitesinin bulunmasıdır. Ancak düşük sıcaklıklarda ve çok yüksek siyanür konsantrasyonlarında düşük performans göstermesi biyolojik arıtmanın olası kısıtları arasındadır.

Geri Kazanım: Siyanür yönetim teknolojileri her ne kadar tek geçişli sistemlerde siyanürün imhası üzerine yoğunlaşmış olsa da siyanürün geri kazanımı ve yeniden kullanımı mümkündür. Böylece kullanılan toplam siyanür miktarının en aza indirilmesi dolayısıyla da bazı madenlerde işletme giderlerinin düşmesi söz konusudur. Geri kazanım, atık çözeltilerindeki siyanür konsantrasyonunu düşürmekte ve böylece siyanür imhasının maliyetini de en aza indirmektedir. Mühendislik teknolojisinin gelişimi ile birlikte geri kazanım, daha cazip bir hale gelmektedir. Hatta “Cyanisorb” adı verilen bir ticari işlem yoluyla pülplerin arıtılması yapılmıştır ve patenti de alınmıştır. Söz konusu işlemin özellikle Kanada, Avustralya ve ABD’de başarılı denemeleri yapılmış ve tesis uygulaması da bulunmaktadır (Mudder vd. 2001).

4.4 ATIK BARAJLARI

Altın madenciliğinde ortaya çıkan tesis atıkları özel olarak tasarlanan atık havuzlarında tutulmaktadır. Çevre güvenliği açısından çok büyük önem taşımasından dolayı ICOLD (Büyük Su Barajları Uluslararası Komisyonu) tarafından atık havuzlarının inşası, atıkların havuza nakli ve depolanması, çevreyle etkileşimi, izlenmeleri, güvenliği, sismik özellikleri, depreme karşı alınacak tedbirler gibi konularda çok sayıda standart yayımlanmıştır. Altın madenlerinde içindeki değerli metalleri alınmış ve bunun sonucunda oluşan işlem atıklarını depolamak amacıyla kullanılan atık havuzları; bölgenin depremsel durumu, yapı dayanıklılığı ve sızdırmazlık konuları ayrıntılı olarak incelenip, gerekli olan devlet izinleri alındıktan sonra bu yapılar oluşturulmaktadır (Mudder vd. 2001).

Geçmişte atıklar; akarsulara, göl ve denizlere boşaltılmaktaydı. Su ve arazi kullanımına yönelik hem zorunluluktan kaynaklanan hem de toplumsal duyarlılığın artması sonucu atık barajlarının kullanımı günümüzde zorunlu hale gelmiştir. Barajlar hem katı tanelerin biriktiği bir alan olmakta, hem de kurak bölgelerde suyun yeniden kullanımına imkan sağlamaktadırlar.

Atık barajlarının yerine getirmesi istenen pek çok işlev vardır. Bunlar (Vick 1990);

- ❖ askıdaki katıların çökmeyle ayrılmasına olanak sağlanması,
- ❖ ağır metallerin hidroksitleri olarak çökmesi,
- ❖ çökmüş malzemeler için kalıcı bir ortam sağlanması,
- ❖ atık su kalitesinin dengelenmesi,
- ❖ çeşitli reaktiflerin bozuşmasına imkan sağlanması (siyanürler vb.)
- ❖ dolaşım suyu için depolanma alanı oluşturması,
- ❖ ani su baskınlarını karşılayabilecek kapasitede olması.

Altın madenciliğinde de yukarıda değinilen işlevlerin tamamının yerine getirilmesi beklenir.

Dört tip atık barajı vardır. Bunlar;

- ❖ vadi ve yamaç tipi atık barajları,
- ❖ dört tarafı çevrili atık barajları,
- ❖ ocak içinde oluşturulan atık barajları ve
- ❖ kazılarak oluşturulan atık barajlarıdır.

Vadi ve yamaç tipi atık barajları: Atık barajları çoğunlukla vadi tip olarak inşa edilirler. Maliyet çoğunlukla kullanılacak atık miktarı ile ilgili olduğundan, vadi tipi barajlar tercih edilir. Sızıntı kontrolünün önem taşıması durumunda bu tip barajların kullanımı sınırlanmaktadır.

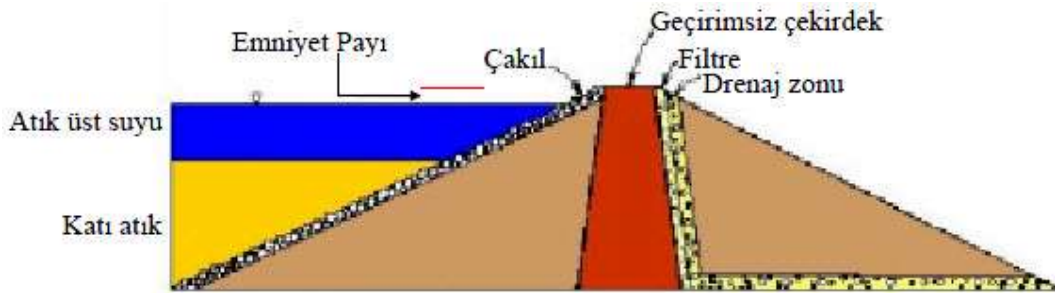
Dört tarafı çevrili tip atık barajları: Doğal topoğrafyanın uygun olmaması durumunda bu tip atık barajları inşa edilir. İnşaları vadi tip ile benzerdir, pasa, diğer doğal malzemeler ve çeşitli tesis atıkları kullanılabilir. Yapımlarında çok fazla malzeme gerekir. Başlangıç gövdesi inşa alanından çıkan malzeme ile yükseltilir. Sızıntı kontrolü açısından uygundur.

Ocak içi atık barajları: Bu tip baraj kullanımı vadi tipi ve çevrili tip barajlara göre daha az yaygındır. Atıklar önceden oluşturulmuş bir maden kazı sahasında depolanır. Atıklar yüksek ocak şevleriyle çevrili olduğundan rüzgârla dağılma sınırlıdır. İyi bir drenaj gerektirirler. Ocak şevi duraylılığı kullanımda önem taşır. Sızıntı kontrolünün önem taşıması durumunda bu tipte barajların kullanımını sınırlanmaktadır.

Özel kazılmış çukur tip atık barajları: Atıkların depolanması için bir sahanın kazılarak çukurluk oluşturulmaktadır. Çıkan malzeme baraj çevresinin yükseltilmesi için kullanılır. Tabanda alınabilir kalınlıkta bir geçirimli tabaka varsa ve geçirimsizlik önemliyse bu tip baraj inşası uygun görülmektedir.

Yukarıda sayılan atık barajlarının inşalarında iki genel yöntem vardır. Bunlar; hidrolik tipte barajlar (kaya dolgu barajlar) ve yükselti tipte barajlardır. Çeşitli tipteki barajların inşa yönteminde; topografya, saha koşulları ve ekonomik faktörler rol oynar.

1. Kaya Dolgu Baraj (Hidrolik Tip Barajlar): Bu tür baraj, büyük su barajlarına benzer yapı özellikler gösterir. Baraj, kaya dolgu olarak ve maden ömrü boyunca çıkacak bütün atıkları depolayacak biçimde başlangıçta inşa edilir (Şekil 4.3). Bu tür barajları kademeli olarak da inşa etmek mümkündür.



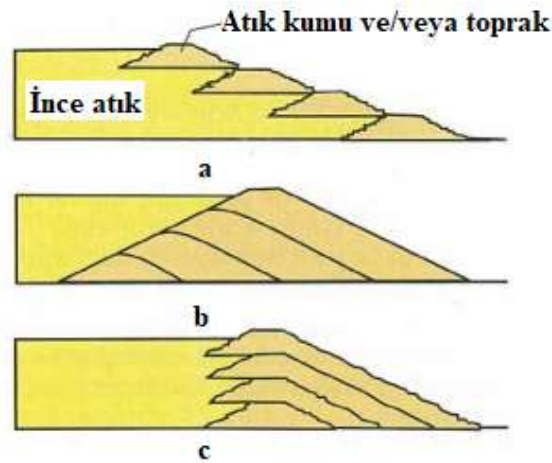
Şekil 4.3 Kaya Dolgu Baraj (Vick 1990).

2. Yükselti Tip Barajlar: Bu tür barajlar su ile karışık haldeki ince taneli atıkların depolanması için dünya madenlerinde uzun süreden bu yana kullanılmaktadırlar. Bu tür atık barajları, depolama alanının alt ucuna yerleştirilen bir sedde üzerine kum ve toprak veya kaba taneli atıklar yığılarak, havuz içerisine atık dolduruldukça yükseltilerek inşa edilirler (Şekil 4.4). Üç şekilde inşa edilirler.

Akıntıya yukarı (membaya) doğru ilerletimli (Şekil 4.4a): Atıklar çevresel olarak başlangıç seddinin üzerinden siklon ve spigot kullanılarak boşaltılır. Bu durum seddin etrafında iri atıklardan oluşan bir alan yanısıra sahil oluşumuna yol açar. Bir sonraki sedde için hazırlık yapılmış olur. Yeni sedde oluşturulurken buldozer vb bir makina ile atıklar seddenin üzerine yığılır. Mekanik sıkıştırma uygulanır. Seddenin yükseleceği atık yapısının üzerinde inşa edileceği sedde için uygun dayanımda olması gerekir. Sızıntı kontrolü, akış çizgisi, sismik sınılaşma ve gövde yüksekliği sınırlaması bu baraj türünün dezavantajlarıdır. Ucuz ve çabuk inşası ise avantajlarıdır.

Akıntıya aşağı (mansaba) doğru ilerletimli (Şekil 4.4b): Bu barajların inşasında hidrolik barajların inşasında izlenen yol takip edilir. Başlangıç seddesi geçirimli çakıl ve kum veya silt, kil gibi malzemeler kullanılarak baraj gövdesi boyunca sızıntı kontrolü sağlanmaya çalışılır. İnşası için daha fazla malzeme gerekir. Bu nedenle maliyetleri daha yüksektir. Sismik hareketlere daha dayanıklıdır. Bu nedenle sızıntı kontrolünün önemli olduğu alanlarda tercih edilirler.

Her iki yönde ilerletimli (Şekil 4.4c): Bu tip barajların inşası diğer baraj tiplerinde olduğu gibidir. Bir başlangıç seddesi inşa edilir. Atıklar bu gövdenin üzerinden boşaltılır ve bir sahil oluşturulur. Başlangıç gövdesindeki drenaj sistemi gövde ile birlikte yükseltilir. Dayanımı yüksektir. Sismik şoklara dayanıklıdır. Bu nedenle sızıntı kontrolünün önemli olduğu alanlarda tercih edilirler.



Şekil 4.4 Yükselti tip barajlar; a- Akıntıya yukarı (membaya) doğru ilerletimli barajda atık doldukça yükseltilir, b- Akıntıya aşağıya (mansaba) doğru ilerletimli barajda atık doldukça yükseltilir, c- Her iki yönde ilerletimli barajda merkezden itibaren atık doldukça yükseltilir (Vick 1990).

4.5 REHABİLİTASYON

Maden işletmesinin kapatılmasının ardından, çökelmiş ince taneli cevher pasası ile dolan ve stabilitesi daha da artan atık havuzu haznesindeki malzemenin üzeri bitkisel toprakla örtülür ve atık havuzu sahası ağaçlandırılarak rehabilite edilmektedir. Bu tür alanlar ayrıca dağlık arazilerde düz bir alan oluşturması sebebiyle kapatma sonrasında mera veya tarım alanı olarak da kullanılabilir (Vick 1990).





BÖLÜM 5

YIĞININ HAZIRLANMASI VE GEÇİRGENLİĞİ

5.1 BİR YIĞININ HAZIRLANMASI

Yığın liçi, dünyada büyük rezervli ve düşük tenörlü yatakların giderek artması sonucu, bilinen sıradan yöntemlerle değerlendirilemeyen ya da değerlendirilmesi daha maliyetli olan cevher ve artıkların ekonomik olarak kazanılabilmesi amacıyla, özellikle de günümüzde farklı tür metalik cevherlerin kazanılması ve değerlendirilmesi aşamasında yapılan oldukça yaygın bir uygulamadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de liç madenciliğine karşı bazı tepkiler gösterilse de güvenlik açısından tüm önlemleri alınmış bir işletmenin olumsuz bir durum ile karşı karşıya kalma koşulunu minimuma indirmektedir.

Bu yöntemde ilk olarak cevher, geçirgen olmayan bir zemin üzerine (plastik, jeotekstil vb.) yığılır. Yığının tabanında geçirimsizliği sağlamak amacıyla; asfalt, çimento, kil ve plastik örtü gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca bu geçirimsiz örtü üzerine, ince bir çakıl tabakası veya boyutlandırılmış bazalt türü kayaç serilmektedir. Daha sonra, geçirimsiz örtü tabakasının üzerine yerleştirilen cevher yığına; sulama, yağmurlama vb. yöntemlerle taze çözelti beslenir. Oluşan yüklü çözelti geçirimsiz zemin üzerine kurulan drenaj boruları vasıtasıyla yüklü havuzlara gönderilir.

Yığın liçi uygulamaları; özellikle altın, gümüş ve bakır cevherleri olmak üzere bu konudaki araştırma ve uygulamalar tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de başarıyla sürdürülmektedir (Okyay 2014).

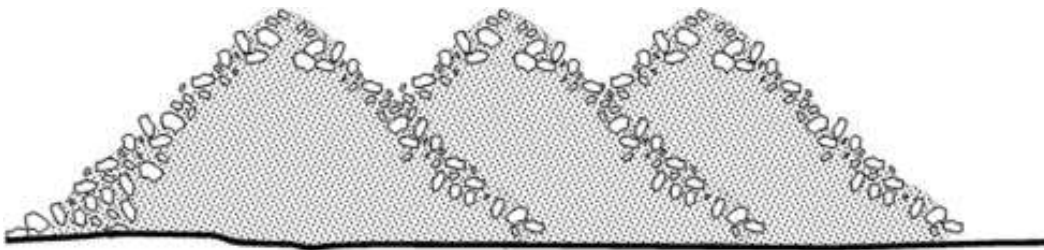
Yığın liçini bu kadar önemli kılan etmen, ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Öğütme gibi ilk yatırım ve üretim maliyeti yüksek olan bir proses kullanılmadığı için düşük tenörlü cevherlere uygulanabilirliği daha ekonomik olmaktadır.

Mevcut cevher yatağı içerisindeki altın ve gümüşü çevreleyen minerallerin;

- ❖ karbonlu malzemeden oluşmaması,
- ❖ siyanürü yüksek miktarlarda tüketen bileşenlerle, kireç tüketimine sebep olacak asit yapıcı bileşenlerin ortamda olmaması,
- ❖ siyanür çözeltisinin yığın içerisinde akmasını engelleyecek kil ve benzeri çok ince malzemelerin olmaması,
- ❖ ayrıca demir oksit gibi altın tanelerinin üzerlerini kapatan oluşumların bulunmaması gereklidir (Okyay 2014).

Bir yığın liçinden başarılı sonuç elde edebilmek için yığının kuralına uygun olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu nedenle hazırlanan yığının, yeterince geçirgen ve gözenekli olması aranan en önemli özelliğidir.

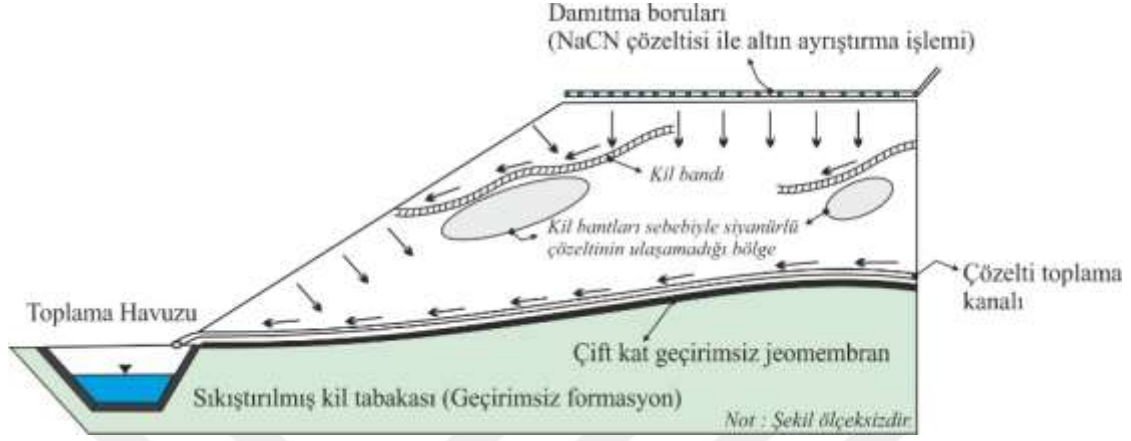
Yığının hazırlanması sırasında ince ve iri taneli malzemelerin ayrışmaya uğraması yığından elde edilebilecek verimin düşmesine yol açacaktır. Şekil 5.1’de bir yığın hazırlanırken içerisinde bulunan ince ve iri tanelerin ayrıştığı durum yer almaktadır. Bu durum mümkün olduğunca engellenmelidir. Çünkü böyle bir koşulda liç çözeltisi, iri tanelerin çok olduğu bölgelerde daha hızlı akacak ve liç veriminin azalmasına neden olacaktır (Girgin 1989). Ayrıca bir yığının tabakalar halinde hazırlanması durumunda tabakalar arasında belirli bir sıkıştırma gerçekleşeceğinden yığın geçirgenliğinde olumsuz yönde etkileyecektir.



Şekil 5.1 Yığının hazırlanması sırasında ince ve iri tanelerin ayrışmaya uğraması (Dhawan vd. 2013).

Bu ayrışma sonucu, yığın içinde yer alan ince taneler ya da mevcut kil zonları belli noktalarda birikecek ve yatay yönde geçirgen olmayan bir bölge oluşmasına sebep olacaktır. Bu yatay bölgeler nedeniyle akışın zor olduğu durumlarda, çözelti en üstten en alta doğru en kısa yolu kullanarak geçecek ve böylece yığının tamamının çözücü ile teması engellenecektir (Şekil 5.2).

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, geçirimsiz bölgelerin bolluğu nedeniyle çözeltilerin cevhere ulaşmasını engellenmekte ve bu durum liç verimini düşürmektedir.



Şekil 5.2 İnce tanelerin kil bantları oluşturması nedeniyle yatay yönde geçirimsiz bir tabaka oluşturması ve liç verimini olumsuz yönde etkilemesi.

En ideal koşullarda hazırlanan bir yığın liçi işlemi göz önüne alındığında bile çözeltilerin tüm cevherin tamamını çözerek bünyesine alması pek mümkün olmamaktadır. Bu koşullarda, altın cevheri için liç verimi %50 - 90 arasında değişkenlik göstermesine rağmen genelde %70'lere varan bir kazanım söz konusudur (Kappes 2005).

Mümkün olduğunca, ince taneli malzeme yığına düzenli olarak dağıtılmalıdır. Özellikle bir yığında 0,150 mm'nin altında geçen tane büyüklüğündeki malzemenin varlığı büyük sorunlar teşkil etmektedir. Bu tür tanelerin bulunması durumunda gerek ayrışmayı büyük ölçüde önlemenin ve gerekse de geçirgenliği de olumlu yönde etkilemenin yolu ince taneleri iri taneler haline (topaklaştırma) getirmek olacaktır (Girgin 1989).

Saha eğiminin az olduğu düz yüzeyler, ideal bir yığın liçi prosesine çok uygundur. Genellikle bu düz yüzeye ulaşmak için bazen kazı dolgu işlemleri yapılmaktadır. Arazi eğiminin %3'ten fazla olduğu durumlarda, ön kenar kısımlarında 30 ile 50 m kadar kademeli boşluklar bırakılır. Böylece yığın duraylılığının yenilmesi engellenmiş olur. Bazı vadi yataklarında yığın liçi uygulamalarının eğimi %20 ya da 12° dereceyi bulabilmektedir (Hiskey 1985, Erkan 2015).

Çok Katlı Yığınlar: Çok katlı olarak hazırlanan yığınlarda, en altta yer alan basamak, üstteki basamakların ağırlıklarının etkisiyle sıkışarak bazı bölgelerinde az geçirimsiz durumlar

oluşturabilir. Geçirimsiz bölgelerin oluşması yığında göllenmelere neden olur. Bu gibi durumlarda kazanılmak istenilen altın, yığın içerisinde çözelti halinde hapsolmuş olabilir.

Yığın liçi uygulamalarında kat sayısı en fazla 10 olup, 120 m'lik yığınlar oluşturulabilmektedir. Özellikle sert cevherlerden oluşan yığınlarda, cevherin daha dayanıklı olması sebebiyle geçirimsizlik kaybı fazla olmamaktadır. Ancak yumuşak cevherlerde ise yığın yükseklikleri çimento vb. ile aglomera edilerek en fazla 3 kattan oluşmakta olup, 30 m'ye kadar çıkabilmektedir.

Çok katlı yığınlarda; altın kazanımı, alt katlardaki geçirimsizliğin azalmasına ve tüm malzemenin ıslanabilmesine odaklıdır. Böyle bir durumda ortalama verim yığındaki kat sayısına ve yığın yüksekliğine bağlı olmaktadır (Kappes 2005).

5.2 YIĞIN LIÇİNE GEÇİLMEYEN ÖNCE YAPILMASI GEREKENLER

Öncelikle arazide yığın liçine geçilmeden önce bir takım laboratuvar deneyleri yapmak gerekmektedir. Bunlar karıştırmalı liç deneyleri, kolon testi çalışmaları ve son olarak ta pilot çapta bir yığın üzerinde gerçekleştirilecek olan liç çalışmalarıdır. Böylelikle malzemenin kimyasal ve mineralojik analiz sonuçları değerlendirilerek yığın liçine uygunluğu konusunda genel bir bilgi donanımına sahip olmak gerekmektedir. Proses ne olursa olsun belirli laboratuvar testleri çok önemlidir. Yığın liçi için kırma boyutu, yığın stabilitesi, yüksekliğe karşı geçirgenliği, siyanür tüketimi, topaklandırma için gereken çimento veya bağlayıcı madde miktarı, liç süresi, basamak yüksekliği, serim tekniği dolayısı ile de altın verimi gibi parametreler çok önem teşkil etmektedir. Bu çalışmalardan olumlu sonuç alınması üzerine büyük çaplı yığın uygulamasına geçilmektedir.

5.2.1 Cevherin Yığın Liçine Uygunluğu

Düşük tenörlü altın ve gümüş cevherlerinde, yığın liç prosesinin uygulanabilmesi için aşağıda belirtilen niteliklerde olmaları gerekir;

- ❖ cevher içerisindeki altın tanecikleri çok ince tane boyutlarında olmalıdır,
- ❖ cevherdeki altın ve gümüşün boyut küçültme işleminin ardından siyanür çözeltisinden kolaylıkla etkilenecek durumda olmalıdır,

- ❖ cevherde, refrakter yapıda bulunarak siyanür tüketen bileşikler bulunmamalıdır,
- ❖ cevher içerisinde karbonlu bileşiklerin varlığı altın ve gümüş siyanürlerini yüzeylerine soğuracağı için ve bu yüzden de liç verimini olumsuz yönde etkileyeceğinden bu tür bileşiklerin de bulunmaması gerekmektedir,
- ❖ ortamda bulunması mümkün organik bileşikler, yağlar, flotasyon reaktifleri vb. maddeler oksijen tüketimine neden olacaklarından çözünme tepkimesi etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır,
- ❖ cevherde, asit oluşturan bileşikler ile liç çözeltisinde CO₂ bulunmamalıdır. Çünkü bu tür bileşiklerin varlığı zehirli HCN gazı oluşumuna neden olmaktadır. Bunun için yığına kireç ya da sodyum hidroksit eklenmesi ile pH'ın 10 - 11 arasına yükseltilmesiyle bu durum önlenebilmektedir. Ancak, asit oluşturan bileşik miktarının fazlalığı kireç tüketim miktarının artmasına neden olmaktadır,
- ❖ cevher içerisindeki kil ya da çok ince tane varlığının fazlalığı yığındaki çözelti akış hızını ve düzenini bozacaktır. Bu nedenle bu malzemelerin fazla miktarlarda olmaması ya da aglomerasyon yoluyla önlem alınması gerekmektedir (Girgin 1989).

5.2.2 Yığın Tane Boyutu ve Topaklaştırma (Aglomerasyon)

Bir yığına cevher beslemesi ya ocaktan direkt olarak uygulanan ya da belirli bir kırma işlemine tabi tutularak yapılır. Burada boyut küçültmedeki amaç serbestleşme ya da serbest yüzey oluşumunu sağlayarak altın ve siyanürün temas yüzeyini arttırmaktır.

Yüzey alanının artırılarak metal kazanma veriminin incelenmesine yönelik olarak literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Videla vd. (2005) tarafından yapılan ve liç işlemine tabi tutulan malzemenin tane boyut dağılımının rolü incelenmiştir. Bu araştırmada serbest yüzey ya da serbestleşmenin elde edilmesi için yapılan kırma boyutu inceltilmesinin metalürjik açıdan altın kazanımına olumlu katkı yaratacağı belirtilmiştir. Fakat aynı zamanda meydana gelen tane boyut dağılımı içindeki ince tanelerin varlığı da geçirimsiz bir yüzey oluşturarak, çözeltinin süzülme hızını azaltacağı ve akışı yavaşlatacağı gibi fiziksel açıdan yığındaki altın kazanımını olumsuz yönde etkileyebileceği de gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, tane boyu dağılımının, liç işlemi tarafından altın kazanımı ile yığının dinamik durumu arasında bir denge olduğu belirtilmiştir.

Dhawan vd. (2013) yaptıkları çalışmada cevherin aglomerasyonunun etkilerini incelemişlerdir. Bu yığın liçi uygulamalarında kırılan cevherin boyut dağılımının etkisini detaylandıran araştırmacılar, aglomeraların bağ yapma mekanizmaları, kırıcıya beslenen boyut dağılımı ve parçacıklar arası etkileşimin önemini vurgulamışlardır. Aynı araştırmacılar, aglomere edilmiş cevherin tavanda ve tabanda farklılaşan boyut dağılıma sahip olduklarını, tavanda aglomeraların boyut dağılımı az bir miktarda artarken tabanda fazlaca arttığını gözlemlemişlerdir. Miller (2003) ise aglomeraların tane boyutlarının 60 mm ile 2 mm arasında olduğunu ve 2 mm altının ise birbirine yapışık halde bulunduğunu belirtmiştir.

Kırılan cevherin aglomera edilmesinde ayrı bir hassasiyet gerekmektedir. Numune alma veya eleme aglomere edilen cevherin birleşme yada kırılmasına sebep olabilir; bu da boyut dağılımını değiştirebilir. Bouffard (2005) bu problemin aglomerelerin ani olarak soğutulması (sıvı nitrojen kullanarak) ile aşılabileceğini belirtmektedir. Kinard ve Schweizer (1987) yaptıkları çalışmada örnekleri kurutmuşlar, elemişler ve belirli bir boyut dağılım grafiği elde etmişlerdir. Ancak çok az bir mekanik kuvvet uygulayarak örnekleri yaş elemeye maruz bıraktıklarında ince tanelerin nispeten fazlaca ortaya çıktığını gözlemişlerdir.

Aglomerada edildikten sonra yığına istiflenirken oluşan boyut ayrımının direkt olarak nemle ilgili olduğunu açıklayan Fernandez (2003), fiziksel ve tane boyut dağılımı karakteristiğinin ince tane ve kil miktarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Fernandez (2003) yığına istiflenmeden önce aglomeraların boyut dağılımını incelemiş, bunun yanında liç sonrasında yığının belli bölgelerinden (taban, orta ve tavan) aldığı aglomere edilmiş örneklerinde son boyut dağılımını incelemiştir. Araştırmasında aglomerasyonda yeterli çözelti kullanılmadığı takdirde aglomeraların duraylı olmayacağını ve sonunda ince tanelerin ortaya çıkacağını ve bunların yığında aşağılara doğru hareket edeceğini ve yığın geçirgenliğini azaltacağını belirtmiştir.

Velarde (2005) yaptığı çalışmasında, ideal nem değerlerinde bütün boyut dağılımı yerine belli bir boyut aralığında (-4,75 mm) çalışmıştır. Kötü bir aglomerasyon yanlış yapılan aglomerasyon nem dozajının bir sonucu olduğu kanatine varmıştır. İnce boyutlarda oluşan kil miktarı değiştikçe, nem miktarı gerçek zamanda değiştirilmelidir demiştir.

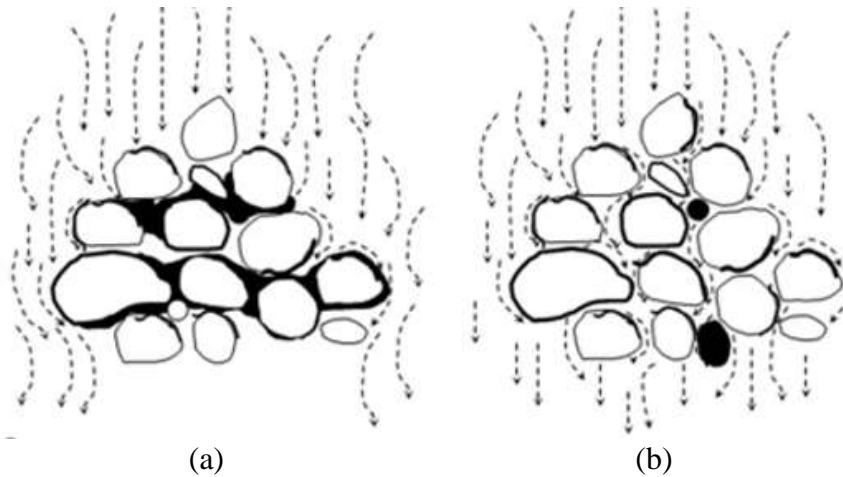
Kodali vd. (2011) çalışmalarında havada yeni aglomere edilen aglomeraların 24 saatte 30 °C altında kurduklarını rapor etmişlerdir.

Karıştırma etkisini inceleyen Bouffard (2005), uzun süreli karıştırmanın aglomerelerin hem kırılmasına hem de oluşmasına neden olduğunu, ancak çok uzun aglomerasyon süresinin fayda sağlamadığını belirtmiştir.

Boyut büyütmenin modellenmesi üzerine yaptığı çalışmada Bouffard (2005), peletleştirme ve kırılmış cevherin aglomerasyonu gibi boyut artırma süreçlerinin popülasyon denge modellerinin uygulanabilirliğini vurgulamıştır. Ancak kırılan cevherin aglomerasyonunu modelleyen ve kontrol eden konular çok ele alınmamıştır. Buna sebep olarak, sürecin doğru olarak anlaşılabilmesi, deneysel zorluklar ve boyutun rolünün belirsizliği gösterilebilir.

Geçirgenliğin azalmasına yol açan, içerisinde bol miktarda kil ya da -100 mesh taneler içeren bir malzemenin yığın içine sokulmadan önce mutlaka bir ön işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Bu ön işlemin amacı; malzemeyi, su ya da kireç, veya portland çimentosu vb. bağlayıcılar ile bağlayarak topaklaştırma işlemini gerçekleştirmek ve böylece ince tanelerin birleştirilerek iri taneler haline getirilmesi olacaktır. Ancak böyle bir işlem ile yığındaki iç çözeltisinin akışına bir düzenlilik kazandırılabilir (McClelland ve Hill 1981, McClelland ve Eisele 1982, McClelland vd. 1983, McClelland vd. 1985, Chamberlin 1986, Girgin 1989).

Şekil 5.3’de aglomera işleminin iç geçirgenliği üzerindeki olumlu etkisi yer almaktadır.



Şekil 5.3 Topaklaştırma işlemine tabi tutulmamış (a) ve tutulmuş (b) tanelerden oluşan kütle içinden çözelti akışı (Dhawan vd. 2013).

Farklı şekillerde aglomerasyon işlemi yapılabilmektedir. Bunlar;

- ❖ eğer cevher sert bir cevher ise ve içerisinde ince tane varlığı da mevcutsa, bu ince taneler az bir su ile ıslatılarak ince tanelerin iri tanelere yapışmaları sağlanabilir,
- ❖ killi ve çok ince taneli malzemeler, çimento ve kireç taşıyıcı konveyör bantların döküş noktalarında karıştırılarak ince malzemelerin aglomerasyonu sağlanabilir,
- ❖ eğer cevher laterit ve saprolit gibi saf kil içeriyorsa topaklandırma tamburu kullanılabilir.

Bunun için cevher öncelikle 25 - 75 mm arası bir boyuta indirgenir. Çimento ve su ilave edilen malzeme tambura beslenir. Tambur içerisinde yuvarlanan ince taneler birbirleri ile yapışarak aglomerasyon işlemi gerçekleştirir. Günümüzde kullanılan tamburların boyu ve tonajı belirlenirken birkaç faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ancak standart bir döner tambur, 3,7 m çapında ve 10 m uzunluğunda olup, saatte 750 ton malzemeyi topaklandırma kapasitesine sahip olabilmektedir (Kappes 2005).

5.2.3 Cevherin Yığına Serimi

Cevherin yığına serimi, bazen kamyonlarla bazen de taşıyıcı bantlarla gerçekleştirilmektedir. Bunun için arazi koşulları, cevherin yapısı vb. etkenler göz önünde bulundurulmalıdır.

5.2.3.1 Kamyon ile Cevherin Serimi

Eğer cevher sert ve ince tanelerin miktarı sınırlı ise, cevher içerisindeki geçirimsizlik yüksek olacağı için cevher kırılarak kamyon ile taşınıp serilebilir. Kamyon ile serim yapılırken özellikle ince ve iri tanelerin ayrışması (segregasyon) ihtimali yüksek olacaktır. Böyle bir durumda iri taneler yığının alt tarafında kalırken ince taneler yığının üst tarafında olabilmektedir.

Bu tür serimlerde, kamyonların ağırlığından dolayı yığının üst kısmında cevherin sıkışması söz konusu olduğundan yığının özellikle 2 m'lik bir kısmında sıkışma olduğu saptanmıştır. Yığınlarda bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla birçok projede malzemenin serimi gerçekleştirildikten sonra yığının üstü gevşetilmeli ve dolayısı ile de yığının geçirgenliği artırılmalıdır.

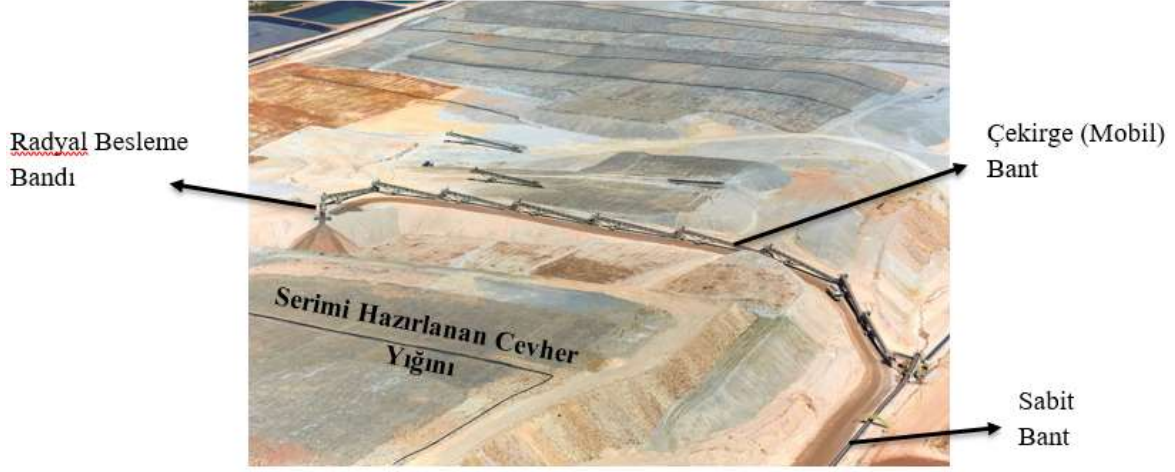
Bu tür serimlerde büyük kamyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile de büyük maden yolları açmak zorunluluğu oluşmaktadır. Bu nedenle küçük çaplarda gerçekleştirilecek olan yığın liçi projelerinde bu durum dezavantaj yaratmaktadır. Kamyon ile cevherin serimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir (Kappes 2005).



Şekil 5.4 Kamyon ile cevher serimi (URL-5 2018).

5.2.3.2 Taşıyıcı Bant ile Cevherin Serimi

Cevheri yığına taşımak için çeşitli tiplerde ve mekanizmalarda üretilmiş bantlar vardır. Sabit uzun bantlar diye tabir edilen bant çeşitleri 150 m uzunluğa kadar sahip olabilirler. Bu sabit bantların toplam uzunluğu bazı işletmelerde 3 km civarına yaklaşabilmektedir. Silolardan sabit bantlar aracılığı ile yığına gönderilen cevher burada belirli bir eğime sahip Çekirge (grasshopper) adı verilen ve uzunlukları 20 - 30 m civarında olan mobil bantlardan yararlanılarak yığın üzerindeki yerine taşınmaktadır. Daha sonra, yatay bant adı verilen mobil bantlar kullanılarak cevher, yığın üzerinde serimi yapacak radyal besleme bandına taşınmaktadır. 25 - 50 m uzunluğunda ve 10 m'lik bir mesafede ileri – geri hareket yapabilme kabiliyetine sahip olan bu radyal besleme bantları, tüm yığının üzerine eşit malzeme dağılımını sağlayarak cevher serim işlemini tamamlarlar (Şekil 5.5). Yığın üzerindeki cevherin serim mesafesine bağlı olarak mobil bantların sayısı artırılıp azaltılabilmektedir (Kappes 2005).



Şekil 5.5 Yığın liçi işleminde serim (TÜPRAG 2018).

5.2.4 Çözelti Uygulama Ekipmanları

Siyanür çözeltisinin cevheri ıslatmasında değişik ekipmanlar kullanılsa da ana hatlarıyla damlama ve yağmurlama adı verilen sistemler kullanılır.

Siyanür çözeltisi, damlamalı sistemlerde, 0,5 - 1,5 metrede bir deliklerden damla damla bir şekilde verilir. Bu sistemlerin bakım maliyetleri az olmaktadır ve çözeltinin buharlaşması en düşük seviye durumundadır. En zayıf yanı ise sürekli bir akışın olmamasıdır. Yığının üstünden yeni bir 1 metrelik yığın katı daha eklenmeden verimli bir şekilde işlemesi düşünülemez. Ayrıca bu sistemlerde oluşan tıkanıklıkları açmak için tıkanıklık önleyici ve kısmen de pahalı olan anti - skalant kullanılmalıdır ve bununla birlikte sistem hattı içerisinde filtreler ihtiyacı duyulmaktadır. Bir yığın liçi üzerinde damlatma sistemi yerleştirilerek siyanür çözeltisinin yığına etki ettirilmesi Şekil 5.6'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Damlatma sistemi ile siyanür çözeltilisinin yığın üzerine uygulanması (URL-5 2018)

Yağmurlama sistemlerinin yığın liçi uygulamalarında kullanımı, giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Damlamalı sistemlere göre en büyük avantajı çözelti akışının düzgün bir şekilde olmasıdır. 6 x 6 metrelik bir hat deseni ile kullanılabilirler. Yine bu sistemlerde de sürekli kontrol ve bakım durumu söz konusudur.

Her iki uygulamada da işletme ve ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Toplam borulama maliyetleri yaklaşık olarak 0.60 \$/m² ya da 0.05 \$/ ton'dur.

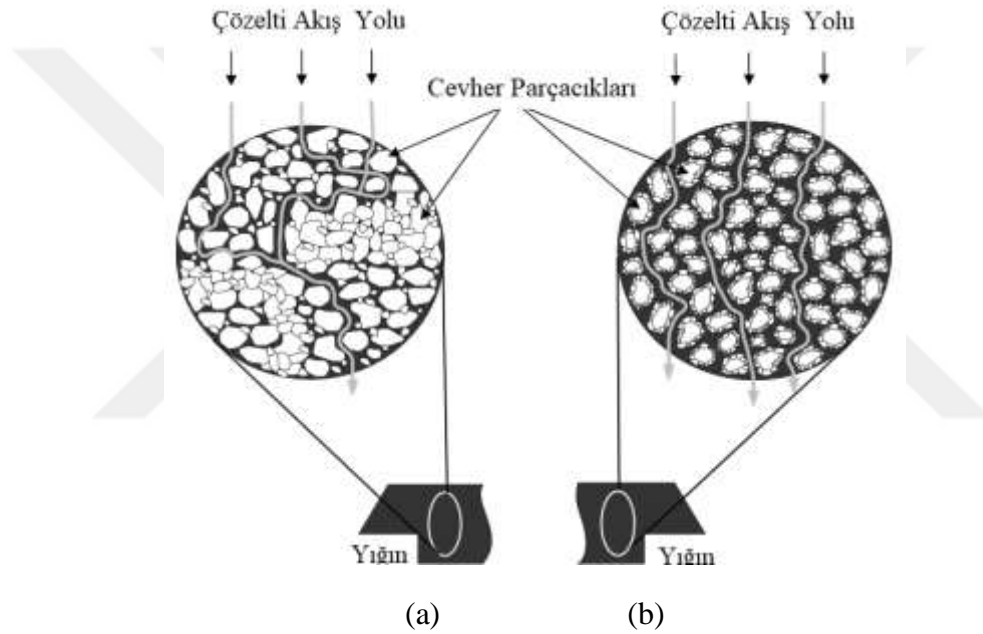
Yığın liçi uygulamalarında kullanılan iki sistemde de bakım sırasında siyanürle nemlendirilmiş yığının üzerinde kişisel koruyucu donanımlara sahip çalışanların yer alması, iş güvenliği açısından oldukça önem taşımaktadır.

5.3 YIĞIN LIÇI PERFORMANSINA GEÇİRGENLİĞİN ETKİSİ

Geçirgenlik, yığın liçi uygulamalarında dikkate alınması gereken bir konudur. Özellikle de yığın içerisindeki inceli malzeme miktarının çokluğu nedeniyle kanallaşma gibi problemlerin olması düşük altın kazanımların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, uzun yıllardır cevher geçirgenliği yığın liçi performansına etkiyen kritik bir faktör olarak addedilmektedir. Milczarek vd. (2013) düşük geçirgenliğin düşük metal kazanımına sebep olduğu gibi liç süresini de uzattığını ifade etmektedir. Aynı şekilde Breitenbach (2005) yığındaki üniform geçirgenliğin başarılı yığın liçi uygulamalarında şart olduğunu belirtmektedir. Yine Breitenbach (2005) düşük geçirgenliğe sahip yığın bölgelerinde liçe maruz kalmayan cevher

kaldığını ve bunun da o bölgede çözeltinin akış hızının düşüklüğünden kaynaklandığını belirtmektedir.

Çoğu yığın liçi uygulamalarında geçirgenlik hızını geliştirmek için cevheri aglomere edip yığındaki kanallaşma problemi aşılacak istenmektedir (Miller 2003). Kawatra vd. (2006) düşük geçirgenliğin ince tane boyutlu cevherde en önemli problem olduğuna işaret etmektedir. Şekil 5.7 (a)'da da verildiği gibi ince taneli cevher, yığın içinde geçirimsiz tabakalar oluşturmaktadır. Şekil 5.7 (b)'de ideal (istenilen) durum ele alınmış ve taneciklerin arasından çözeltinin rahatça aktığı daha iyi geçirimli tabakalardan oluşan yığın kompozisyonu gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Cevherin yığındaki dağılımı: (a) Gerçekte, (b) İstenen

İnce tane boyutlu cevherin boşlukları kapatması ve cevher boyut farklılıkları yığın içinde ölü bölgeler oluşmasına sebebiyet verir ve bu da geçirgenliği düşürür. Cevherdeki geçirgenlik ince taneli cevherlerin aglomere edilerek daha iri boyutta hazırlanmasıyla ve de daha uniform cevher tane boyutunun hazırlanmasıyla mümkün olacaktır (Milczarek vd. 2013, McClelland 1986, Lastra ve Chase 1984). Vethosodsak da (2012) aglomerasyonu birçok altın ve bakır yığın liçi uygulamalarında ön aşama olarak ifade etmiş, çalışmasında aglomere olarak hazırlanan örneklerin kalitesini ölçmek için geçirgenlik testleri yapmış ve aglomere edilmiş cevherin geçirgenliğini arttırarak liç süresini kısaltmayı başarmıştır. Cevher tane boyutu ve geçirgenlik üzerine yapılan çalışmalarda geçirgenlikte sadece tane boyutunun etkili olmadığı, bunun

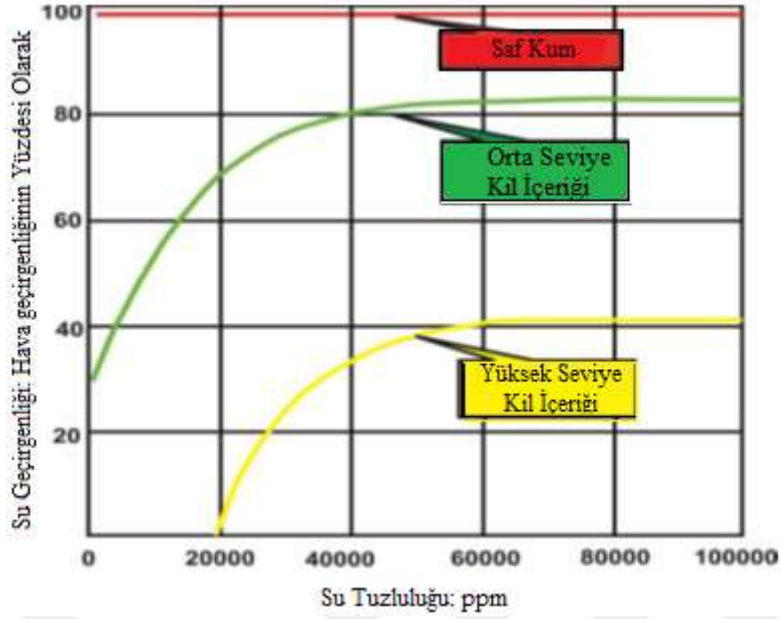
yanında cevher neminin de geçirgenlik üzerine etkili olduğu belirtilmiştir. Vethosodsakda (2012)'ye göre %6 - %8 nem içeriğine sahip, iri boşluk yapılı aglomere cevherin yüksek geçirgenliğe sahip olacağını vurgulamıştır. Lewandowski ve Kawatra (2009) aglomerasyon sırasında çimento kullanılan altın aglomerelerinin duraylı olduğunu ancak baz metalların sülfürik asit veya diğer bağlayıcılar kullanılarak elde edilen aglomeralarının genellikle duraysız olduğunu, bunun da devam eden kimyasal bozunmaya bağlı olduğunu ifade etmektedir.

Bouffard (2005)'e göre bir yığında düşük geçirgenliğin olmasının nedenleri arasında; tane boyut dağılımı geniş aralığa sahip olan cevherlerin istiflenmesi sırasında, bu farklı boyutlu parçaların hep aynı yerlere yığılması ve ayrıca bu malzemelerin mineralojisindeki farklılıklarının da etkili olduğunu belirtmiştir.

Literatürde bazı malzemelerin geçirgenlik değerleri; çok ince tane boyutlu kum için 10^{-5} cm/s iken killerden oluşan dayanıklı zeminlerde ise 10^{-7} ile 10^{-8} cm/s arasında değişmektedir. Öte yandan organik ve inorganik alüvyonlar, kum karışımları, alüvyon ve killeri 10^{-6} cm/s geçirgenliğe sahiptir (Bouffard 2005).

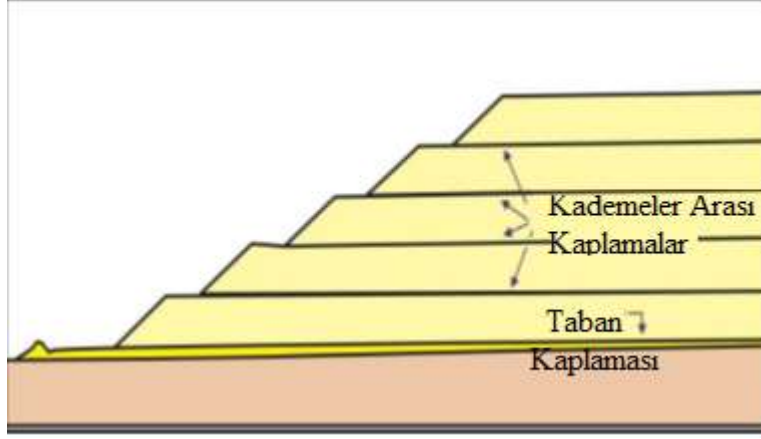
Kawatra vd. (2006)'e göre bakır liçinde aglomere edici olarak bağlayıcıların “aside dayanıklı”, “ekonomik” ve “zararsız ve bakteriler için zehirsiz” özellikleri taşıması gerektiği ifade edilmiştir. Yine Kawatra vd. (2006) organik bağlayıcılar olarak agar, jelatin, reçine, sodyum karboksimetil, selüloz ve nişastanın çeşitli liç uygulamalarında kullanıldığını belirtmiştir.

Uhrie vd. (2003) geçirgenliğin kil miktarının artmasıyla azalacağını ifade etmiştir. Bu durum CoreLab (1983) Raporu'nda “kil ve tuzluluk miktarına göre su geçirgenliğindeki değişim” olarak gösterilmiştir (Şekil 5.8). Kinard ve Schweizer (1987) geçirgenliğin yığın yoğunluğuyla ters orantılı olduğunu, daha açık bir ifadeyle, yoğunluk 1,19 ile 1,43 t/m³ arasında değişirken geçirgenliğin sırasıyla 10^{-4} ile 4×10^{-7} cm/s arasında değiştiğini belirtmektedirler.



Şekil 5.8 Kıl miktarına göre su geçirgenliği (hava geçirgenliğinin yüzdesi olarak) ve su tuzluluğu (ppm) (CoreLab 1983).

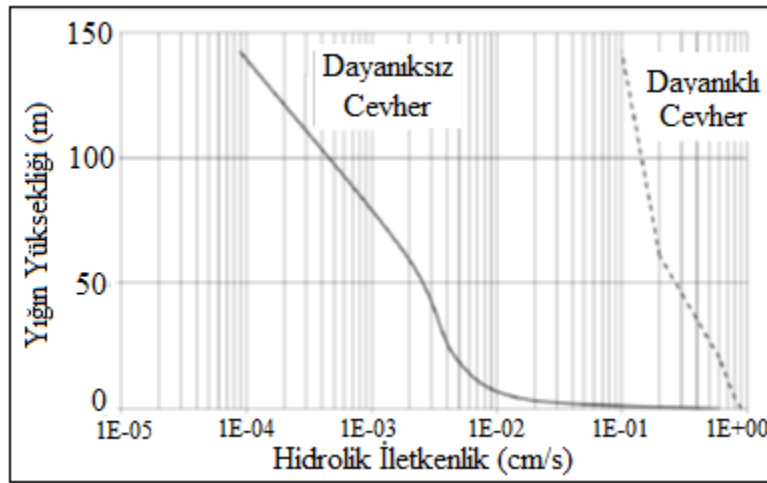
Asit tüketimini azaltmak amacıyla (Smith 1996) ve kazanım kinetiğini arttırmak amacıyla Güney Amerika’da 1990’lı yıllarda “Ara Kaldırma Astarları (inter lift)” diye adlandırılan tabaka uygulamaları genel olarak bakır liçinde kullanılmıştır (Echeverria vd. 2005). Şekil 5.9’da Ara Kaldırma Astarları’nın kullanıldığı yığın liçi uygulamasına ait şematik gösterim verilmiştir. Burada amaç; çözeltilerin yığın içindeki akışının yeniden yönlendirilmesini sağlamak, dolayısı ile de çözeltilerin yığın içindeki geçtiği zamanı azaltmaktır. Bu kaldırma astarları 0,3 - 0,5 mm kalınlıklar arasında sert plastik bir malzemeden ibarettirler. Echeverria vd. (2015) ayrıca cevher geçirgenliği arttıkça her seviyede süzülmenin artacağını belirtmişlerdir. Yığın yüksekliği fazla olduğu durumlarda perkolasyon oranının düşük olması düşük geçirgenlikle ilişkilidir (Echeverria vd. 2015).



Şekil 5.9 Tabakalı Yığın Liçi'nde ara Kaldırma Astarlarının kullanımı (Echeverria vd. 2015).

Liç geçirgenliğine etki eden faktörler arasında; patlatma ve kırma işlemleri sonrasında cevher kayaç davranışı, yığın yüksekliği ve siyanür çözeltisinin cevheri sulama oranının da dikkate alınması gerekmektedir. Sadece bahsedilen bu faktörler değil bunun yanında ince tane boyutlu malzemenin üretilmesi ve kanallaşmaya sebebiyet vermesi de geçirgenliği olumsuz yönde etkiler. Cevherin dayanıklı olması yani topaklaşarak bütünsellik kazanması da geçirgenliği önemli ölçüde azaltabilir (Milczarek vd. 2013).

Geçirgenlik aynı zamanda farklı karakterde malzemeler için “Zayıf” ve “Dayanıklı” olması yığın yüksekliği ile de değişir. “Zayıf Cevher” yığında çok yüksek istiflenemez ve “Dayanıklı Cevher” ise değişik cevher üretim ve liç çevrim sürelerine maruz kalabilir. Bu durum Lupo ve Dolezal (2010) tarafından şekil 5.10’da olduğu gibi ifade edilmektedir.



Şekil 5.10 Hidrolik iletkenliğin (geçirgenlik) yığın yüksekliğine ve cevher tipine bağlı değişimi (Lupo ve Dolezal 2010).

Bir zeminin ya da yığın tabakasının geçirgenliği fazlalaştıkça liç çözeltisinin iletimi kolaylaşır. Yığın liçi uygulamalarında liç çözeltisinin akış hızı oldukça düşüktür. Bu nedenle çözeltinin yığın içerisindeki davranışını “Darcy Kanunu” ile açıklamak mümkün olabilir (Bouffard 2005).

Darcy Kanunu’na göre; belirli bir çaptaki veya kesit alanındaki ve belirli kalınlıktaki bir topraktan belirli bir zamanda geçen suyun miktarı o toprağın geçirgenlik değerini vermektedir. Geçirgenlik su ile doymuş toprak koşulları için “Hidrolik İletkenlik” veya “Hidrolik Kondaktivite” terimi şeklinde de kullanılmaktadır.

Geçirgenlikte etkili olan başlıca faktörler ;

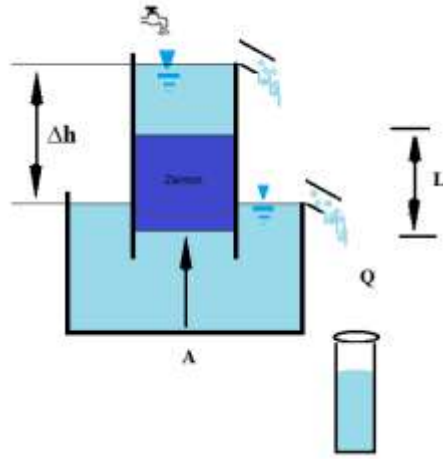
- ❖ toprak gözeneklerinin şekilleri ve hacimleri,
- ❖ toprak taneciklerinin şekilleri,
- ❖ toprak suyunun özgül ağırlığı ve viskozitesi,
- ❖ toprak suyunun sıcaklığı,
- ❖ gözenek içinde sıkışmış hava kabarcıklarıdır.

Geçirgenlik (hidrolik iletkenlik) gerek laboratuvar gerekse de arazi koşullarında belirlenebilmektedir.

Laboratuvar Koşullarında Geçirgenliğin Saptanması: Laboratuvar koşullarında bir numunenin geçirgenliğinin belirlenmesi boyutuna bağlı olarak yapılmaktadır. İki farklı yöntemle belirlenir. Eğer numune iri tanelerden oluşuyor ise “Sabit Seviyeli”, ince tanelerden (kil, silt vb.) oluşuyor ise “Düşen Seviyeli” geçirgenlik deneyleri uygulanır.

1- Sabit seviyeli geçirgenlik testi

Bu yöntemin uygulanmasında hidrolik eğim ve su seviyesi diğer bir deyişle hidrolik yük sabit durumda tutulur. Belirli bir hidrolik yük altında topraktan sızan su miktarı belirli süreler içinde ölçülür (Şekil 5.11) ve aşağıdaki eşitlikle zeminlerin geçirgenliği hesaplanır.



Şekil 5.11 Sabit seviyeli geçirgenlik deney düzeneği

$$Q = A \cdot V \cdot t \quad (5.1)$$

$$V = k \cdot i \quad (5.2)$$

$$i = \Delta h / L \quad (5.3)$$

$$k = Q \cdot L / A \cdot t \cdot \Delta h \quad (5.4)$$

Burada;

k = geçirgenlik (cm/s),

Q = deşarj edilen suyun miktarı (cm³),

L = örneğin yüksekliği (cm),

A = örneğin yüzey alanı (cm²),

t = toplam deşarj süresi (s),

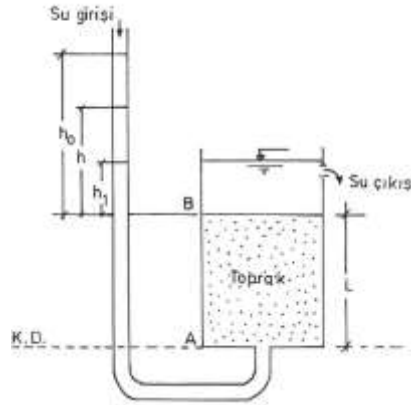
Δh = manometrelerdeki basınç farkı (cm),

i = hidrolik eğim.

2- Düşen seviyeli geçirgenlik testi

Geçirgenlikleri düşük olan ağır bünyeli topraklarda hidrolik yükü arttırarak topraktan geçen su miktarını yükseltmek için düşen seviyeli permeametre aleti kullanılır. Bu alette toprak örneği

içerisinden geçen suyun miktarı, denemeye giren suyun geçtiği borudan ölçülerek saptanmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Düşen seviyeli geçirgenlik testi düzeneği.

$$k = 2,3 * (a * L / A * t) * (h_0 / h_1) \quad (5.5)$$

Burada;

a = borunun kesit alanı (cm^2),

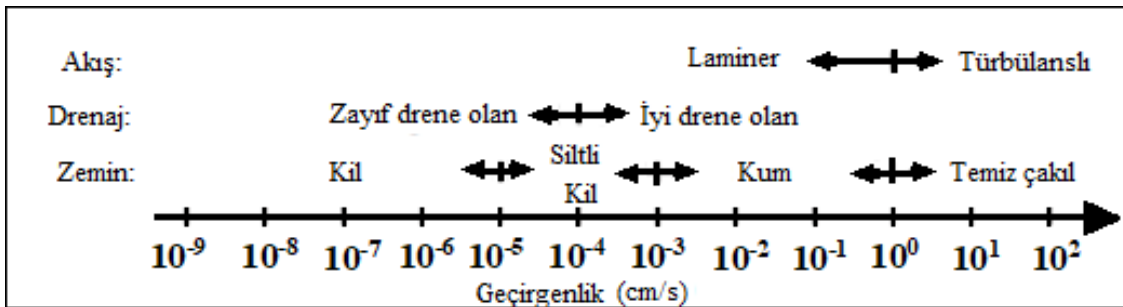
A = toprak örneğinin kesit alanı (cm^2),

L = toprak örneğinin yüksekliği (cm),

t = deneme süresi (dk),

h_0 ve h_1 = deneme başlangıç ve bitişindeki boruda su seviyeleri (cm).

Çeşitli çalışmalarla zemin tiplerine bağlı olarak geçirgenlik katsayısı (Şekil 5.13) belirlenmiş, sonraki çalışmalara yön vermesi açısından deneylerde kullanılan numunelerin hangi ölçekte yer aldığı yorumunu sunmuştur.



Şekil 5.13 Zemin tiplerine bağlı geçirgenlik değerleri (Sivakugan ve Das 2010).

Yılmaz vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, cevher ile fındık kabuğu karışımından elde edilen yığının geçirgenlik davranışı incelenmiş ve fındık kabuğu boyut dağılımı ile yüzde hacim oranının geçirgenlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, cevher boyutunun azaltılmasıyla serbestleşmenin artması sağlanmış ve cevher ile fındık kabuğu karışımının, geçirgenliğe olumlu bir etki yaptığı belirlenmiştir.





BÖLÜM 6

UŞAK KIŞLADAĞ ALTIN MADENİ

Bu doktora tez çalışmasında numunelerinin temin edildiği Kışladağ Altın Madeni Zenginleştirme Tesisi, Uşak il merkezinin yaklaşık 30 km güneybatısında ve Ege Bölgesi'nde, İzmir'in yaklaşık 180 km doğusunda yer almaktadır (Şekil 6.1).

Kışladağ Altın Madeni Projesi ile Uşak ili, Ulubey ve Eşme ilçeleri sınırında, Gümüşkol Köyü yakınlarında yer alan İR 7302 numaralı işletme ruhsatlı sahada altın madeni ve ilgili tesisler açılmış ve 2006 yılı itibariyle işletmeye alınmıştır (Şekil 6.1).

Maden işletmesi kapsamında, çıkarılacak toplam cevherin yapılan son rezerv geliştirme çalışmaları sonucunda yaklaşık 180,6 milyon ton ve yıllık ortalama üretimin yaklaşık olarak 12,5 milyon ton olması beklenmektedir. Cevherin ortalama tenörü altın (Au) için ortalama 1,07 gr/ton olarak; sınır tenör ise, oksitli cevher için 0,35 gr/ton, sülfütlü cevher için 0,5 gr/ton olarak belirlenmiştir. Yine maden sahası içinde bulunan Gümüş (Ag) için ise bu değer 1,1 gr/ton olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.1 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nin konumu ve maden sahası görünümü (TÜPRAG 2018).

6.1 BÖLGENİN JEOLJİSİ

Proje alanının topografyası birbirleri ile tatlı eğimleri olan ve yükselteleri deniz seviyesinden 900 m yüksekte bulunan vadi tabanları ile ve deniz seviyesinden 1100 m yüksekte olan tepelerden oluşmaktadır. Bu topografya; tabandaki metamorfik kayalar ile bu kayaların üstünü örten ve birbirleriyle yanal geçişler gösteren gölsel kireçtaşları ve volkanik kayaların meydana getirdiği platonun aşınması sonucu oluşmuştur.

Topoğrafyasında yer alan yüksek kesimler genelde volkanik kaya oluşumlarıyla temsil edilmektedir. Bölge batıda metamorfik temel üzerinde gelişmiş peneplen düzlükleri, doğuda yatay konumdaki Neojen sedimanter kayalardan oluşan platoları ve ortada bunlar arasında yer alan geniş volkan konilerini içermektedir. Volkanik platolar kuzeydoğuda Eskisaray, Çardak ve Karabol köyleri arasında ve orta kesimlerde ise Akçaköy, Gümüşkol, Kışlaköy, Gedikler, Ahmetler ve Kolankaya dolaylarında yer almaktadır (Yazıcıgil vd. 2000, TÜPRAG 2018).

Proje alanının yerel morfolojisinde, oldukça iyi korunmuş olan ve uydu görüntülerinde kolaylıkla seçilebilen Kışladağ volkanik karmaşığı en belirgin yapıdır. Bu yapı, yaklaşık olarak kuzeydoğu - güneybatı doğrultusunda bulunan iki volkan konisinden oluşmaktadır. Beydağı volkan konisi güneybatıda ve Kışla volkan konisi kuzeydoğuda yer almaktadır.

Volkanik karmaşık yaklaşık 10 kilometreye 9 kilometre genişliğindedir. Volkan konisinden dışarı doğru gidildiğinde ise volkan konisi kenarlarında oluşan volkanik dış-akıntıları, Neojen gölsel kireçtaşları ve şeyller ile iç içe geçmektedir.

6.1.1 Proje Alanının Jeolojisi

Kışladağ maden sahasına ait kayalar Beydağı volkanik serisinin ekstrüzif ve sokulum kayaları ile bu kayaların erozyonu sonucu oluşan strato volkaniklerle beraber bu birimlerin örttüğü, ayrıca bölgenin de taban kayacı olan Menderes metamorfiklerinden oluşmuştur. Miyosen yaşlı sokulum (intrüzif) kayaları, şist ve gnaystan oluşan ve de Menderes Masifi olarak adlandırılan Paleozoyik yaşlı kayaların içine gömülmüştür.

Menderes Masifi'ne ait kayalar taban kayaları olmalarına ve çok kalın bir volkanik örtüyle örtülmüş olmalarına rağmen erozyon nedeniyle proje sahasının kuzeyinde yer yer üstü açılmış

ve pencereler - kafalar şeklinde yüzlek vermişlerdir. Kışladağ'daki volkanik kayalar ve sokulum kayaları maden sahasının dışına kadar yayılır. İstiften uzaklaştıkça Beydağı volkanikleri kısmen aynı yaştaki Ulubey ve Ahmetler Formasyonlarına ait gölsel kireçtaşlarına ve klastik sedimanter kayalara geçiş göstermektedirler.

Proje alanında birkaç farklı volkanik aktivitenin etkinliği ayrıca oluşan volkanoklastiklerin birbirini farklı istifler şeklinde bindirmeleri çok karmaşık volkanostratigrafik bir yapının oluşmasına neden olmuştur. Proje alanındaki volkanik stratigrafi ince taneli kristal tüflerin, püskürme ve akıntı breşleri ile volkanik-altı intruziflerin karışımından oluşmaktadır. Mevcut çalışma alanında 6 birim tanımlanmıştır.

Bu birimler üstten alta doğru olmak üzere aşağıdaki konumda istiflenmişlerdir:

- a. Breşik-porfiritik dokulu latitik klastikler,
- b. Porfiritik dokulu latitik lav akıntıları,
- c. Breş, tüf, kumtaşı, kiltaşından oluşmuş volkanoklastikler,
- d. Porfiritik dokulu kuvars-latitik lav akıntıları,
- e. Porfiritik dokulu latitik bileşimli sokulumlar,
- f. Monolitolojik volkanik konglomeralar şeklindedir (TÜPRAG 2018).

6.2 CEVHERLEŞME

Kışladağ Altın cevherleşmesi turmalin - kuvars - pirit ve kuvars - pirit damarcıkları ile beraber breşik fazların getirimleriyle birebir ilişkilidir. Ayrıca altına, ekonomik olmayan çok az miktarlarda baz metal (çinko ve molibden) elementleri ile birlikte eşlik etmektedir. Altın mineralizasyonu, sokulum kayaların oluşturmuş olduğu halka biçimine benzer bir şekil almaktadır.

Oksidasyon ise cevherli birimde daha derin olmasına rağmen, cevher içermeyen üçüncül sokulumlarda daha sık alanlarda ortalama 40 - 50 metre derinliğe sahiptir. Ancak yer yer kırık ve çatlakların daha fazla olduğu bölgelerde oksidasyon daha da derinlere etki etmiştir. Limonit en yaygın olarak bulunan oksitli mineraldir ve genel olarak dissemine şeklinde bulunan piritin bozunması ile ya yama şeklinde ya da küçük çaplı kırık ve çatlaklar içinde çok ince milimetrik bantlar şeklinde gelişmiştir.

6.3 MADEN İŞLETME YÖNTEMİ

Uşak ili Eşme ilçesinde faaliyet gösteren TÜPRAG Metal Madencilik'e ait Kışladağ Altın Madeni, delme ve patlatmanın yükleme ve taşıma yöntemleri ile birlikte kullanıldığı konvansiyonel açık ocak işletmesidir.

Delme ve patlatma 10 m yüksekliğe sahip olan basamaklarda gerçekleştirilmektedir. Patlatmayı takiben cevher yükleyiciler vasıtasıyla kamyonlara yüklenerak, ana kırıcıya taşınmaktadır. Açık ocağtan üretim sırasında çıkacak ekonomik olmayan kaya ise, yine aynı metot ile ekonomik olmayan kaya depo alanına taşınmaktadır.

Açık ocak madenciliği ile çıkarılan cevher; içindeki altının yığın liçi prosesi ile alınabilmesini sağlamak amacıyla, üç aşamalı kırmaya tabi tutulmaktadır.

Madende kırılan cevhere kireç ve su ilave edilerek yığın liçi prosesinden önce cevherin kısmen aglomerasyonu sağlanmakta ve yığın liçi operasyonu boyunca ihtiyaç duyulan pH düzeyine (10 - 11) ulaşılmaktadır.

Kırılan cevher bant taşıyıcıya aktarılarak yığın liçi alanına taşınmakta ve bu alanda en fazla 10 m yükseklikte tabakalar halinde yerleştirilmektedir. Yığın liçi alanına pompalanan yüksüz siyanür çözeltisi, cevher yığınının üzerine damlama yöntemiyle verilmektedir. Yığın içinden süzülen çözelti altın ve gümüşü çözerek metal siyanür bileşikleri oluşturmaktadır. Altın içeren yüklü çözelti yığın liçi alanı tabanındaki drenaj boruları sayesinde toplanarak yüklü çözelti havuzuna ulaşmaktadır. Altın ve gümüş yüklü çözelti bu havuzdan altın zenginleştirme işlemi için ADR ünitesine transfer edilmektedir.

Yüklü çözelti; karbon adsorpsiyonu, basınçlı sıyırma, elektroliz ve ergitmeyi içeren standart bir prosese tabi tutularak zenginleştirilmektedir. Söz konusu işlemler sonucunda ise son ürün olarak dore altın üretimi sağlanmaktadır (TÜPRAG 2018).

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 GİRİŞ

Deneysel çalışmalarımız; ortalama tenörü 1,32 ppm olan, TÜPRAG Metal Madenciliği Uşak Kışladağ Altın Madeni'nden laboratuvarımıza gelen yaklaşık 3,5 ton numune üzerinde gerçekleşmiştir. Kışladağ Altın Madenin'nde açık ocaktan çıkarılan cevher, yığına serilmeden önce birincil, ikincil ve üçüncül çeneli kırıcı olmak üzere üç türlü kırıcıda kırılmaktadır. Üçüncül çeneli çıkışı olan ürün yığına zenginleştirilmek üzere serilmektedir. Bu kapsamda tarafımıza gelen numunenin, 1,5 tonu işletmenin bizzat kendi yığına beslediği üçüncül çeneli kırıcıdan alınan ürünü (Şekil 7.1), geri kalan 2 tonu ise ikincil çeneli kırıcı çıkışı olan ürünü (Şekil 7.2) temsil etmektedir. Üçüncül çeneli çıkışı olan ürün, konileme - dörtleme yöntemiyle azaltılarak her biri 40'ar kg olacak şekilde bölünmüş ve kovalara doldurulmuştur.



Şekil 7.1 Üçüncül çeneli çıkışı malzemelerin konileme - dörtleme metodu ile azaltılarak kovalara doldurulması (yaklaşık 1,5 ton).



Şekil 7.2 İkincil çeneli çıkışı malzemenin görünümü (yaklaşık 2 ton).

DeneySEL çalışmalar; aşağıda belirtilen 4 ayrı deney grupları oluşturularak planlanmıştır:

A- Numune üzerinde gerçekleştirilen deneyler;

- 1- boyut ve kimyasal analizler,
- 2- mineralojik analizler,

B- Geçirgenlik deneyleri;

- 1- numune boyut etkisinin belirlenmesi çalışmaları,
- 2- kullanılan fındık kabuğu boyut ve miktarının etkisi çalışmaları

C- Kimyasal liç deneyleri;

- 1- “Bottle - Roll” (Şişe Testi) deneyleri,
- 2- kolonlarda gerçekleştirilen “Kolon – Liçi” deneyleri,
- 3- fındık kabuğu ile gerçekleştirilen çalışmalar;
 - a- fındık kabuğunun altını absorbe edip etmeme durumunun belirlenmesi,
 - b- fındık kabuğunun boyutunun belirlenmesi,
 - c- fındık kabuğu kullanım miktarının belirlenmesi,

D- Siyanür çözeltinin cevherdeki altını çözme hızındaki değişimlerinin incelenmesi, şeklindedir.

7.2 ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Bu çalışmanın hedefi; yığın liçinde ince boyut varlığı nedeniyle oluşan ve kil davranışı göstererek yığında kanallaşmalara neden olan ve böylece düşük geçirgenliğe sahip olan cevherin, düşük altın çözünme verimi eldesinin etkisini en aza indirmektir. Bunun için yığın

liçini laboratuvar ortamında temsil eden “Kolon Liç Deney Seti” yöntemi uygulanmış ve geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu amaca ulaşmak için numunenin tane boyutu küçültülerek serbestleşmesinin ve dolayısı ile de toplam yüzey alanının artırılması sağlanmıştır. Cevher boyutunun küçültülmesi liçe geçirgenliğin azalmasına neden olduğundan/olacağından bu ince boyutlu cevher, fındık kabuğu ile karıştırılarak geçirgenlik artırılmıştır. Böylece siyanür çözeltilisinin numune üzerinde homojen şekilde akışı gerçekleştirilmiş ve yığına fiilen beslenen cevhere oranla daha yüksek altın çözünme verimi elde edilmiştir.

Çözündürme deneyleri öncesinde numunenin çeşitli boyutlarda geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiş, ardından numunenin bu boyutlardaki fındık kabuğu karışımı ile birlikte yapılan geçirgenlik deney sonuçları irdelenmiştir. Numune ile fındık kabuğu karışımında; fındık kabuğunun boyutu ve hacimce yüzde karışım oranlarının etkisi incelenmiştir.

Daha sonra, belirlenen uygun geçirgenliğin olduğu boyut ve karışımlarla kolonlarda liç işlemlerine geçilmiş, böylece en yüksek altın çözünme verim değerleri belirlenmiş ve deneylerde kullanılan siyanür çözeltilisinin çözeltideki altını çözme hızları incelenmiştir.

7.2.1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Boyut ve Kimyasal Analizler

İlk olarak Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de deneylerde kullanılacak olan yığına fiilen serilen malzemenin (-18 mm) boyut ve kimyasal analizleri yapılmıştır.

Çizelge 7.1 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde fiili olarak yığına serilen malzemenin (-18 mm) elek analiz değerleri.

Numune boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣElek Altı Oranı (%)
-25+18	0,5	100,0
-18+10	12,9	99,5
-10+6,70	8,6	86,6
-6,70+4,75	13,8	78,0
-4,75+2,36	18,5	64,2
-2,36+1,00	19,0	45,7
-1,00+0,50	4,1	26,7
-0,50+0,212	6,7	22,6
-0,212+0,150	1,8	15,9
-0,150	14,1	14,1
Toplam	100,0	

Çizelge 7.1'de malzemenin tamamına yakınının 18 mm'nin altında olduğu ve yaklaşık olarak %50'sinin de 2,36 mm'lik elekten geçtiği görülmektedir.

Çizelge 7.2 Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde fiili olarak yığına serilen malzemenin (-18 mm) kimyasal analiz değerleri.

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	La	Mg
Birim	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%
Miktar	1,32	1,90	7,62	172	320	3,90	8,00	0,66	8,30	25,00	121,00	142,00	3,98	20,00	3,71	50,00	1,26
Element	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn
Birim	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Miktar	396	104	1,00	35	1090	909	3,70	13	10	604	30	0,24	10	<10	84	10	2000

Numunenin kimyasal analiz değerlerine bakıldığında, Au tenörünün 1,32 ppm, kükürt içeriğinin de %3,7 olduğu görülmektedir.

Numunenin çeşitli boyut gruplarında Au içerikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 7.3'de verilmiştir.

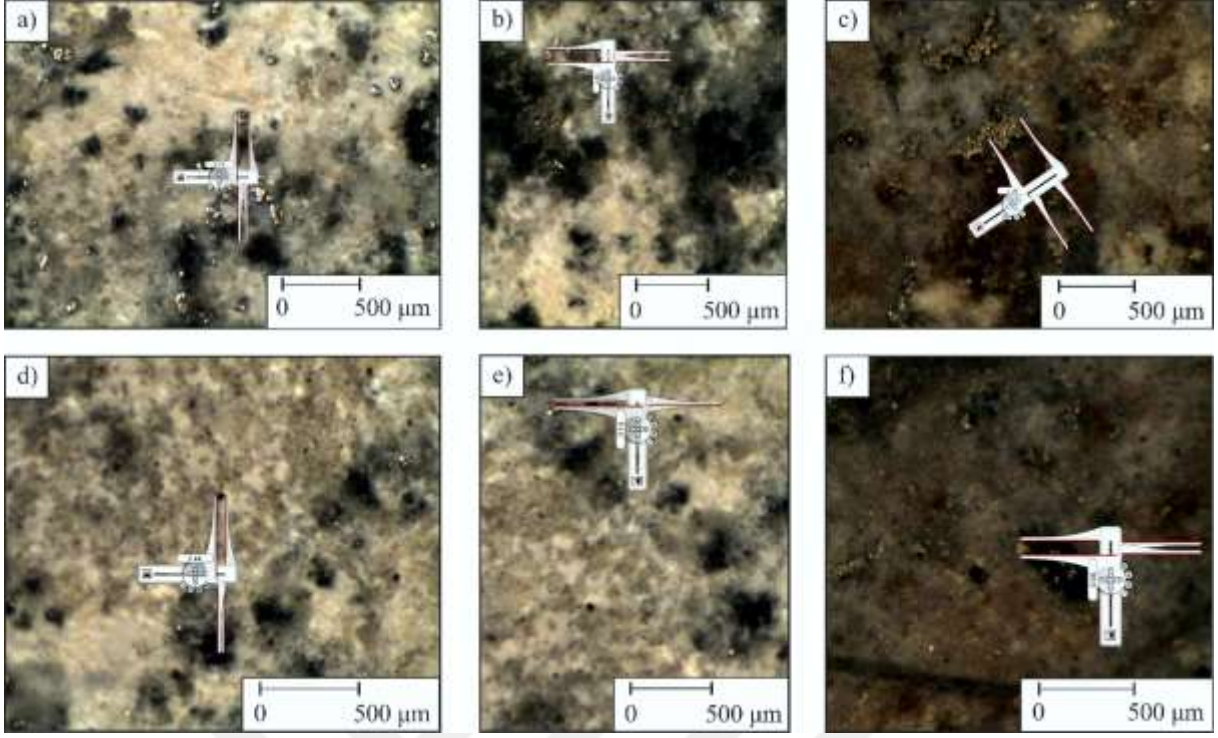
Çizelge 7.3 Boyut gruplarında Au analiz değerleri.

Boyut (mm)	Miktar (%)	Tenör (ppm)	Dağılım (%)
-25+18	0,5	0,70	0,24
-18+10	12,9	0,80	7,85
-10+6.70	8,6	0,85	5,56
-6,70+4,75	13,8	0,88	9,19
-4,75+2,36	18,5	1,10	15,35
-2,36+1,00	19,0	1,73	24,98
-1,00	26,7	1,81	36,59
Toplam	100,0	1,32	100,00

Boyut gruplarındaki Au değerleri incelendiğinde, boyut küçüldükçe Au değerlerinin 0,70 ppm'den 1,81 ppm'e doğru arttığı görülmektedir. 2,36 mm'nin altındaki boyutta artış en yüksek düzeydedir.

7.2.2 Numunenin Mineralojik Analizi

Numune; az miktarda ağsal - saçınımlı piritle birlikte sfalerit, rutil ve markasit içeren hidrotermal alterasyona uğramış magmatik bir kayaç şeklindedir. -18 mm boyutlu parça numuneler kullanılarak hazırlanan bloklar, üstten aydınlatmalı polarizan cevher mikroskopu ile incelenmiş ve cevherleşmeler tespit edilmiştir. Cevher mikroskobunda gerçekleştirilen analizler sonucunda; pirit, sfalerit, galen, rutil ve markasit gibi cevher mineralleri saptanmıştır. Ayrıca hidrotermal alterasyonu ürünü olarak başlıca limonit ve götit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 a) Saçınımlı şekilde gözlenen pirit mineralleri b) Küçük yumrular şeklinde gözlenen pirit, markazit, sfalerit ve galen cevher topluluğu c) İri yumrular şeklinde gözlenen pirit, markazit, sfalerit ve galen cevher topluluğu d) Opak mineral (Rutil) e) Sfalerit f) Limonit.

Mikroskobik çalışmalarda gözlenen başlıca cevher minerali pirittir (Şekil 7.3a). Pirit, gang minerallerinin aralarını doldurmakta olan iskelet şekilli ve elek dokulu kristaller şeklindedir. En iri pirit kristalleri 100 µm boyutundadır. Bu iri pirit kristallerini çevreleyen mineral topluluğu çoğunlukla markazit, sfalerit ve galen minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 7.3b, ve 7.3c).

Mikroskobik düzeyde gözlenen opak mineraller; rutil (Şekil 7.3d), manyetit ve hematittir. Markazit ise çok az miktarda izlenmektedir. Piritli cevher topluluğunda sfalerit mineralleri 5 - 10 µm boyutlarında ve kırmızı tonlarda izlenmektedir (Şekil 7.3e). Hidrotermal alterasyon ürünü olarak ise en yaygın izlenen mineral ise öz şekilsiz soluk sarı tonlarındaki limonittir (Şekil 7.3f).

7.2.3 Geçirgenlik Deneyleri

Bir yığın liçinde geçirgenlik, çözeltilinin cevhere temas etmesi dolayısı ile kazanma veriminin artmasında doğrudan etkilidir. Bundan dolayı kolonlarda gerçekleştirilecek olan liç deneylerine geçilmeden önce numune üzerinde geçirgenlik deneyleri yapılmıştır.

Öncelikle geçirgenlik deneylerinin gerçekleştirileceği cevher boyutları -10 mm ve -2,36 mm olarak belirlenmiş ve boyutlardaki cevherin boyut analizleri yapılarak Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Tamamı -10 mm boyutlu cevherin boyut dağılımı.

Numune boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣElek Altı Oranı (%)
-10,00+6,70	10,8	100,0
-6,70+4,75	6,3	89,2
-4,75+3,36	12,1	82,9
-3,36+2,36	6,0	70,8
-2,36+1,67	9,3	64,8
-1,67+1,00	20,0	55,5
-1,00+0,50	7,7	35,5
-0,50+0,150	17,1	27,8
-0,150	10,7	10,7
Toplam	100,0	

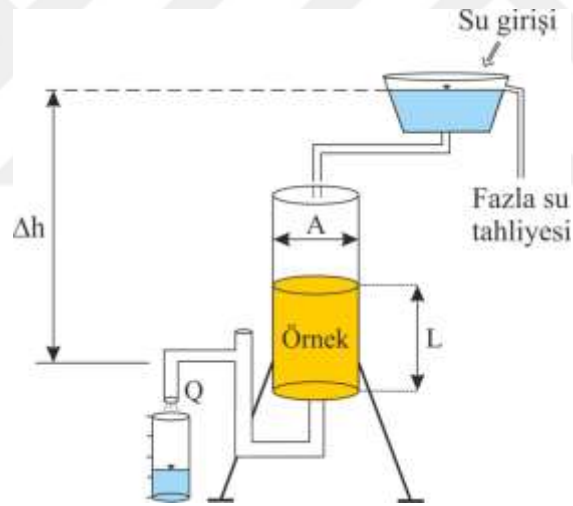
Çizelge 7.5 Tamamı -2,36 mm boyutlu cevherin boyut dağılımı.

Numune boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣElek Altı Oranı (%)
-2,36+1,70	13,2	100,0
-1,7+1,00	38,8	86,8
-1,00+0,50	14,0	48,0
-0,50+0,30	7,6	34,0
-0,30+0,150	9,9	26,4
-0,150+0,075	6,7	16,5
-0,075+0,038	8,6	9,8
-0,038	1,2	1,2
Toplam	100,0	

Çizelgelerde görüleceği üzere; tamamı 10 mm'nin altına kırılan cevherdeki -2,36 mm boyut grubu oranı yaklaşık %65 civarındadır. Tamamı 2,36 mm'nin altına indirilen cevherdeki -1,00 mm boyut grubu oranı da %50'ye yakın bir değerdedir.

Geçirgenlik deneyleri öncelikle tesiste fiili olarak yığın liçinin uygulandığı boyutlu (-18 mm) cevhere yapılmıştır. Daha sonra tamamı 10 mm'nin altına indirilen cevherle ve ayrıca çalışmamızın da amacı olan 2,36 mm'nin altına indirilen cevherle bu deneylere devam edilmiştir.

Deneyler Darcy Kanunu'nun "Sabit Seviyeli Geçirgenlik Deney" yöntemine uygun olarak, laboratuvarımıza kurduğumuz "Geçirgenlik Deney Setinde" yapılmıştır. Deneyler ASTM D2434 (ASTM 2006) standardı göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Deney setinin şematik görünümü Şekil 7.4'de ve deney setine ait görüntüler Şekil 7.5'de yer almaktadır.



Şekil 7.4 "Sabit Seviyeli Geçirgenlik Deney Setinin" şematik bir görünümü.



Şekil 7.5 “Sabit Seviyeli Geçirgenlik Deney Setine” ait görüntüler.

$$k = Q \cdot L / A \cdot t \cdot \Delta h \quad (7.1)$$

Burada;

k = geçirgenlik (cm/s),

Q = deşarj edilen suyun miktarı (cm³),

L = örneğin yüksekliği (cm),

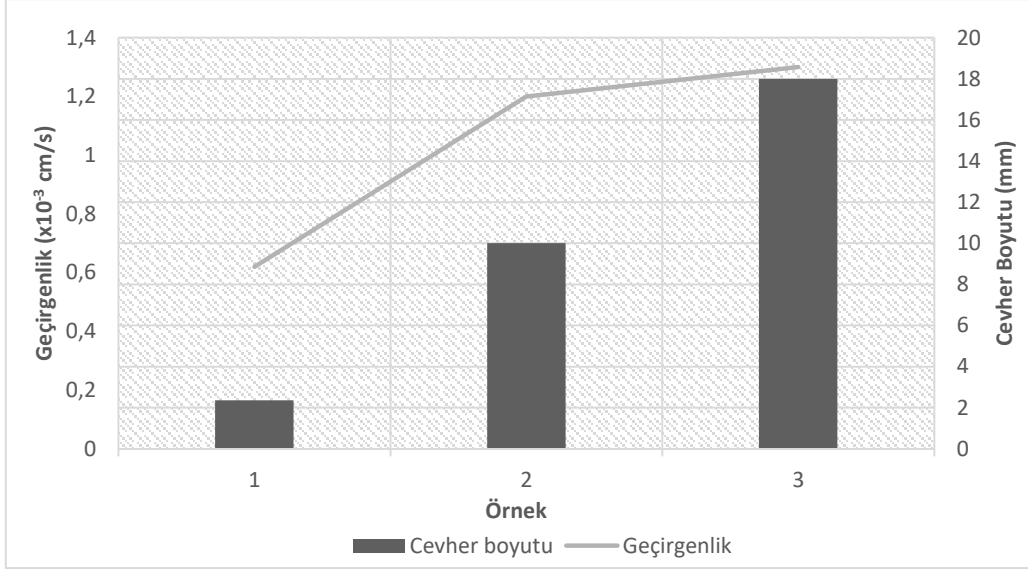
A = örneğin yüzey alanı (cm²),

t = toplam deşarj süresi (s),

Δh = manometrelerdeki basınç farkı (cm),

i = hidrolik eğimi ifade etmektedir.

1 metre boyunda, 10 cm çapında şeffaf bir kolonda gerçekleştirilen geçirgenlik deneylerinde, numune her seferinde 45 cm’ye kadar doldurulmuş ve böylelikle yapılan bütün deneylerde hacim sabit tutulmuştur. Ardından suya doygun hale gelmesi için 24 saat kadar bir süre numune bekletilmiştir. Elde edilen sonuçlardan çizilen “Boyut - Geçirgenlik” değerleri grafik halinde Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.6 -18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyut grublu cevherin geçirgenlik deney sonuçları.

Her üç boyut grubunda yapılan geçirgenlik deney sonuçlarına göre; -18 mm'deki geçirgenlik değeri $1,3 \times 10^{-3}$ cm/s, -10 mm'nin $1,2 \times 10^{-3}$ ve -2,36 mm'nin ise $0,62 \times 10^{-3}$ olarak gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar irdelendiğinde; -18 mm boyut grubundaki geçirgenlik deney sonucu ile -10 mm boyut grubundaki geçirgenlik deney sonucunun yakın olduğu, -2,36 mm boyut grubundaki geçirgenlik değerinin ise -18 mm boyut grubunda gerçekleştirilen geçirgenlik değerinin hemen hemen yarısında olduğu görülmektedir. Bu durum; her iki malzemenin boyut dağılım değerlerine bakıldığında geçirgenlik değerleriyle örtüştüğünü göstermektedir.

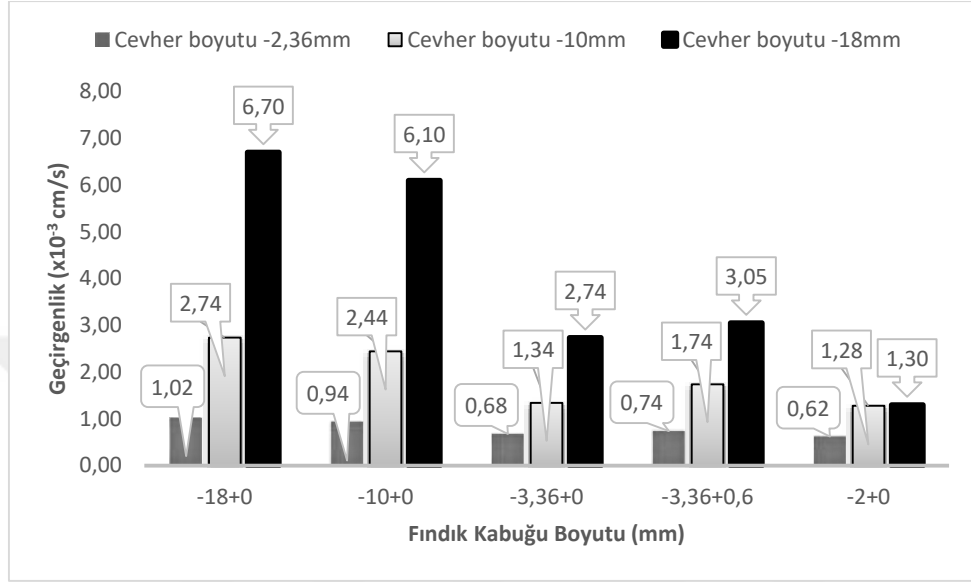
Çözeltilinin malzeme üzerinde düzenli olarak akışını sağlamak ve dolayısı ile geçirgenlik değerlerini artırmak için; -18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyutlu cevherler, fındık kabuğuyla karıştırılmış ve yeniden geçirgenlik deneyleri yapılmıştır.

Geçirgenliği arttırmak için cevher+fındık kabuğu karışımında cevher boyutunun, fındık kabuğu boyutunun ve fındık kabuğu miktarının geçirgenlik üzerindeki etkileri incelenmiştir.

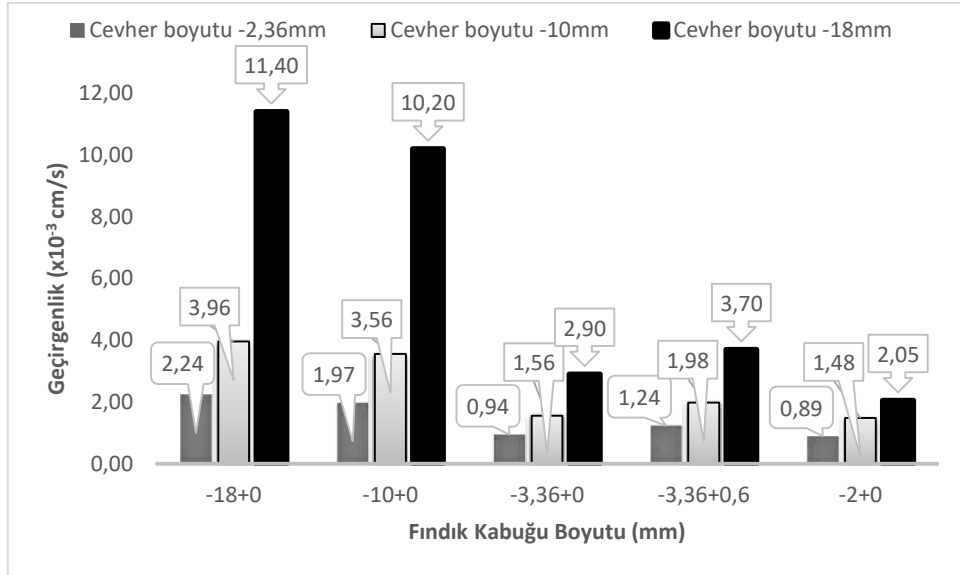
- ❖ Cevher boyutunun etkisi: -18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyutlu cevher olmak üzere 3 farklı boyutta cevherle çalışılmıştır.
- ❖ Fındık kabuğu boyutunun etkisi: -18 mm, -10 mm, -3,36 mm, -3,36+0,6 mm ve -2 mm boyutlarda olmak üzere 5 farklı boyutta hazırlanan fındık kabuğu ile çalışılmıştır.

❖ Fındık kabuğu miktarının etkisi: %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5 ve %15 oranlarında çalışılmıştır.

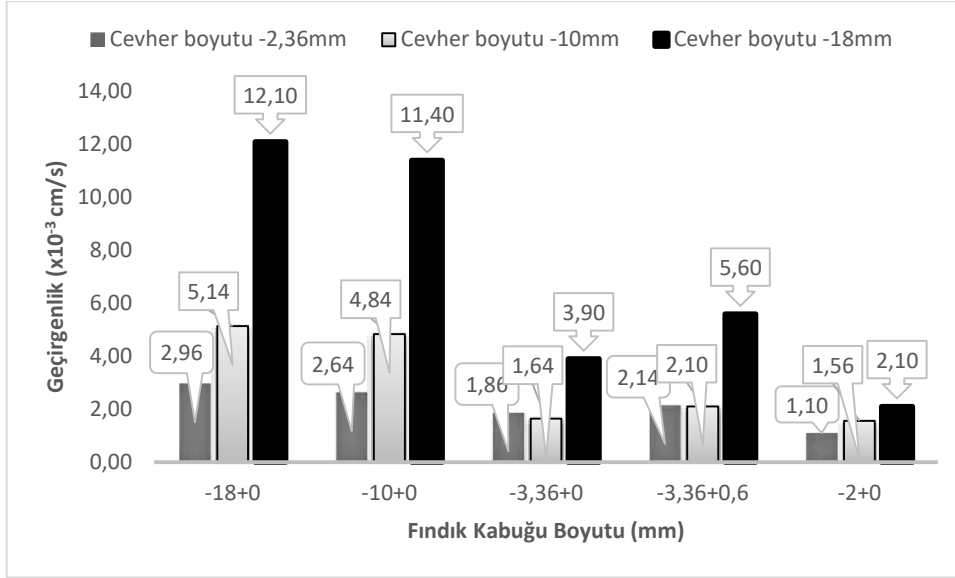
Elde edilen grafikler Şekil 7.7 - 12 arasında sunulmuştur.



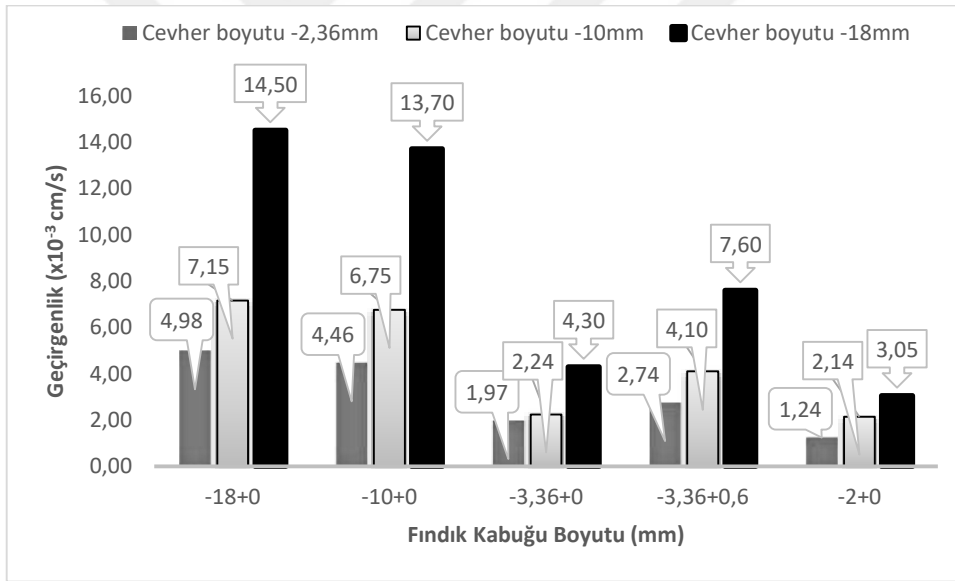
Şekil 7.7 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %2,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.



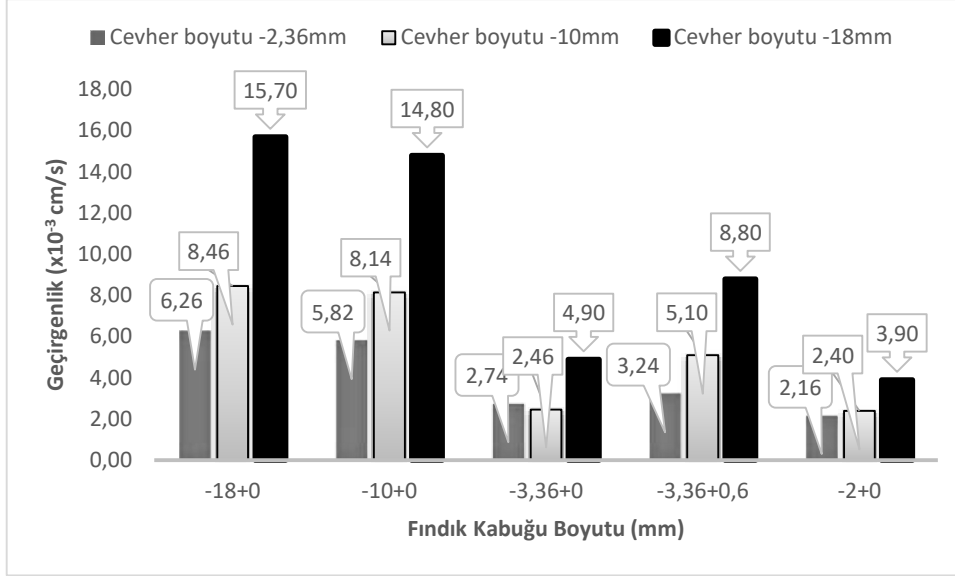
Şekil 7.8 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.



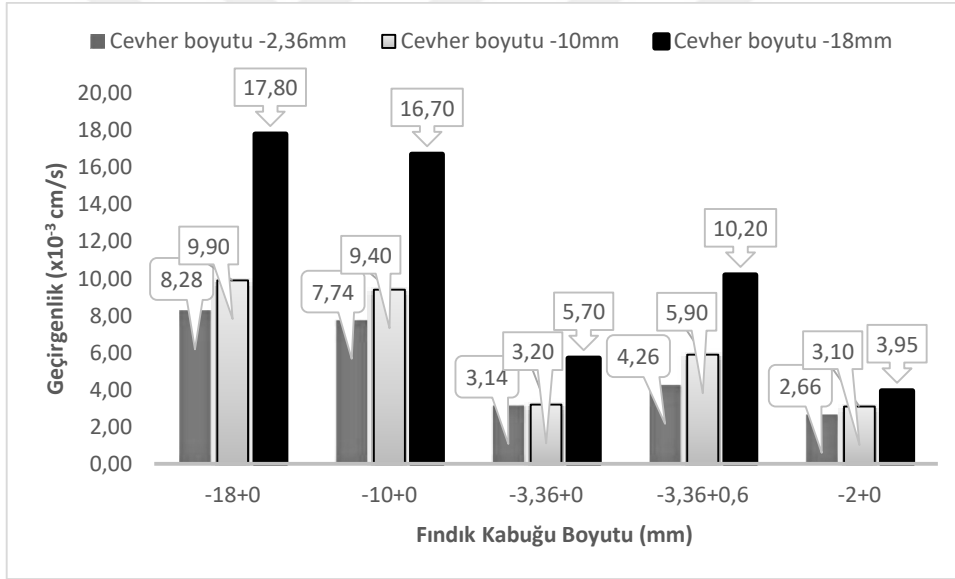
Şekil 7.9 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %7,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.



Şekil 7.10 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %10 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.



Şekil 7.11 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %12,5 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.



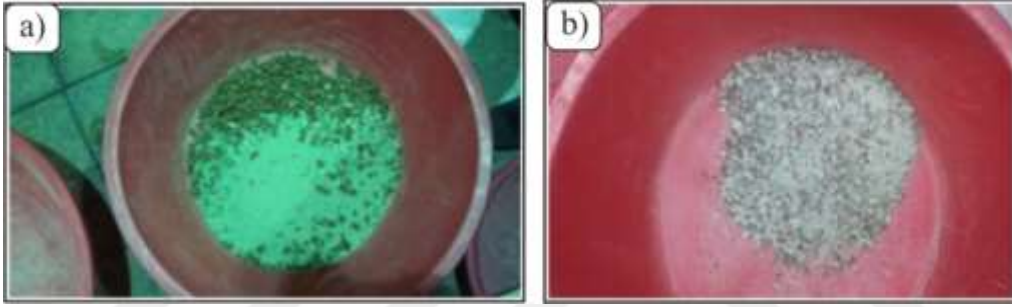
Şekil 7.12 Farklı boyutlardaki cevhere, farklı boyutlardaki fındık kabuğunun, %15 oranında karıştırılarak geçirgenlik üzerine etkisi.

3,36+0 mm ve -3,36+0,6 mm (kabuk tozları atılmış) boyutları dikkate alınmasının sebebi, fındık kabuğunun boyutu inceldikçe oluşan kabuk tozlarının geçirgenlik üzerine etkisini araştırmak olmuştur.

Numune ve fındık kabuğu karışımı ile yapılan geçirgenlik deneyleri sonucunda;

- ❖ fındık kabuğu boyutlarının incilmesiyle geçirgenliğin azaldığı, hatta boyut incelidikçe oluşan fındık kabuğu tozlarının da geçirgenliği olumsuz yönde etkilediği görülmüştür,
- ❖ fındık kabuğu yüzde karışım oranlarının artması ile de geçirgenlik değerlerinin yükselmesi gözlemlenmiştir ki bu zaten beklenen bir durumdur,
- ❖ fındık kabuğunun -18 mm ile -10 mm boyut dağılımlarındaki geçirgenlik deney sonuçlarının birbirlerine çok oldukları, belirlenmiştir.

-10 mm boyutlu fındık kabuğunun, -18 mm boyutlu (kabuğun orijinal boyutudur) fındık kabuğuna göre, numuneye daha iyi karıştığı Şekil 7.13’de görülmektedir. Bu durum fındık kabuğunun şekilsel yapısının da numune ile karışımında etkili olduğu izlenimini vermektedir.



Şekil 7.13 Numune ile fındık kabuğunun karışımları. a) -18 mm boyutundaki fındık kabuğu, b) -10 mm boyutundaki fındık kabuğu.

Şekilsel yapısı itibariyle numune ile daha iyi karışım sonucu veren -10 mm fındık kabuğunun numune ile karışımı gerçekleştirilen geçirgenlik deney görüntüsü Şekil 7.14’te yer almaktadır. Yığına fiili olarak serilen -18 mm boyuttaki cevherin geçirgenlik deney sonucuna ($1,3 \times 10^{-3}$ cm/s) yakın değerde olması nedeniyle; %5 oranında, -10 mm boyutlu fındık kabuğuyla -2,36 mm boyutlu numune karışımı ile gerçekleştirilen geçirgenlik deneyi ($1,97 \times 10^{-3}$ cm/s) çalışmamız açısından önem taşımaktadır.



Şekil 7.14 %5 oranında -10 mm boyutlu fındık kabuğu ile -2,36 mm boyutlu numune karışımının “Geçirgenlik Deney Seti” görünümü.

7.2.4 Bottle - Roll (Şişe Testi) Deneyleri

-18 mm, -10 mm, -2,36 mm ve -74 μ m olmak üzere 4 farklı boyuttaki numuneler üzerinde “Bottle - Roll” deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu boyutlardaki Au çözünme verim değerleri belirlenmiştir. Şekil 7.15’de deneylerin gerçekleştirildiği düzenek görülmektedir. “Bottle - Roll” deneyindeki amaç, boyuta bağlı olarak maksimum elde edilebilecek Au çözünme verimini belirlemektir.



Şekil 7.15 “Bottle - Roll” (Şişe Testi) deney düzeneği.

2,5 lt'lik şişelerde gerçekleştirilen "Bottle - Roll" deney koşulları aşağıda verilmektedir:

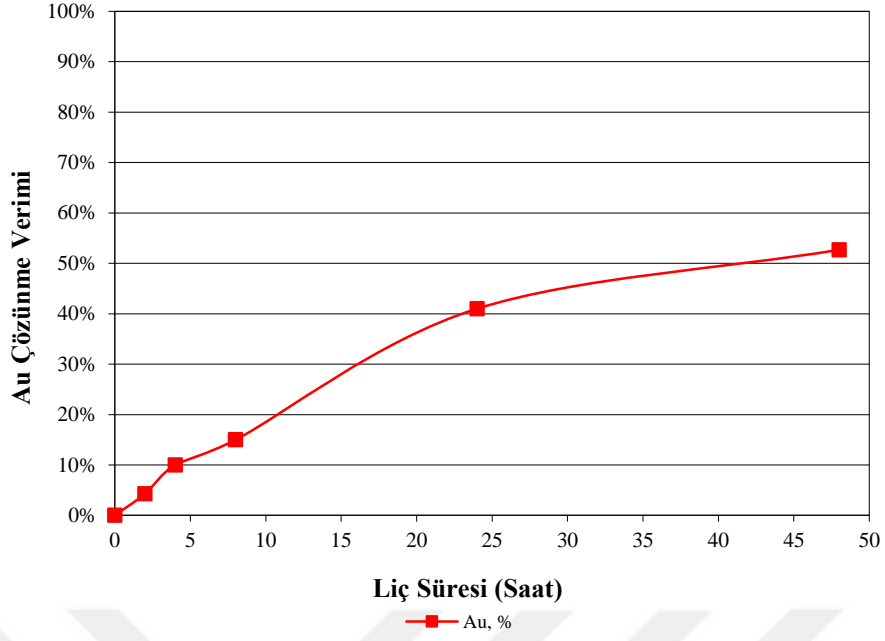
Numune miktarı : 500 gr
Su miktarı : 1 lt
pH ayarı : Kireç sütü ile
pH değeri : 10,5
NaCN miktarı : 1 gr

Deney başladıktan 2, 4, 8, 24 ve 48 saat sonralarında çözeltilerden alikot çekilerek içerisindeki Au değerleri Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS) 1100 B Pelkin Elmer Cihazında (Şekil 7.16) ölçülmüştür.

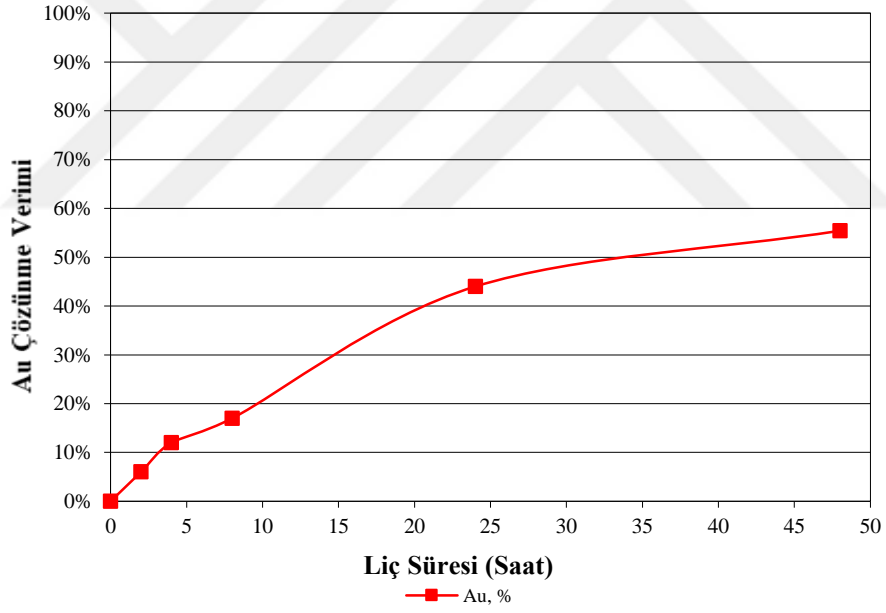


Şekil 7.16 Laboratuvarımızda yer alan Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS) Cihazı

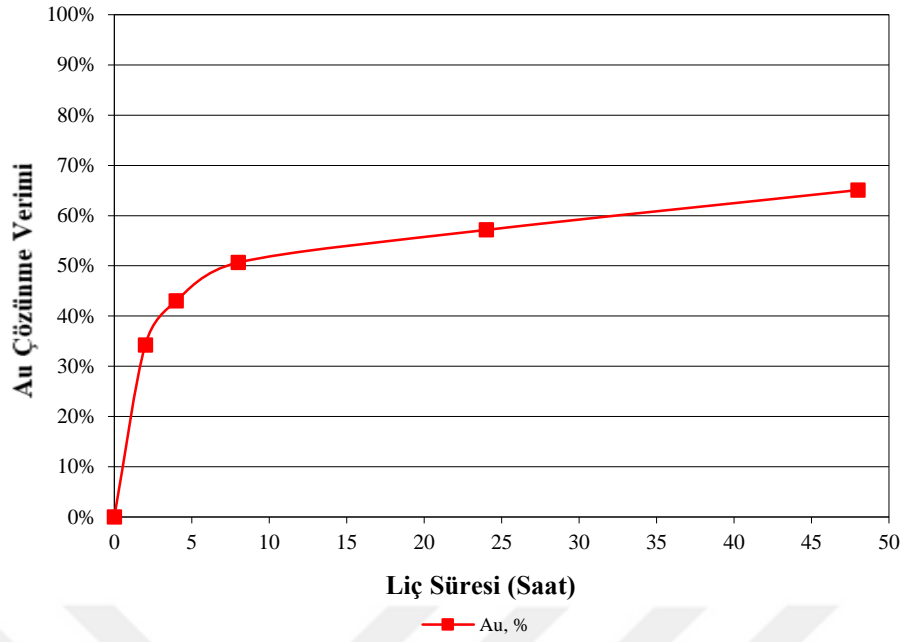
-18 mm, -10 mm, -2,36 mm ve -74 μ m boyutlarındaki numunelerle gerçekleştirilen "Bottle - Roll" deneylerinden elde edilen sonuçlar, Liç süresi - Au çözünme verimi grafik halinde Şekil 7.17 - 20 arasında yer almaktadır.



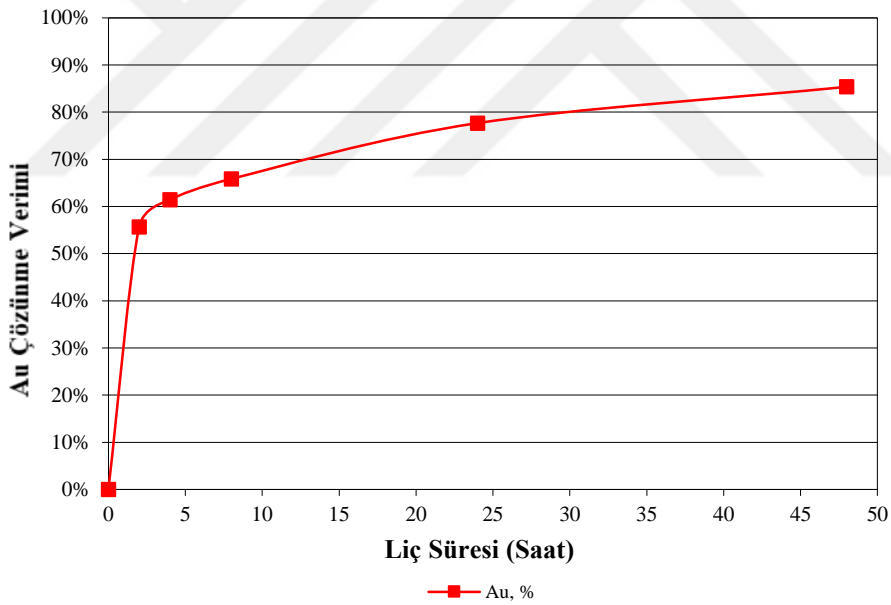
Şekil 7.17 -18 mm (orijinal) boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.



Şekil 7.18 -10 mm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.



Şekil 7.19 -2.36 mm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.



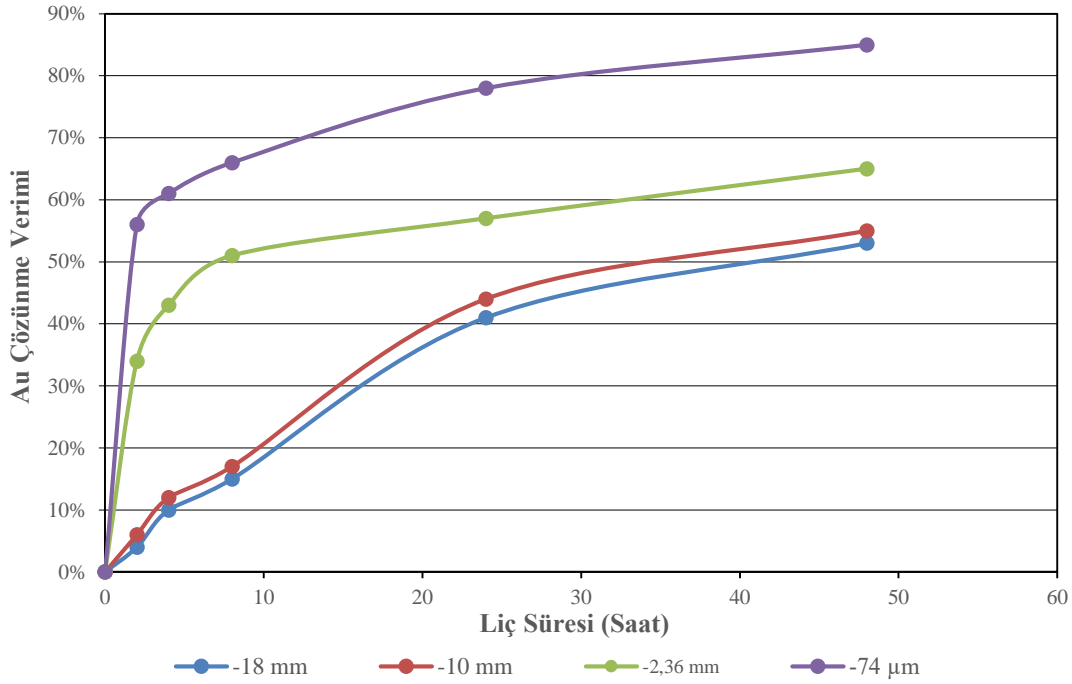
Şekil 7.20 -74 µm boyutlu numune ile yapılan “Bottle - Roll” deney sonuçları.

48 saatlik “Bottle - Roll” deneyleri sonucunda cevherin boyutuna bağılı olarak Au çözünme verimindeki değışimler belirlenmiştir. Deneylerin sonucuna göre;

- ❖ -18 mm boyutlu numunenin Au çözünme verimi : %53,
- ❖ -10 mm boyutlu numunenin Au çözünme verimi : %55,

- ❖ -2.36 mm boyutlu numunenin Au çözüme verimi : %65 ve
 - ❖ -74 µm boyutlu numunenin Au çözüme verimi : %85
- olarak belirlenmiştir.

Şekil 7.21’de yukarıdaki boyut gruplarında gerçekleşen “Bottle - Roll” deney sonuçlarının toplu olarak gösterimi yer almaktadır.



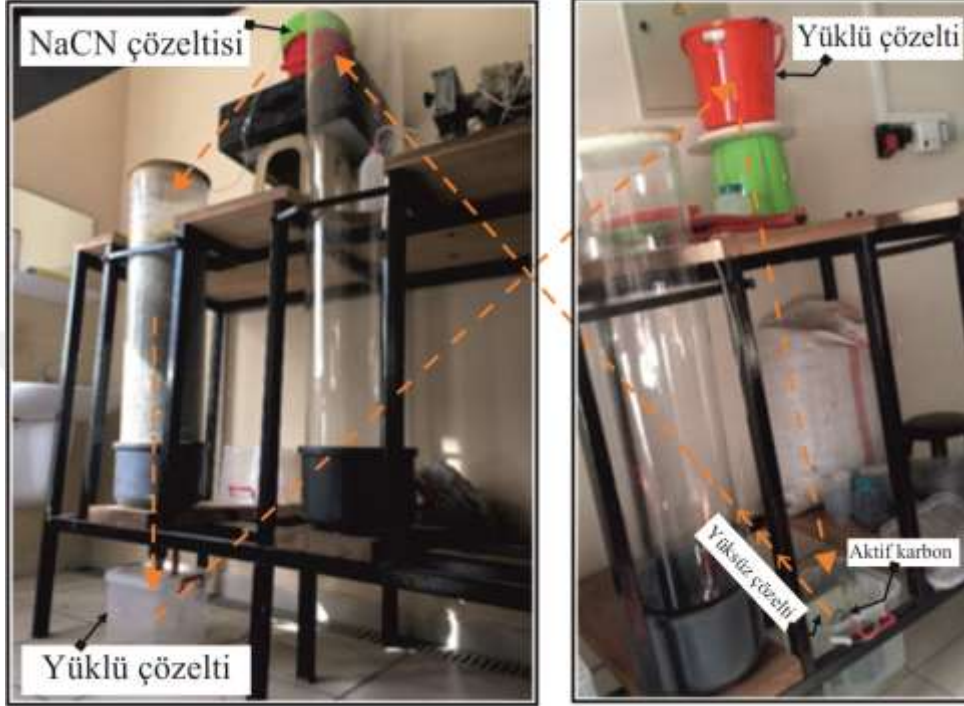
Şekil 7.21 “Bottle - Roll” deneyi liç süresi - Au çözüme verimi toplu deney sonuçları.

Grafiklerden; TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni’nde yığına fiili olarak serilen cevherden (-18 mm boyutlu) elde edilecek Au çözüme veriminin maksimum değerinin %53, bu cevherin boyutunun tamamının 2,36 mm’nin altına kırılması ile elde edilecek maksimum verimin %65 ve eğer bu cevher daha ince boyut grubuna indirilmesi durumunda ise (-74 µm) bu çözüme veriminin en fazla %85 olacağını ifade etmektedir.

7.2.5 Kolonlarda Gerçekleştirilen Liç Deneyleri

Kolonda Liç deneylerinin gerçekleştirilmesi için laboratuvarımıza bu “Doktora Tezi” kapsamında pilot ölçekli “Kolon Liç Seti” kurulmuştur. Deneylerin gerçekleştirildiği kolonlar

1,5 m yüksekliğinde ve 25 cm çapındadır. Bu sette 40 kg cevher ile çalışılmıştır. pH için 5,5 kg/ton olacak şekilde kireç sütü kullanılmış ve pH=10,5 olarak ayarlanmıştır. Yüklü çözeltiyi absorbe eden aktif karbon miktarı 330 gr olup, tamamı -3+1,18 mm arasında ve kömürden elde edilmiştir. Pilot ölçekli “Kolon Liç Setine” ait bir görünüm Şekil 7.22’de yer almaktadır.

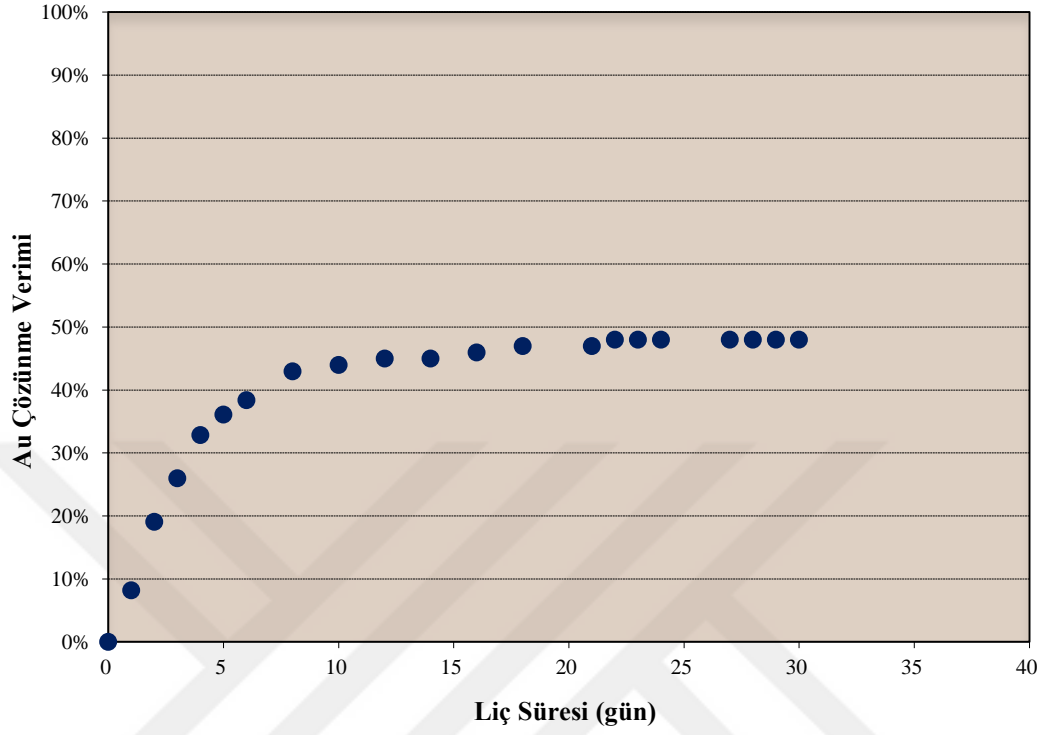


Şekil 7.22 Pilot ölçekli “Kolon Liç Setine” ait bir görüntü ve CN çözeltisinin akış yönleri.

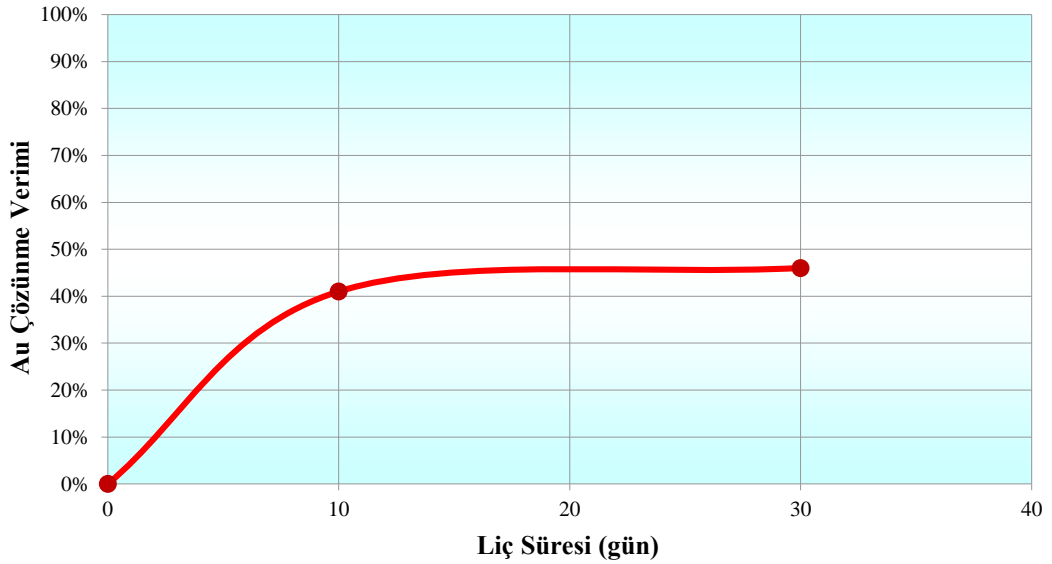
Deneylerde, NaCN miktarı 1 gr/lt olacak şekilde 5 lt çözelti halinde hazırlanmıştır. Şekil 7.22’de görüldüğü üzere NaCN çözeltisi numune üzerine damla damla verilmiş, 24 saatin sonunda kolonların altından yüklü çözelti (Au çözeltisi) alınmıştır. Daha sonra bu yüklü çözelti aktif karbona absorbe edilmiş ve oluşan yüksüz çözelti tekrar sisteme beslenmiştir. Böylece deneyler kapalı devre halinde gerçekleştirilmiştir. 30 gün boyunca hem yüklü hem de yüksüz çözeltilerden numuneler alınarak Au içerikleri belirlenmiştir. Deneyin başlangınca ilk karbon yüklemesi yapılmış, 10. günün sonunda ikinci karbon yüklemesi gerçekleştirilmiştir. 10. ve 30. günün sonunda iki ayrı zamanlarda karbonlardan numuneler alınmış ve kurutularak analize hazır hale getirilmiştir. Böylece karbondaki absorbe olan Au çözünme verimleri 10. ve 30. gün sonunda elde edilen analiz değerleri tespit edilerek belirlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

İlk olarak kolonda -18 mm ve -2,36 mm boyutlu cevherle çalışılmıştır. 30 gün liç süresi sonunda Au çözünme verileri belirlenmiştir. -18 mm boyutlu numunede Liç süresi - Au çözünme verimi

grafik halinde Şekil 7.23'te, aktif karbonda absorbe olan altının ise liç süresi - Au çözünme verimi grafik halinde Şekil 7.24'de yer almaktadır.



Şekil 7.23 -18 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim.



Şekil 7.24 -18 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi.

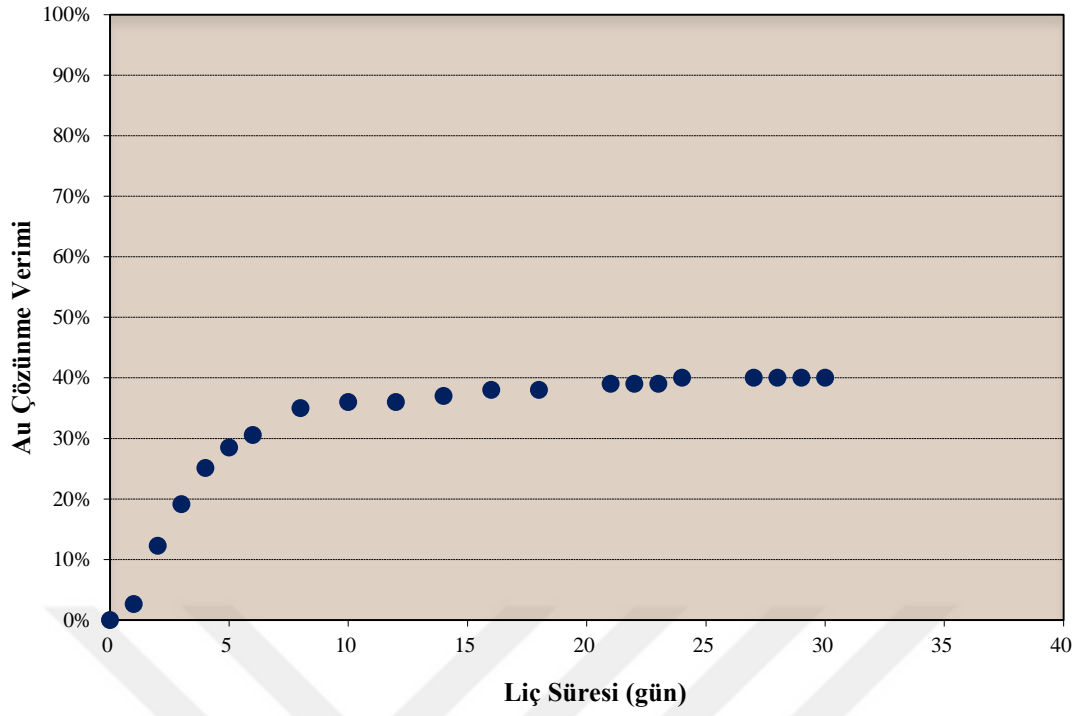
TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde yığına fiili olarak serilen (-18 mm boyutlu) cevherin 30 gün liç süresi sonundaki;

- ❖ Au çözünme verimi : %48,
 - ❖ aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi : %46
- olarak gerçekleşmiştir.

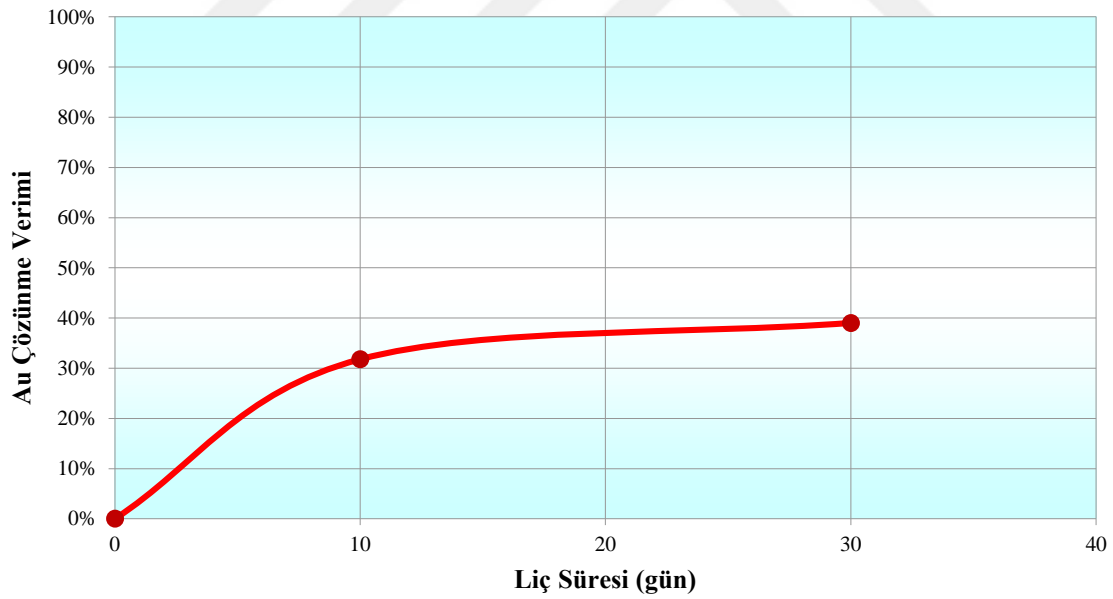
Analiz değerleri irdelendiğinde kolon deneylerinin sonuçları ile aktif karbonda absorbe olan altının analiz değerlerinin birbirlerini doğrular şekilde oldukları görülmektedir.

Bu boyutta gerçekleştirilen “Kolon Liçi” deneyi ile ” Bottle - Roll” deneyi birlikte irdelendiğinde, “Kolon Liçi” deneyinde %5 kadar Au çözünme verimindeki bir kayıp söz konusudur. Ancak “Bottle - Roll” deneyinde elde edilen çözünme verimi, söz konusu boyuttaki cevher için en fazla elde edilecek verim olduğundan “Kolon Liçi” deneylerinden daha düşük bir çözünme veriminin elde edilmesi beklenen bir durumdur.

Ardından tane serbestleşmesini arttırmak amacıyla ve cevher boyutunun etkisinin incelendiği ikinci grup “Kolon Liçi” deneylerinde -2,36 mm boyutlu numune ile çalışılmış 30 gün liç süresi sonunda Au çözünme verimleri belirlenmiştir. -2,36 mm boyutlu numunede Liç süresi - Au çözünme verimi grafik halinde Şekil 7.25’de, aktif karbonda absorbe olan altının ise liç süresi - Au çözünme verimi grafik halinde Şekil 7.26’da gösterilmektedir.



Şekil 7.25 -2,36 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim.



Şekil 7.26 -2,36 mm boyutlu numunede liç süresine bağlı olarak aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi.

Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'da, -2,36 mm boyutlu numune ile gerçekleştirilen 30 günlük liç süresi sonunda;

- ❖ Au çözüme verimi : %40,
 - ❖ aktif karbonda absorbe olan Au çözüme verimi : %39
- olarak belirlenmiştir.

Buradan, liç sonucunun -18 mm boyutlu numuneye göre daha az bir verimle Au çözünmesinin olduğu görülmektedir. Bu durum; numune içerisindeki ince boyut varlığının daha da artması sonucu hem geçirgenliğin hem de çözeltinin numune ile temasının azalması ile açıklanmaktadır.

2,36 mm altına kırılan numuneye, gerek geçirgenliğin gerekse Au çözünme veriminin artırılması hedefi ile bundan sonraki deneylerimizde bitkisel bir atık olan fındık kabuğu ilavesinin liçteki etkileri incelenmiştir.

Fındık Kabuğu Kullanım Çalışmaları

2,36 mm altına indirilmiş numuneye belirli oranlarda fındık kabuğu ilave edilerek yapılması planlanan kolon liçi deneylerine başlamadan önce fındık kabuğunun altını absorplayıp absorplamadığının tespiti yapılmıştır.

Fındık kabuğunun altını absorplayıp - absorplamadığının tespiti için fındık kabuğu boyutunun ve fındık kabuğu kullanım şeklinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla;

1. Fındık kabuğu boyutunun etkisini belirlemek üzere;

-18 mm, -10 mm, -3,36+0,6 mm ve -3,36+0 mm boyutlu olmak üzere 4 farklı boyutlu fındık kabuğu kullanılmıştır.

2. Fındık kabuğu kullanım şeklini belirlemek üzere; fındık kabuğu;

- a) altın içeren çözelti içinde 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak bekletilmiş, 24 saatin sonunda süzölmüş ve çözeltinin altın içeriğine bakılmıştır,
- b) altın içeren çözelti ile muamele edilmeden önce, sadece suda 24 saat bekletildikten sonra süzölmüş havada kuru hale getirildikten sonra altın içeren çözelti içinde 24 saat

manyetik karıştırıcıda karıştırılarak bekletilmiş, 24 saatin sonunda süzölmüş ve çözeltilinin altın içeriğine bakılmıştır,

c) altın içeren çözeltili ile muamele edilmeden önce, 1 gr/lt NaCN içeren çözeltilide (kolon liçi ile gerçekleştirilen deneylerde kullanılan NaCN miktarı ile aynıdır) 24 saat bekletildikten sonra bu çözeltiliden alınmış/süzölmüş havada kuru hale getirildikten sonra altın içeren çözeltili içinde 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak bekletilmiş (Şekil 7.27), 24 saatin sonunda süzölmüş ve çözeltilinin altın içeriğine bakılmıştır.

Tüm deneyler 500 ml saf suda 300 gr fındık kabuğu kullanılarak manyetik karıştırıcıda 250 devir/dk'da 24 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

Altın içeren çözeltili ile muamele olmadan NaCN ile muamele edilerek bir ön işlem uygulanan fındık kabuğuna, 1 gr/lt olacak şekilde NaCN ile ön işlem uygulanarak fındık kabuğu CN'e doymuş hale getirilmiştir. Şekil 7.25'te altın içeren solüsyona muamele edilmeden önce NaCN ile doymuş hale getirilen fındık kabuğunun manyetik karıştırıcıdaki bir görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 7.27 Manyetik karıştırıcıda fındık kabuğunun 1 gr/lt NaCN içeren çözeltili ile muamele edilmesi.

Fındık kabuğunun altını absorplayıp - absorplamadığının tespiti için yapılan tüm bu deneylerin sonuçları Çizelge 7.6'da sunulmaktadır.

Çizelge 7.6 Fındık kabuklarının çözeltideki altını absorplayıp absorplamadığının tayini.

Fındık kabuğu boyutu (mm)	Fındık kabuklarının çözelti içerisindeki altını absorplama miktarı (%)		
	Herhangi bir ön işlem uygulanmamış	Ön işlem; sadece suda 24 saat bekletilerek doymun hale getirilmiş	Ön işlem; NaCN'li suda 24 saat bekletilerek doymun hale getirilmiş
-18+0	12	7	0
-10+0	12	7	0
-3,36+0	58	35	0
-3,36+0,6	18	11	0

Çizelge 7.6'da görüleceği üzere fındık kabuğuna;

❖ herhangi bir ön işlem yapmadan altın içeren çözelti ile direkt muamelesi sonucunda, fındık kabuğunun boyutuna bağlı olarak çözeltideki altını absorplama miktarı irdelendiğinde; özellikle fındık kabuğunun boyutunun küçültülmesi (-3,36+0 mm) ile ortaya çıkan kabuk tozlarının fazla olduğu durumlarda çözeltideki altını daha çok absorbe ettiği anlaşılmaktadır (%58). Kabuk tozlarının atılması (-3,36+0,6 mm) ile çözeltideki altını absorbe etmesinde bu oranın azaldığı görülmektedir (%18). -18 mm ve -10 mm boyutlu numunede bu oran %12 olarak aynı kalmaktadır,

❖ altın içeren çözelti ile muamele edilmeden önce, sadece suda 24 saat bekletilerek suya doymun hale getirilmesi ile özellikle kabuk tozlarının atılmadığı (-3,36+0 mm) durumda çözeltideki altını %35 oranında absorbe ettiği görülmektedir. Ancak fındık kabuğuna hiçbir ön işlem yapılmamış durumla kıyaslandığında bu durumun, çözeltideki altını absorbe etmesindeki oranın azaldığı anlaşılmaktadır. Kabuk tozlarının atılması (-3,36+0,6 mm) ile bu durumun daha da azaldığı görülmektedir. -18 mm ve -10 mm boyutlu numuneler incelendiğinde çözeltideki altının absorbe edilmesinde bu oran %7 olarak belirlenmiştir,

❖ altın içeren çözelti ile muamele edilmeden önce, 1 gr/lt NaCN içeren çözeltide 24 saat bekletilerek NaCN'li çözelti ile doymun hale getirilen fındık kabuğu, hangi boyutlarda olursa olsun çözeltideki altını hiç absorplamadığı, belirlenmiştir.

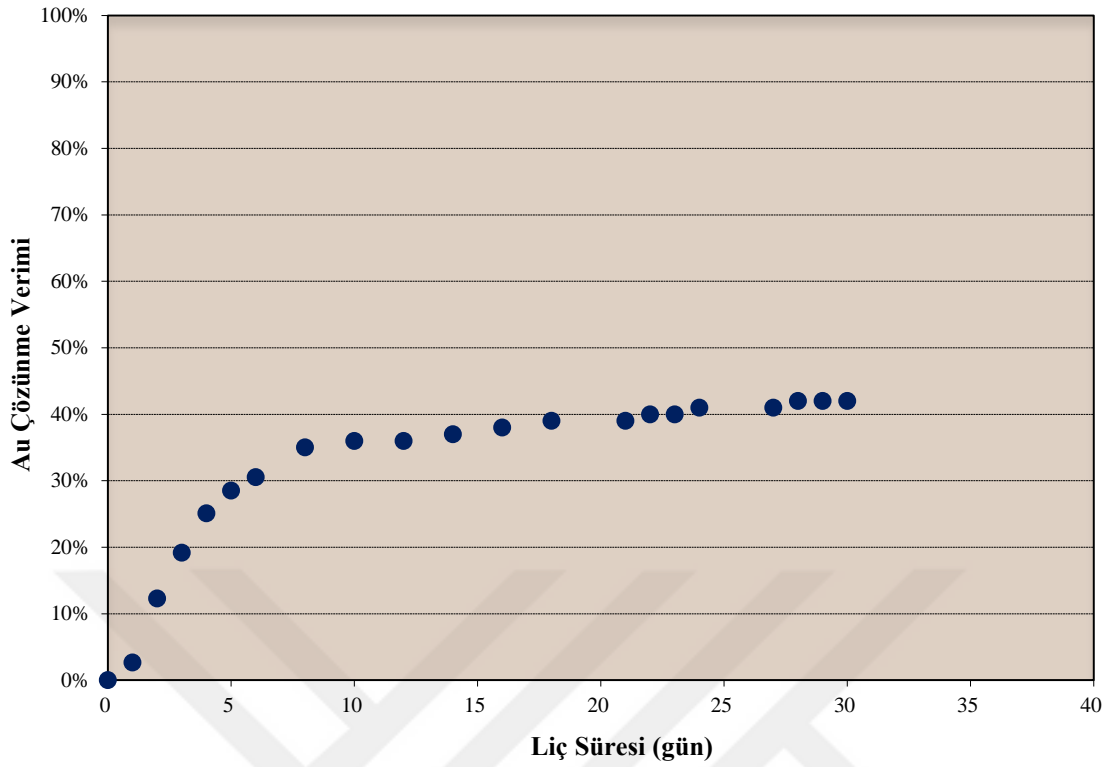
7.2.5.1 Fındık Kabuğu Kullanılarak Gerçekleştirilen Kolon - Liçi Deneyleri

Yapılan testlerin sonuçlarından NaCN ile belirli doygunluğa ulaşan fındık kabuğunun cevher içerisindeki değerli metali bünyesine almadığı belirlenmiştir. Bu önemli tespitten sonra, -2,36 mm boyutlu cevher numunesi; %2,5, %5 ve %10 oranlarında olmak üzere 3 farklı miktarlarda fındık kabuğu ile karıştırılmasına ayrıca numune ile daha iyi karışması sebebiyle fındık kabuğu boyutunun da -10 mm olmasına karar verilmiş ve bu miktar ve oranlarda kolonlara beslenmiş ve liçi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyler; daha önce fındık kabuğu kullanılmadan yapıla “Kolon Liçi” deneyleri ile aynı koşullarda olup, 40 kg cevhere fındık kabuğu ilavesi yapılmıştır. Numune ile fındık kabuğu karışımlarıyla kolonlara beslenerek gerçekleştirilen tüm deneylerde hacim sabit tutulmuş ve fındık kabuğu miktarının Au çözünme verimindeki etkisi incelenmiştir.

%2,5 Oranındaki Fındık Kabuğuyla Gerçekleştirilen Kolon - Liçi Deneyleri

İlk olarak -2,36 mm boyutlu numune hacimce %2,5 oranında fındık kabuğu ile karıştırılmıştır. 30 gün süresince kolonda kapalı devre halinde liçi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, liçi süresi -Au çözünme verimi grafik halinde Şekil 7.28’de sunulmaktadır.

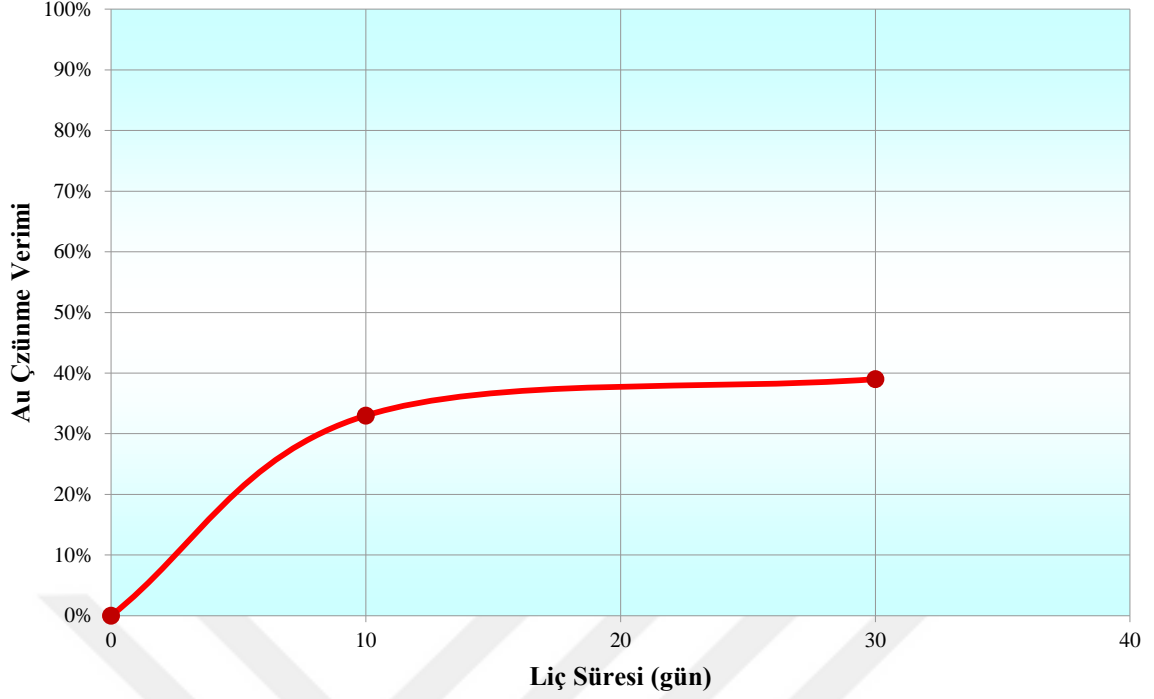


Şekil 7.28 -2,36 mm boyutlu numune ve %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.

%2,5 oranında fındık kabuğu ile yapılan deney sonucunda Au çözünme verimi liç süresine bağlı olarak değişmektedir. İlk 10 gün içerisinde Au çözünme verimi %35'lere ulaşmış, 10 günden sonraki liç süresindeki artış ile Au çözünme verimindeki artış hızı yavaşlamıştır. 25. günde %40'lara çıkan bu verim 27. ve 28. günde %42 olup 30. günde de bu değerde olduğuna karar verilerek liç sonlandırılmıştır.

Şekil 7.28'de görüleceği üzere fındık kabuğu kullanmadan yapılan liç işleminde 30. günün sonunda Au çözünme verimi %40 olup, %2,5 oranında fındık kabuğu kullanımı bu değeri 2 puan arttırmıştır.

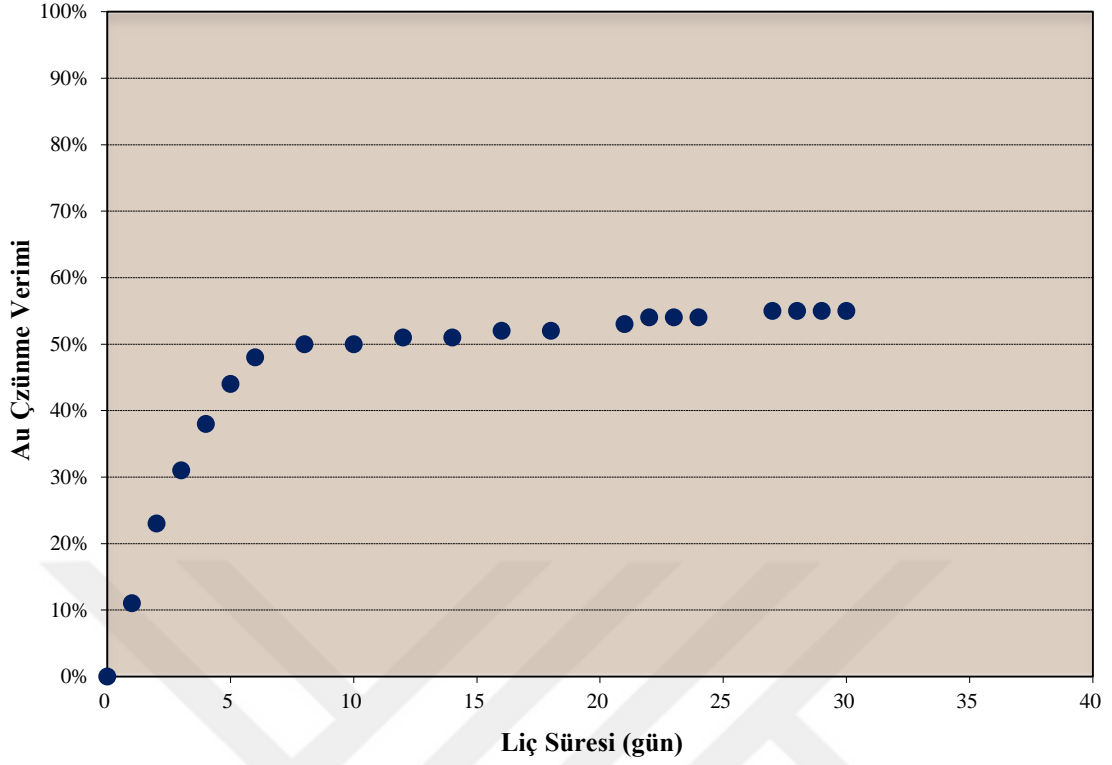
Ayrıca Şekil 7.29'da görüleceği üzere karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi grafiğine göre, ilk 10 gün içinde kazanım hızlı bir şekilde %30'lara ulaşmış, 10 gün ile 30 günlük aralık süresinde daha yavaş bir artış trendi izleyerek 30. günün sonunda %40'ları bulmuştur.



Şekil 7.29 -2,36 mm boyutlu numune ve %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda absorbe olan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.

%5 Oranındaki Fındık kabuğuyla Gerçekleştirilen Kolon - Liçi Deneyleri

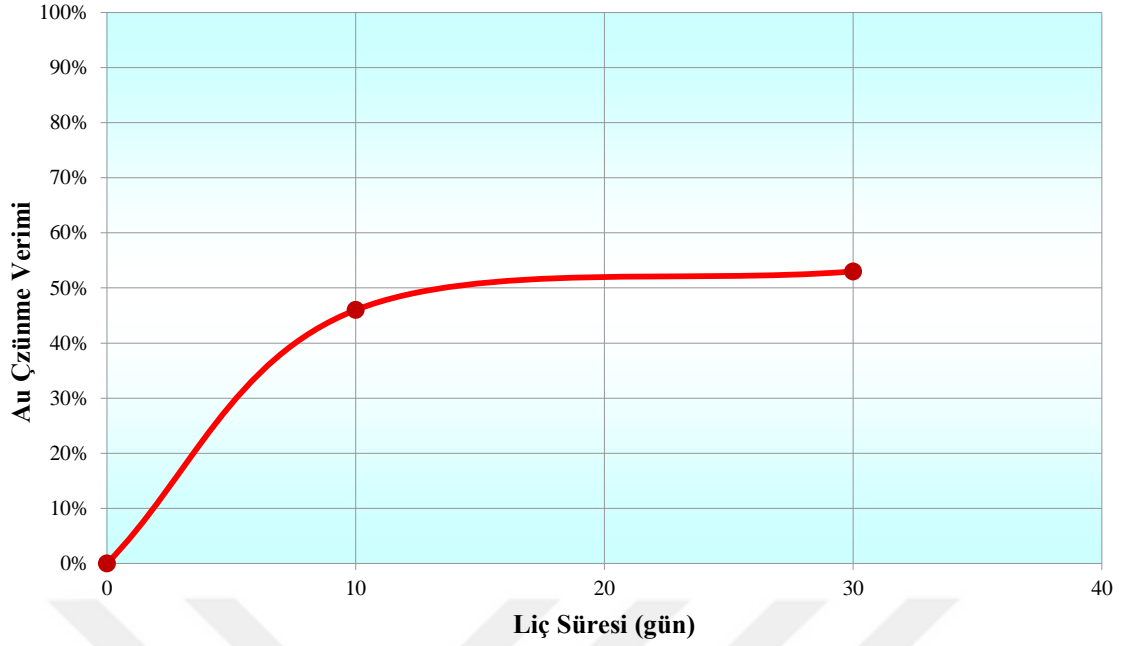
%5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen deneyde liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim grafik halinde Şekil 7.30'da, karbonda absorbe olan altının liç süresi - %Au çözünme verimi Şekil 7.31'de verilmiştir.



Şekil 7.30 -2,36 mm boyutlu numune ve %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.

Şekil 7.30’da görüleceği üzere, ilk 5 gün sonunda altının %44’lük bir kazanıma ulaştığı, 15. günün sonunda %50’ler civarında olan kazanımın 30. günün sonunda %55 değerine ulaştığı görülmektedir.

%5 fındık kabuğu ile yapılan liç deneyinde 10. gün sonunda kazanılan Au değeri %50 civarındadır. Bu değer yine aynı günlerdeki %2,5 oranındaki fındık kabuğu ile gerçekleştirilen liç deneyine göre (%36) %14 daha fazla olduğu, hiç fındık kabuğu ilave etmeksizin -18 mm boyutlu numune (yığına fiili olarak serilen) ile yapılan liç deneyi sonucuna (%44) göre 6 puanlık daha fazla bir kazanım olduğu belirlenmiştir.

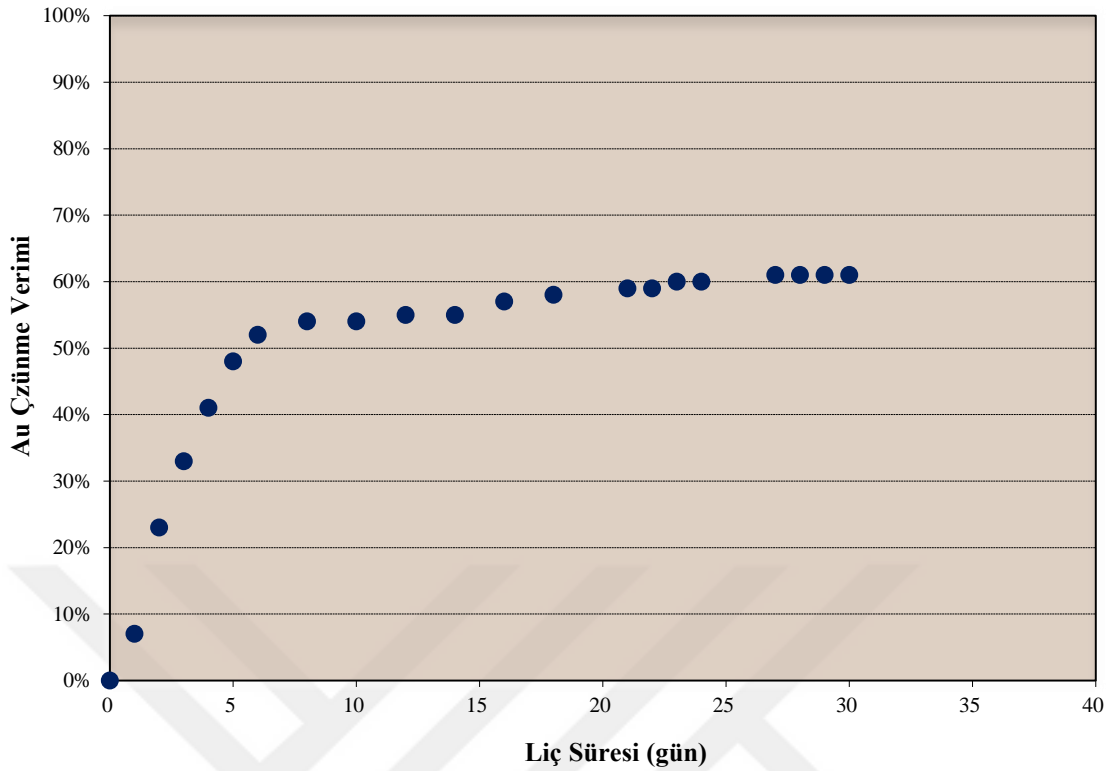


Şekil 7.31 -2,36 mm boyutlu numune ve %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.

Şekil 7.31’de görüleceği üzere karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi grafiğine bakıldığında, ilk 10 gün içinde çözünmenin hızlı bir şekilde %46’lara ulaştığı, 10 gün ile 30 günlük aralık süresinde daha yavaş bir artış trendi izleyerek 30. günün sonunda %53’leri bulduğu görülmektedir.

%10 Oranındaki Fındık kabuğuyla Gerçekleştirilen Kolon - Liçi Deneyleri

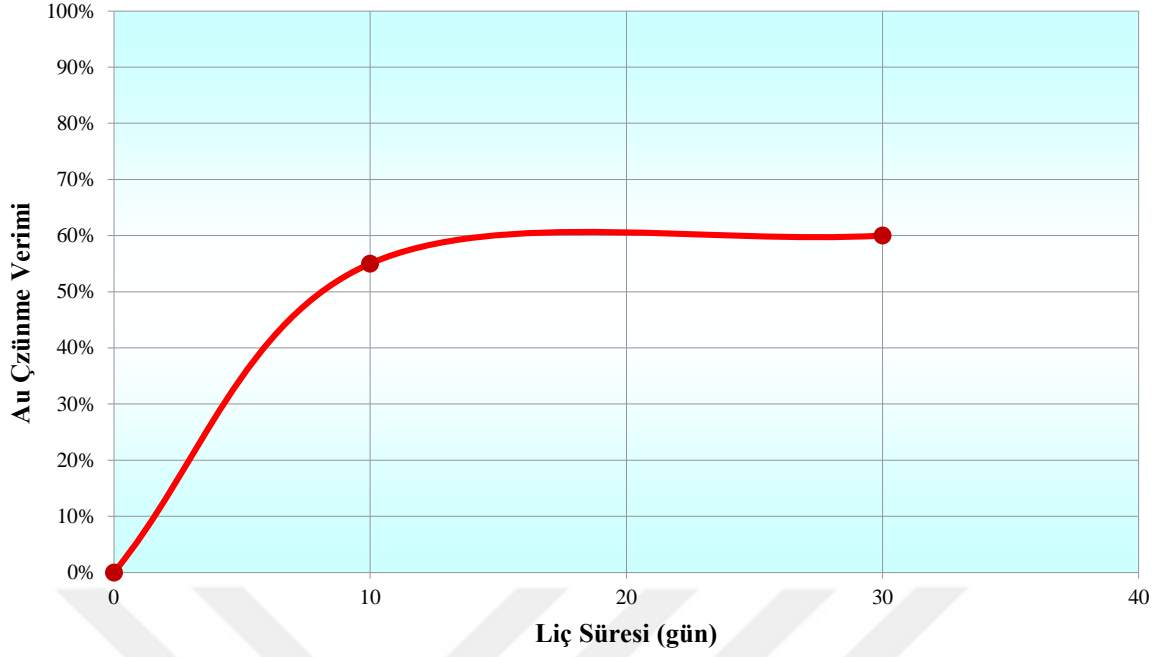
%10 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen deneyde liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişim grafik halinde Şekil 7.32’de, karbonda absorbe olan altının Liç süresi - %Au çözünme verimi Şekil 7.33’de yer almaktadır.



Şekil 7.32 -2,36 mm boyutlu numune ve %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilen liç süresi - %Au çözünme verimi.

Şekil 7.32’de görüleceği üzere, %10 oranında fındık kabuğu ile gerçekleştirilen deneye bakıldığında, 30. gün sonunda elde edilen çözünme veriminin %61 gibi bir değere kadar ulaşıldığı gözlenmiştir. Bu durum Bottle - Roll testleri ile elde edilen deney sonucuna (%65) oldukça yakın bir değerdedir.

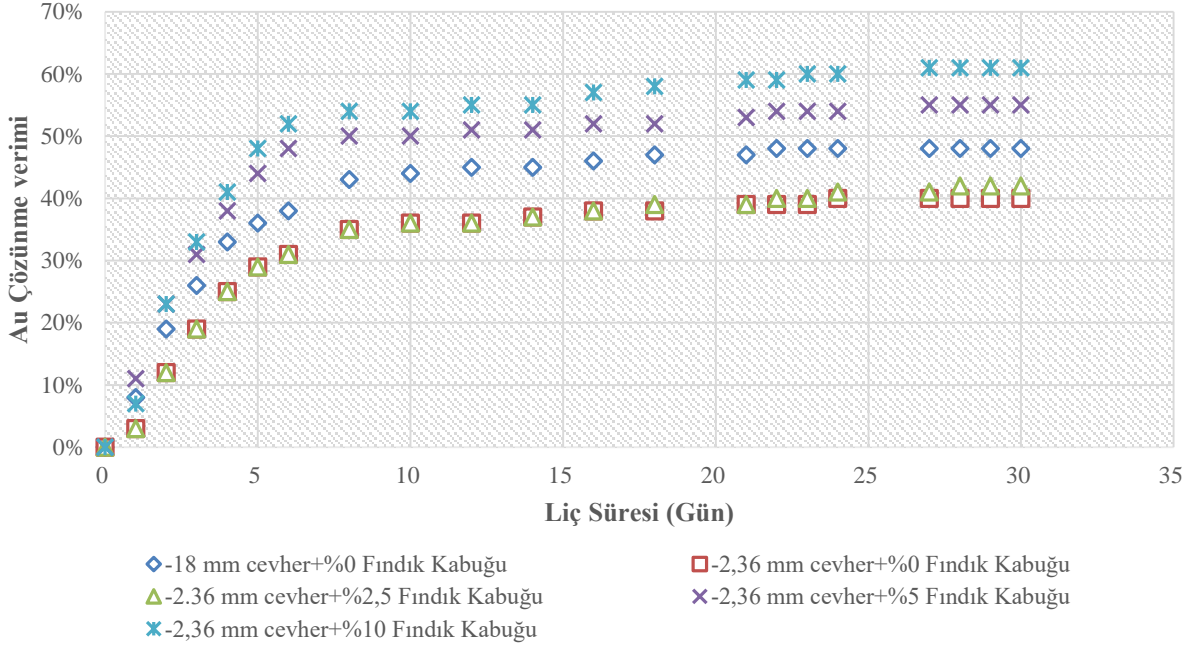
%10 fındık kabuğu ile yapılan liç deneyinde 10. gün sonunda çözülen Au değeri %54 civarındadır. Bu değer yine aynı günlerdeki %2,5 oranındaki fındık kabuğu ile gerçekleştirilen liç deneyine göre (%36) %18 daha fazla olduğu, hiç fındık kabuğu ilave etmeksizin -18 mm boyutlu numune (yığına fiili olarak serilen) ile yapılan liç deneyi sonucuna (%44) göre %10 ve %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile denenen liç deneyine (%50) göre %4 daha fazla bir kazanım olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.33 -2,36 mm boyutlu numune ve %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile elde edilen karbonda tutulan altının liç süresi - %Au çözünme verimi.

Şekil 7.33’de görüleceği üzere %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile karbonda absorbe olan altının liç süresi - %Au çözünme verim grafiğine bakıldığında, ilk 10 gün içinde gerçekleşen kazanım %55, 30. günün sonunda %60’ları bulduğu görülmektedir.

-18 mm boyutlu numune ile fındık kabuğu ilave etmeksizin ve -2,36 mm boyutlu numune ile hem fındık kabuksuz hem de %2,5, %5 ve %10 fındık kabuğu ilavesi ile yapılan liç deneylerinde, liç süresine bağlı olarak Au çözünme verimindeki değişimler, karşılaştırma yapılabilmesi için tek bir grafik üzerinde Şekil 7.34’de gösterilmiştir.



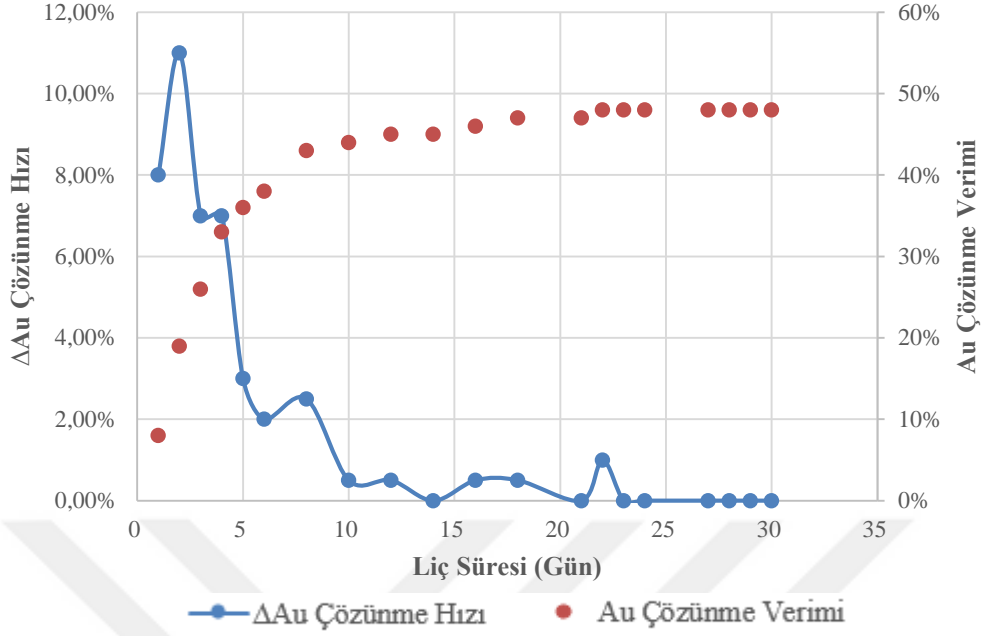
Şekil 7.34 Kolonlarda gerçekleştirilen liç deneylerinin liç süresi - % Au çözünme verimi toplu deney sonuçları.

Şekil 7.34’de kolonlarda gerçekleştirilen liç deney sonuçları incelendiğinde;

- ❖ TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni’nde fiili olarak yığına serilen boyutta (-18 mm) cevhere fındık kabuğu ilave edilmeksizin yapılan liç işleminde 30 günlük liç süresi sonunda Au çözünme verimi %48 olarak belirlenmiş,
- ❖ -2,36 mm boyutlu cevherle fındık kabuğu ilave edilmeksizin yapılan liç işleminde 30 günlük liç süresi sonunda Au çözünme verimi %40 olarak belirlenmiş,
- ❖ -2,36 mm boyutlu cevhere %2,5, %5 ve %10 fındık kabuğu ilave edilerek gerçekleştirilen liç işleminde 30 günlük liç süresi sonunda Au çözünme verimleri sırasıyla %42, %55 ve %61 olarak belirlenmiş olup, tüm bu sonuçları içeren bulgular “Ek Açıklamalar” kısmında sunulmuştur.

7.2.6 Siyanür Çözeltisinin Cevherdeki Altını Çözme Hızındaki Değişimlerinin İncelenmesi

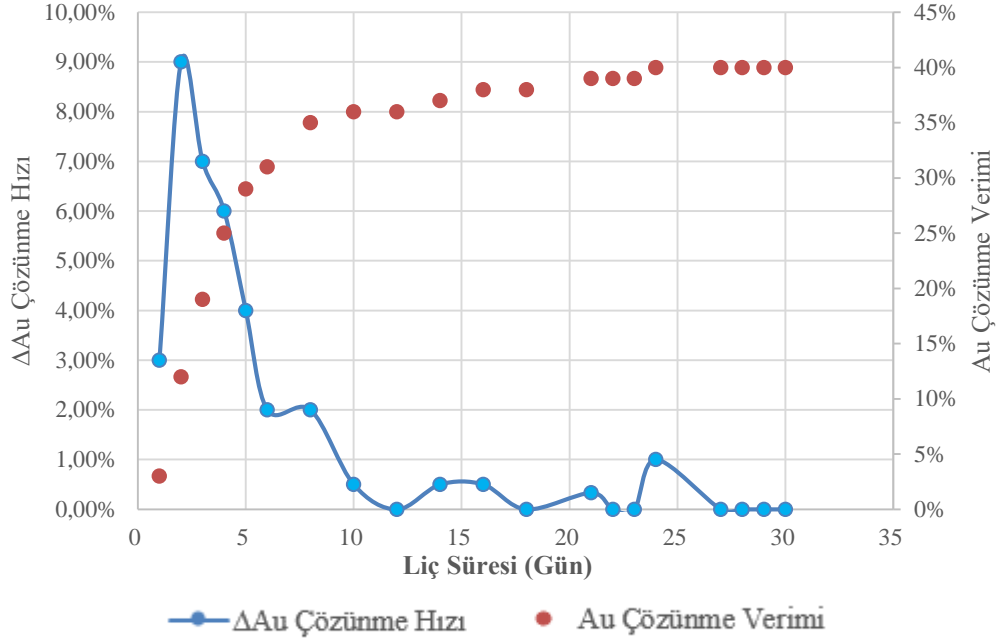
Siyanür çözeltisinin cevher içerisindeki altını çözme (kazanma) hızları incelenmiş, liç süresine bağlı olarak Au çözünme hızındaki değişim ve Au çözünme verimi grafik halde Şekil 7.35 ile 37 arasında verilmiştir.



Şekil 7.35 Siyanür çözeltilisinin -18 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.

Şekil 7.35'e göre, Uşak Kışladağ Altın Madenin'nde yığına fiili olarak serilen (-18 mm) boyutta gerçekleştirilen liç deneyinde siyanür çözeltilisinin Au çözünme hızı incelendiğinde;

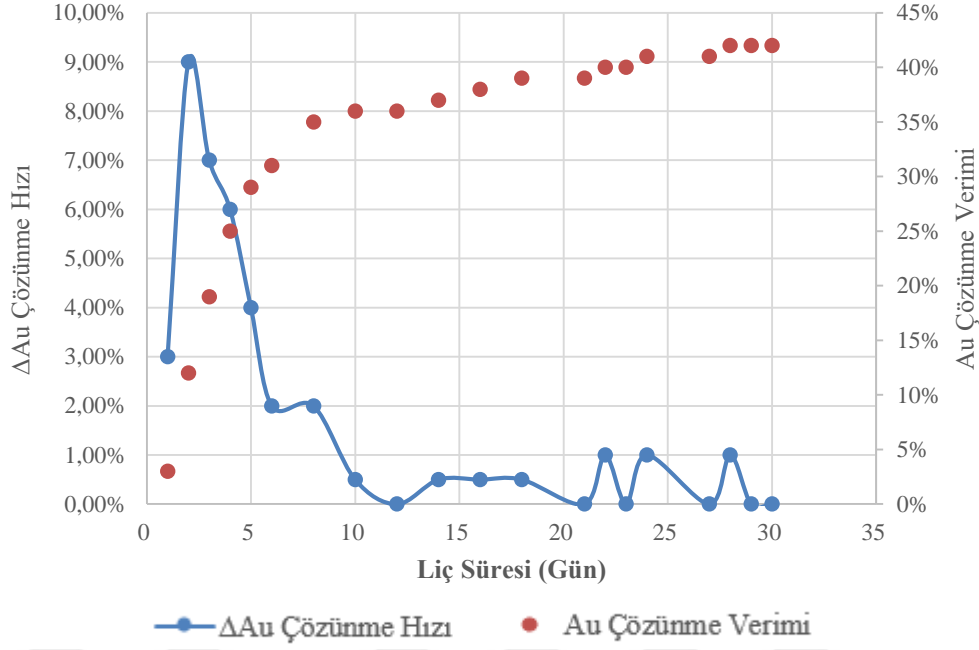
- ❖ ilk günlük kazanımın %8,
- ❖ ikinci günün ilk güne göre kazanımı %11 ve
- ❖ sonraki günlerin bir önceki güne göre kazanım hızlarının düştüğü, belirlenmiştir.



Şekil 7.36 Siyanür çözeltilisinin -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.

Şekil 7.36'ya göre, -2,36 mm boyutta ve fındık kabuğu ilavesiz olarak gerçekleştirilen liç deneyinde siyanür çözeltilisinin Au çözünme hızı incelendiğinde;

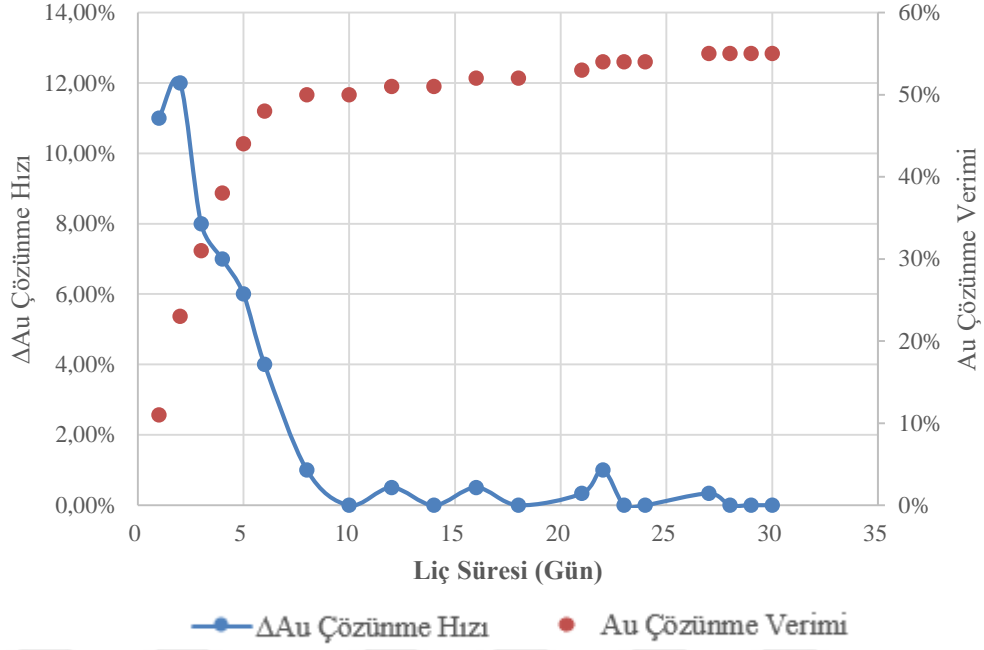
- ❖ ilk günlük kazanımın %3,
- ❖ ikinci günün ilk güne göre kazanımı %9 ve
- ❖ sonraki günlerin bir önceki güne göre kazanım hızlarının düştüğü, belirlenmiştir.



Şekil 7.37 Siyanür çözeltisinin %2,5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.

Şekil 7.37'ye göre, -2,36 mm boyutta ve %2,5 fındık kabuğu ilavesi ile gerçekleştirilen liç deneyinde siyanür çözeltisinin Au çözünme hızı incelendiğinde;

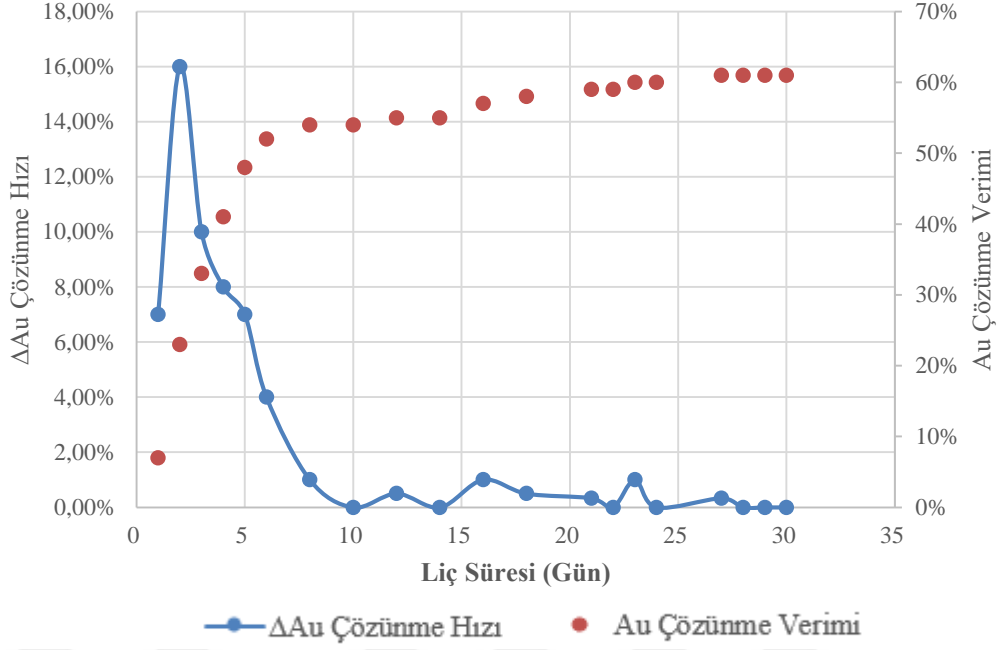
- ❖ ilk günkü kazanımın %3,
- ❖ ikinci günün ilk güne göre kazanımı %9 ve
- ❖ sonraki günlerin bir önceki güne göre kazanım hızlarının düştüğü, belirlenmiştir.



Şekil 7.38 Siyanür çözeltisinin %5 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.

Şekil 7.38'e göre, -2,36 mm boyutta ve %5 fındık kabuğu ilavesi ile gerçekleştirilen liç deneyinde siyanür çözeltisinin Au çözünme hızı incelendiğinde;

- ❖ ilk günlük kazanımın %11,
- ❖ ikinci günün ilk güne göre kazanımı %12 ve
- ❖ sonraki günlerin bir önceki güne göre kazanım hızlarının düştüğü, belirlenmiştir.



Şekil 7.39 Siyanür çözeltisinin %10 oranında fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede Au çözünme verimi ve Au çözünme hızındaki değişimi.

Şekil 7.39'a göre, -2,36 mm boyutta ve %10 fındık kabuğu ilavesi ile gerçekleştirilen liç deneyinde siyanür çözeltisinin Au çözünme hızı incelendiğinde;

- ❖ ilk günlük kazanımın %7,
- ❖ ikinci günün ilk güne göre kazanımı %16 ve
- ❖ sonraki günlerin bir önceki güne göre kazanım hızlarının düştüğü, belirlenmiştir.

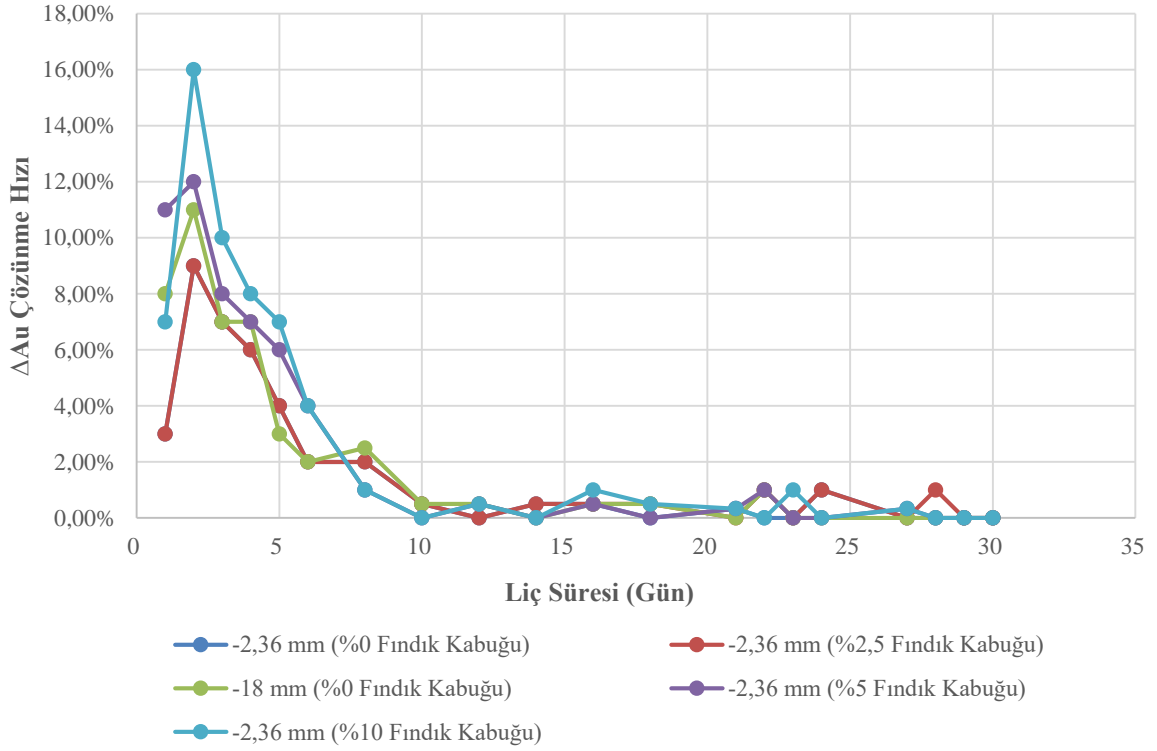
Burada ΔAu çözünme hızı;

siyanür çözeltisinin güne bağlı olarak cevher içerisindeki altını çözme hızındaki değişimini ifade etmektedir. Yani;

$$\Delta Au \text{ Çözünme Hızı} = Au \text{ Çözünme Hızı}_T - Au \text{ Çözünme Hızı}_{T-1} \quad (7.2)$$

T = Liç Süresi (gün)

-18 mm boyutlu numune ile fındık kabuğu ilave etmeksizin ve -2,36 mm boyutlu numune ile hem fındıkkabuksuz hem de %2,5, %5 ve %10 fındık kabuğu ilavesi ile yapılan liç deneylerinde, siyanür çözeltilisinin cevher içerisindeki altını çözme (kazanma) hızlarındaki değişimlerinin durumları, karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla tek bir grafik üzerinde Şekil 7.40'da gösterilmiştir



Şekil 7.40 Siyanür çözeltilisinin 30 gün boyunca cevher içerisindeki altını çözme (kazanma) hız değişimleri.

Şekil 7.40 incelendiğinde;

- ❖ siyanür çözeltilisinin altını çözme (kazanma) hızının ilk gün itibari ile en yüksek olduğu deneyin %5 fındık kabuğu ilaveli -2,36 mm boyutlu numunede görüldüğü,
- ❖ ikinci günden itibaren çözme hızının %10 fındık kabuğu ilaveli -2,36 mm boyutlu numunede gerçekleştiği,
- ❖ en düşük çözme hızlarının ise yine -2,36 mm boyutlu numunede fakat %0 ve %2,5 fındık kabuğu ilaveli deneylerde görüldüğü,
- ❖ yapılan deneylerde 10. günün sonunda kümülatif olarak en yüksek altın çözünme hızlarının meydana geldiği, daha sonraki günlerde bu durumun giderek azaldığı ve durağan bir duruma geldiği belirlenmiştir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Bu doktora çalışmasında; TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde yığına fiili olarak serilen -18 mm boyutlu olan cevher; tane serbestliğini artırmak için 2,36 mm'nin altına kırılmış ve bu boyuta kırılan cevherin geçirgenlik ve dolayısı ile de altın çözünme verimi araştırılmıştır.

Öncelikle işletmede yığına fiili olarak serilen numunenin boyut dağılımı belirlenmiş ve malzemenin %50'ine yakın bir boyutunun 2,36 mm'nin altında olduğu tespit edilmiştir.

Boyut gruplarında Au içeriklerine bakılmış, en yüksek Au tenörlerinin 2,36 mm'den daha ince boyutlarda olduğu belirlenmiş, cevher numunesinin ortalama Au tenörünün 1,32 ppm olduğu saptanmıştır.

-18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyutlu cevherin geçirgenlik deneyleri yapılmış sırasıyla; $1,3 \times 10^{-3}$ cm/s, $1,2 \times 10^{-3}$ ve $0,62 \times 10^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Bu durumun, boyut dağılımları ile de dengeli sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Geçirgenlik deney sonuçlarına göre, cevherin boyutu küçüldükçe, cevher içerisindeki ince tane boyut varlığının kil davranışı meydana getirmesi sebebiyle geçirgenlik azalmaktadır.

Cevher üzerindeki geçirgenlik deney sonuçlarından yola çıkarak, geçirgenliği artırmak için bir dizi deneyler daha gerçekleştirilmiştir. Bunun için bir bitkisel atık olan ve ülkemiz açısından bulunma sorunu olmayan fındık kabuğu kullanılmıştır.

Numune ile fındık kabuğu karışımları ile gerçekleştirilen geçirgenlik deneylerinde;

1- cevher boyutunun etkisini belirlemek için: -18 mm, -10 mm ve -2,36 mm boyutlu cevher olmak üzere 3 farklı boyutta cevherle çalışılmış,

2- findık kabuğu boyutunun etkisini belirlemek için: -18 mm, -10 mm, -3,36+0 mm, -3,36+0,6 mm ve -2 mm boyutlarda olmak üzere 5 farklı boyutta hazırlanan findık kabuğu ile çalışılmış,
3- findık kabuğu miktarının etkisini belirlemek için: %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5 ve %15 oranlarında, çalışılmıştır.

Deney sonuçlarından;

- ❖ findık kabuğu boyutlarının incilmesiyle geçirgenliğin azaldığı, hatta boyut incelidikçe oluşan findık tozlarının da geçirgenliği olumsuz yönde etkilediği görülmüş,
- ❖ kullanılan findık kabuğu miktarının artması ile geçirgenlik değerlerinin yükseldiği gözlenmiş (bu zaten beklenen bir durumdur),
- ❖ -18 mm ve -10 mm boyutlu findık kabuğunun, numune ile karışım oranları da dikkate alınarak değerlendirildiğinde, her iki boyutta gerçekleşen deneylerin geçirgenlik sonuçlarının birbirlerine çok yakın oldukları saptanmış,
- ❖ -10 mm boyutlu findık kabuğunun, -18 mm boyutlu findık kabuğuna göre; numune ile daha iyi karıştığı, belirlenmiştir.

Numune boyutuna bağlı maksimum elde edilebilecek Au çözünme verimini belirlemek için “Bottle - Roll (Şişe Testi)” deneyleri gerçekleştirilmiştir. -18 mm, -10 mm, -2,36 mm ve -74 µm boyutlarında . 48 saat süren deneyler sonucunda;

- ❖ -18 mm boyutlu malzemenin altın çözünme verimi %53, -10 mm boyutlu malzemenin %55, -2,36 mm boyutlu malzemenin %65 ve -74 mikron boyutlu malzemenin altın çözünme verim değeri ise %85 olarak belirlendiği,
- ❖ -18 mm ile -10 mm boyutlarında gerçekleştirilen deney sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu,
- ❖ -2,36 mm boyutlu malzemedede en fazla altın çözünme veriminin %65 olacağı,
- ❖ bu numune için altın çözünme verim değerinin en fazla %85 civarlarında gerçekleşeceği (-74 mikron boyutlu malzemededen anlaşılmaktadır) belirlenmiştir.

Numune ve findık kabuğu karışımları ile yapılan liç deneylerine geçilmeden önce, findık kabuğunun altını bünyesine absorplayıp absorplamadığının veya ne kadar absorplayacağını

tespiti için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde -18 mm, -10 mm, -3,36+0 mm ve 3,36+0,6 mm fındık kabuğu boyutları dikkate alınmıştır. Bu grup deneylerin sonucunda;

❖ herhangi bir ön işlem yapmadan altın içeren çözelti ile direkt muamelesi sonucunda, fındık kabuğunun boyutuna bağlı olarak çözeltideki altını absorplama miktarı irdelendiğinde; özellikle fındık kabuğunun boyutu küçüldükçe meydana çıkan kabuk tozlarının etkisi -3,36+0 mm boyutlu fındık kabuğu kullanarak denenmiştir. Deneyden, kabuk tozlarının çözeltideki altını daha çok absorbe ettiği belirlenmiştir (%58). Kabuk tozlarının atılması (3,36+0,6 mm boyutlu fındık kabuğu) ile çözeltideki altını absorbe etmesinde bu oranın azaldığı görülmektedir (%18). -18 mm ve -10 mm boyutlu numunede kabuk tozları hemen hemen oluşmadığından bu oran aynı kalmaktadır. Ancak yine bu boyutlarda da çözeltideki altını absorpladığı saptanmıştır (%12).

❖ altın içeren çözelti ile muamele edilmeden önce, sadece suda 24 saat bekletilerek suya doymun hale getirilmesi ile özellikle kabuk tozlarının atılmadığı durumda çözeltideki altını %35 oranında absorbe ettiği görülmektedir. Ancak fındık kabuğuna hiçbir ön işlem yapılmamış durumla kıyaslandığında bu durumun, çözeltideki altını absorbe etmesindeki oranın azaldığı anlaşılmaktadır. Kabuk tozlarının atılması ile bu durumun daha da azaldığı görülmektedir (%11). -18 mm ve -10 mm boyutlu numuneler incelendiğinde çözeltideki altının absorbe edilmesinde bu oran %7 olarak belirlenmiştir,

❖ altın içeren çözelti ile muamele edilmeden önce, kolonlarda gerçekleştirilen liç deneylerinde kullanılan 1 gr/lit NaCN miktarı (bu miktar; TÜPRAG Uşak Kışladağ Altın Madeni'nde halen kullanılan ve çevre standartlarına uygun miktardır) dikkate alınarak gerçekleştirilen deneylerde fındık kabuğu NaCN çözeltisinde 24 saat bekletilmiş ve NaCN'li çözeltiye doymun hale getirilmiştir. Deney sonucuna göre, fındık kabuğunun hangi boyutlarda olursa olsun çözeltideki altını hiç absorplamadığı belirlenmiş, deneylerde fındık kabuğunun 24 saat 1 gr/lit NaCN çözeltisi ile bekletilerek doymun hale getirildikten sonra kullanımına karar verilmiş ve "Kolon Liçi" deneylerinde bu şekilde kullanılmıştır,

❖ ayrıca kabuk tozlarının, her ne kadar NaCN ile doymun hale getirilerek çözeltideki altını absorbe etmeyeceği bilirse de bu tozların geçirgenliği olumsuz yönde etkileyeceği düşüncesi ile liç işlemlerinde -3,36+0 ve 3,36+0,6 mm boyutlu fındık kabuğunun kullanılmaması gerektiği belirlenmiştir. Bu nedenle -10 mm boyutlu fındık kabuğunun da -18 mm fındık kabuğuna göre numune ile daha iyi karıştığı ve kabuk tozlarının da hemen hemen meydana gelmediği dikkate alınarak "Kolon Liçi" deneylerinde -10 mm fındık kabuğuyla çalışılmıştır.

Kolonlarda yapılan liç deneylerinde, ilk olarak -18 mm ve -2,36 mm boyutlarda herhangi bir karışım olmadan değerlendirilmiştir. 30 günlük deney sonuçları irdelendiğinde;

- ❖ -18 mm boyutlu malzemenin Au çözünme verimi %48, aynı deneyin aktif karbonda absorbe olan Au çözünme verimi %46 olarak belirlenmiş,
- ❖ -2,36 mm boyutlu malzemenin Au çözünme veriminin %40'lara kadar düştüğü ve -18 mm boyutlu numuneye göre bu verim değerinin daha az olduğu, bu durumum; malzeme içerisindeki ince boyut varlığının artması sonucu hem geçirgenliğin hem de çözeltinin numune ile temasının azaldığı, aynı deneyin aktif karbona hapsedilmiş Au çözünme veriminin %39 olduğu, belirlenmiştir.

Sonra; -2,36 mm boyutlu numune ile -10 mm boyutlu fındık kabuğu, belirli oranlarda karıştırılmıştır. Yine aynı koşullar altındaki deney sonuçlarına bakıldığında;

- ❖ 2,36 mm boyutlu numune ile %2,5 oranında fındıkkabukları karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda çözünme veriminin %42 olarak belirlendiği, bu durumun hiç fındık kabuğu katılmamış olan yine aynı boyuttaki numune ile yapılan liç deneyi sonucuna göre %2 kadar daha fazla olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda yine karbon içerisindeki Au değerine bakılmış, bu değer de %39 olduğu belirlenmiştir.

- ❖ 2,36 mm boyutlu numune ile %5 oranında fındıkkabukları karışımı ile gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda Au çözünme verimi %55 olarak belirlenmiştir. Karbondaki altın çözünme verimi ise %53'tür. Bu deney sonucundan elde edilen veriler ışığında; gerek çözeltinin cevhere temasının gerekse fındık kabuğunun bu oranlardaki karışımın geçirgenliğe olumlu etki ettiğini söylenebilir.

- ❖ Aynı boyutlu numunenin %10 fındık kabuğu ile karışımı sonucu elde edilen çözünme verimi; %61, karbonda hapsedilen değer ise %60 gibi bir rakama ulaştığı belirlenmiştir. Burada elde edilen Au çözünme veriminin, numunenin aynı boyutunda gerçekleştirilen Bottle - Roll deneyi ile elde edilen değere (%65) çok yakın olduğu görülmektedir.

Siyanür çözeltilisinin cevherdeki altını çözme hızındaki değişimlerine bakıldığında;

- ❖ siyanür çözeltilisinin cevherdeki altını çözme hızı ilk gün itibariyle %5 fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede olduğu,

❖ daha sonraki günlerde çözme hızının %10 fındık kabuğu karışımı ile gerçekleştirilen -2,36 mm boyutlu numunede olduğu,

❖ 10. günden sonra bütün deneylerde siyanür çözeltilisinin cevherdeki altını çözme hızının düştüğü, belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar ile siyanür çözeltilisinin malzeme üzerinde homojen şekilde akışı sağlanmış, ince boyut varlığının geçirgenlik üzerindeki olumsuz etkisi giderilmiş ve böylelikle tane boyutu düşürülerek tane serbestleşmesinin artırılması ile yüksek altın çözünme verimi elde edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar irdelendiğinde;

❖ -2,36 mm boyutlu cevher ile %2,5 oranında fındık kabuğu karışımları ile gerçekleştirilen geçirgenlik ve liç deneylerinde, gerek geçirgenliğin gerekse Au çözünme veriminin arttırılmasında etkili olmadığı,

❖ aynı boyutlu cevherde %5 ve %10 fındık kabuğu karışımları ile gerçekleştirilen geçirgenlik ve liç deneylerinde hem geçirgenliğin hem de çözünme veriminin arttırılmasında başarılı sonuçların gerçekleştiği,

❖ fındık kabuğunun gerek temini gerekse ekonomisi ve de başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle; %5 ve %10'luk bir karışımın olması gerektiği ayrıca boyutunun da numune ile iyi karışmada sorun yaşanmaması ve geçirgenliğe olumlu katkı vermesi nedeniyle -10 mm boyutlu fındık kabuğu ile gerçekleştirilecek olan bir çalışılmanın uygun olacağı belirlenmiştir.

Cevher numune boyutunun küçültülerek (-2,36 mm) fındık kabuğu gibi bir bitkisel atığın karışımı ile gerçekleştirilen liç deneylerinde, fındık kabuğunun kullanılmasının geçirgenlikte olumlu etki yaparak Au çözüldürme veriminin artmasında etkili olduğu görülmüştür. Bu da bitkisel atıkların cevher içerisindeki değerli metalleri absorplayarak kazanma verimini düşürdüğü algısının doğru olmayabileceğini işaret etmekte ve bu nedenle benzer çalışmalara önem verilmesinin yanı sıra endüstriyel boyutta uygulamaların da yolunu açabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akçıl A** (2002) First Application of Cyanidation Process in Turkish Gold Mining and Its Environmental Impacts. *Minerals Engineering*, 15: 695-699.
- AMD** (2011) *Madencilik Sektörü ve Altın Madenciliği Raporu*. Türkiye Madenciler Derneği, 96 s.
- Anon (a)** (2004) Refractory Gold-Bacox. Adres: <http://www.mintek.co.za>
- ASTM** (2006) *Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*. ASTM D2434-68, 6p.
- Bouffard S C** (2005). Review of Agglomeration Practice and Fundamentals in Heap Leaching. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 26(3-4): 233-294.
- Breitenbach A** (2005) Heap Leach Pad Design and Construction Practices in the 21st Century. Vector Colorado LLC.
- Brierley L C** (1995) Bacterial Oxidation: Master Key to Unlock Refractory Gold Ores. *Engineering & Mining Journal*, 196 (5): 42-44
- Canbazoğlu M ve Girgin İ** (2001) Cevher Hazırlama El Kitabı. 1-18. İTÜ Yayınları İstanbul
- Corriou, J.P. 1988. *Thermodynamic and Kinetic Study of the Pressure Leaching of Zinc Sulphide Inqueous Sulphuric Acid, Hydrometallurgy*, 21.p. 85-102.
- Chamberlin P D** (1986) Agglomeration: Chaap Insurance for Good Recovery When Heap Leaching Gold and Silver Ores. *Mining Engineering*, p.1105-1109.
- CoreLab**. (1983) New Mexico Tech. University. Adres: <http://infohost.nmt.edu/~petro/faculty/Engler524/PET524-2a-permeability.pdf>
- Crundwell F K** (1995) The Prediction of the Bioleaching of Refractory Gold Ores in a Continuous Plant from the Batch Data. *Minerall Bioprocessing*, 2: 17-39.
- Deng T L, Liao M X, Wang M H, Chen Y W and Belzile N** (2000) Investigation of Accelerating Parameters for the Biooxidation of Low Grade Refractory Gold Ores. *Minerals Engineering*, 13 (14-15) :1543-1553.
- Dhawan N, Safarzadeh M S, Miller J D, Moats M S and Rajamani R K** (2013) Crushed Ore Agglomeration and Its Control for Heap Leach Operations. *Minerals Engineering*, 41: 53-70.
- DPT** (2001) Sekizinci beş yıllık kalkınma planı. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. *Metal Madenler Alt Komisyonu Değerli Metaller Çalışma Grubu Raporu*, ÖİK:634, DPT: 2623, ISBN 975-19-2865-6, Ankara, 28 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Echeverria N, Romo D and Suazo I** (2015) Hydraulic Performance of a Permanent Heap Leach with Intermediate Drainage System. *Proceedings of Heap Leach Solutions*, September 14-16, Reno, Nevada, USA.
- Erkan E** (2015) Altın Yığılın Liçi Projesinde Farklı Kıırma Boylarının Verimlilik ve Geçirimsizlik Performanslarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Bilim Dalı, 110 s.
- ETKB** (25.01.2018) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Altin>
- Fernandez R R, Sohn H Y and Levier K M** (2000) Process for Treating Refractory Gold Ores by Roasting under Oxidizing Conditions. *Minerals and Metallurgical Processing*, 17 (1): 1-6.
- Fernández G V** (2003) The Use of Electrical Conductivity in Agglomeration and Leaching. *5th International Conference Leaching and Process Development: In: Proceedings of Copper 2003*, Vol: VI, November 30-December 03, Santiago, pp. 161-175.
- Girgin İ** (1989) Düşük Tenörlü Cevherlerden Yığılın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı. *Madencilik*, 28 (1): 35-40.
- Habashi F** (1997) *Handbook of Extractive Metallurgy*. Wiley-VCH, Germany.
- Hiskey J B** (1985) Gold and Silver Extraction: The Application of Heap Leach Cyanidation. *Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology*, Vol:15 No:4, Fieldnotes.
- ICME** (2002) Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi. International Council on Metals and the Environment.
- Jones R S and Fleischer M** (1969) Gold in Minerals and the Composition of Native Gold. *Geological Survey Circular*, US Department of the Interior, 17 p.
- Kappes D W** (2005) Heap Leaching of Gold and Silver ores. *Advances in Gold Ore Processing*, 15: 456-479.
- Kawatra S K, Eisele T C, Lewandowski K A and Gurtler J A** (2006) Novel Binders and Methods for Agglomeration of Ore. *Semiannual Technical Progress Report*, <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/896974>.
- Kinard D T and Schweizer A A** (1987) Engineering Properties of Agglomerated Ore in a Heap Leach Pile. *Geotechnical Aspects of Heap Leach Design*, pp. 55-64.
- Kodali P, Depci T, Dhawan N, Wang X, Lin C L and Miller J D** (2011) Evaluation of Stucco Binder for Agglomeration in the Heap Leaching of Copper Ore. *Mineral Engineering*, 24:886-893.
- La Brooy S R, Linge H G and Walker G S** (1994) Review of Gold Extraction From Ores. *Minerals Engineering*, 7 (10): 1213-1241.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lastra M R and Chase C K** (1984) Permeability, Solution Delivery and Solution Recovery: Critical Factors in Dump and Heap Leaching of Gold. *Mining Engineering*, 36:1537-1539.
- Lupo J and Dolezal A** (2010) Ore Geotechnical Testing for Heap Leach Pads Design. *The 14th International Conference on Tailings and Mine Waste*, pp. 91-99.
- Lewandowski K A and Kawatra S K** (2009) Binders for Heap Leaching Agglomeration. *Minerals and Metallurgical Processing*, 26 (1) Journal, SME, Littleton, Colorado, USA, Volume 26, No. 1.
- McClelland G E** (1986) Agglomerated and Unagglomerated Heap Leaching Behavior is Compared in Production Heaps. *Mining Engineering*, 38(7): 500-503
- McClelland G E and Hill S D** (1981) Silver and Gold Recovery from Low Grade Resources. *Mining Congress Journal*, pp. 17-41.
- McClelland G E and Eisele J A** (1982) Improvements in Heap Leaching to Recover Silver and Gold from Low-Grade Resources. *Bureau of Mines*, RI 8612,26 p.
- McClelland G E, Pool D L and Eisele J A** (1983) Agglomeration- Heap Leaching Operations in the Precious Metals Industry. *Bureau of Mines*, IC 8945, 16 p.
- McClelland G E Pool D L, Hunt A H and Eisele J A** (1985) Agglomeration and Heap Leaching of Finely Ground Precious Metal Bearing Tailings. *Bureau of Mines*, IC 9034.
- Milczarek M, Yao T, Banerjee M and Keller J** (2013) Ore Permeability Methods of Evaluation and Application to Heap Leach Optimization. *Heap Leach Solutions*, Vancouver Canada pp. 403-415.
- Miller G** (2003) Ore Geotechnical Effects on Copper Heap Leach Kinetics. *The Minerals Metal & Material Society*, pp. 329-342.
- MTA** (1996), *Altın Üretim Prosesi Artıklarında Siyanürün Doğal Bozunma Kimyasal Bozundurma ve Geri Kazanım Sürelerinin İncelenmesi*. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9875.
- MTA** (2016) *Türkiye ve Dünyada Altın*. Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, 27 s.
- MTA** (16.01.2018) Adres: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari>
- Mudder T I, Botz M and Smith A** (2001) The Cyanide Compendium, Mining Journal Books. 1000+ Pages on CD, London, United Kingdom.
- Mudder T I and Botz M M** (2008) Siyanür ve Toplum: Kiritik Bir İnceleme. Akçıl A (çev), *Madencilik*, 47 (3):27-42.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Okuy V** (2014) Madencilikte Yığın Liçi (Heap Leaching) Uygulamaları. *Madencilik Türkiye*, 41: 100-04.
- Özbayoğlu G** (1974) Düşük Tenörlü Altın Cevherine Uygulanan Liç Yöntemi. *Madencilik*, 13(6): 51-56.
- Smith A and Mudder T I** (1991) The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes. *Mining Journal Books*, London, United Kingdom.
- Smith M** (1996) Inter-Lift Liners İn Copper Heap Leaching. *The Mining Record*.
- Sivakugan, N. and Das, B. M.** (2010). Geotechnical Engineering A Practical Problem Solving Approach. J. Ross Publishing, Fort Lauderdale.
- TMD** (2002) *Dünyada ve Türkiye’de Altın Madenciliği*. Türkiye Madenciler Derneği, 48 s.
- TÜPRAG** (20.01.2018) Adres: <http://www.tuprag.com.tr/>
- Ubal dini S, Veglio F, Beolchini F, Toro L and Abbruzzese C** (2000) Gold Recovery From a Refractory Pyrrhotite Ore by Biooxidation. *Int. Journal of Min. Processing*, 60 (3-4): 247-262.
- Uhrie J L, Wilton L E, Rood E A, Parker D B, Griffin J B and Lamanna J R** (2003) The Metallurgical Development of the MORENCI MFL Project. Vol: VI-Hydrometallurgy of Copper (Book 1), Copper 2003-Cobre 2003, (P. A. Riveros et al., Eds.), Santiago, Chile, pp. 29-37.
- URL-1** <<http://altinmadencileri.org.tr/wp-content/uploads/2015/07/Slayt1.png>> Ziyaret tarihi: 16.01.2018.
- URL-2**<http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/koc/pdf_dosyalari/ders_notlari/_2.pdf> Ziyaret tarihi: 08.01.2018.
- URL-3**< <https://www.fatprophets.com/Member%20Area/Product%20Landing/Report%20List/Report%20Page/Article%20Page.aspx?id=f8a04fcf-4ddd-4975-8a93-f436c520e4c5&product=Australasian%20Mining&pt=paid>> Ziyaret tarihi: 25.01.2018.
- URL-4**<<https://www.911metallurgist.com/blog/gold-cil-process-explained>> Ziyaret tarihi: 17.01.2018.
- URL-5**<<http://www.mining-technology.com/projects/rubymill/attachment/rubymill6/>> Ziyaret tarihi: 17.01.2018.
- Velarde G** (2005) Agglomeration Control for Heap Leaching Processes. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 26 (3-4): 219-231.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Vethosodsakda T** (2012) Evaluation of Crushed Ore Agglomeration, Liquid Retention Capacity, and Column Leaching. *Master thesis*, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah.
- Vick S G** (1990) Planning, Design and Analysis of Tailings Dams. BiTech Publishers Ltd, Canada.
- Videla A, Lin C L and Miller J** (2005) 3D Characterization and Analysis of Heap Leaching Systems Using X-Ray Microtomography, *HydroCopper 2005: Proceedings of the III International Copper Hydrometallurgy Workshop*.
- Yılmaz S, Sirkeci A A, Bilen M, Yiğit İ and Kızıgut S** (2017) The Effect of Nut Shell Addition on the Permeability of a Crushed Gold Ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, <http://dx.doi.org/10.5277/ppmp1826>.
- Yazıcıgil H, Karahanoğlu N, Yılmaz K, Gündoğdu A, Şakiyan J, Yeşilnacar E and Tuzcu B** (2000) Investigation and Management of the Küçük Menderes Basin Groundwaters. *Hydrogeology*, Vol:5. Middle East Technical University, Ankara.
- Yüce A E** (1995) Altın Gümüş İçeren Sülfürlü Bakır - Pirit Cevherlerinden Tiyoüre Liçi İle Altın ve Gümüş Kazanımı. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 113 s.



EK AÇIKLAMALAR

Gün	Orijinal numune (-18 mm)		-2,36mm (%0 Fındık kabuğu)		-2,36mm (%2,5 Fındık kabuğu)		-2,36mm (%5 Fındık kabuğu)		-2,36mm (%10 Fındık kabuğu)	
	Birikimli Au Çözünme Verimi	Au Çözünme Veriminin Toplam Au İçeriğine Yüzdesi	Birikimli Au Çözünme Verimi	Au Çözünme Veriminin Toplam Au İçeriğine Yüzdesi	Birikimli Au Çözünme Verimi	Au Çözünme Veriminin Toplam Au İçeriğine Yüzdesi	Birikimli Au Çözünme Verimi	Au Çözünme Veriminin Toplam Au İçeriğine Yüzdesi	Birikimli Au Çözünme Verimi	Au Çözünme Veriminin Toplam Au İçeriğine Yüzdesi
0	0%	--	0%	--	0%	--	0%	--	0%	--
1	8%	17%	3%	8%	3%	7%	11%	20%	7%	12%
2	19%	40%	12%	30%	12%	29%	23%	42%	23%	38%
3	26%	54%	19%	48%	19%	45%	31%	50%	33%	54%
4	33%	69%	25%	63%	25%	60%	38%	70%	41%	67%
5	36%	75%	29%	73%	29%	69%	44%	80%	48%	79%
6	38%	79%	31%	78%	31%	74%	48%	77%	52%	85%
8	43%	90%	35%	88%	35%	83%	50%	88%	54%	89%
10	44%	92%	36%	90%	36%	86%	50%	88%	54%	89%
12	45%	94%	36%	90%	36%	86%	51%	93%	55%	91%
14	45%	94%	37%	93%	37%	88%	51%	93%	55%	91%
16	46%	96%	38%	95%	38%	90%	52%	95%	57%	94%
18	47%	98%	38%	95%	39%	93%	52%	95%	58%	95%
21	47%	98%	39%	98%	39%	93%	53%	97%	59%	97%
22	48%	100%	39%	98%	40%	95%	54%	99%	59%	97%
23	48%	100%	39%	98%	40%	95%	54%	99%	60%	98%
24	48%	100%	40%	100%	41%	98%	54%	99%	60%	98%
27	48%	100%	40%	100%	41%	98%	55%	100%	61%	100%
28	48%	100%	40%	100%	42%	100%	55%	100%	61%	100%
29	48%	100%	40%	100%	42%	100%	55%	100%	61%	100%
30	48%	100%	40%	100%	42%	100%	55%	100%	61%	100%



ÖZGEÇMİŞ

Serdar YILMAZ Ankara doğdu, ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1993 yılında girdiği o zamanki adıyla Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nden 1998 yılı Mart ayında mezun oldu. Mezun olduktan sonra Park Teknik Elektrik ve Madencilik Tic. A.Ş ve Turan Bekişoğlu Mermer A.Ş'de Maden Mühendisi olarak görev yaptı. 2001 Ocak ayında mezun olduğu bölümde Uzman (Öğretim Görevlisi) olarak göreve başladı. 2004 yılında aynı bölümde yüksek lisansını tamamladı. 2011 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında doktora programına aynı kadroda başvurdu. Halen bu görevini devam ettirmekte olan Serdar YILMAZ evli ve iki kız çocuğu babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : B.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü

İncivez - ZONGULDAK

Tel : 0372 257 40 10 - (1918)

E-posta : serdaryilmaz@beun.edu.tr / s_yilmaz67@hotmail.com