

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ALTIN METALURJİSİNDE SİYANÜRLEMENİN İRDELENMESİ  
VE ALTERNATİF YÖNTEMLER İLE KİYASLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elmas DİLBAZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKÇİL**

**Temmuz 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALTIN METALURJİSİNDE SİYANÜRLEMENİN İRDELENMESİ  
VE ALTERNATİF YÖNTEMLER İLE KIYASLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Elmas DİLBAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
.....  
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Ahmet ALA

  
.....  
Üye

Dr. Öğr. Üyesi  
Mustafa AKGİL

  
.....  
Üye

Dr. Öğr. Üyesi  
Harun GÜL

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Elmas DİLBAZ

12/07/2019

## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmama değerli katkılarından dolayı danıŐmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKÇİL'e, desteklerinden dolayı eŐim Mustafa Emre DİLBAZ'a, her zaman yanımda olan annem Őenol AKGÖZ, babam Sebahattin AKGÖZ ve kardeŐim Hilal AKGÖZ'e tüm içtenliğimle teŐekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
ALTININ DOĞADAKI BULUNUŞU .....	4
2.1. Nabit Altın.....	4
2.2. Elektrum .....	4
2.3. Altın Tellür .....	5
2.4. Diğer Altın Mineralleri.....	6
2.5. Kükürtlü Minerallerde Altın Oluşumu .....	6
BÖLÜM 3.	
ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....	9
3.1. Kimyasal Zenginleştirme/Liç .....	10
3.1.1. Altın metalurjisinde siyanürleme .....	11
3.1.2. Bazı ağır metallerin siyanür çözeltisindeki davranışları .....	15
3.1.3. Yabancı iyonların etkisi .....	21
3.1.3.1. Kinetik etki .....	22

3.1.3.2. Olumsuz etki.....	24
3.1.4. Siyanür liçi yöntemleri.....	27
3.1.4.1. Tank liçi.....	27
3.1.4.2. Yığın liçi.....	30
3.1.5. Altının çözültiden alınması.....	37
3.1.5.1. Çinko Tozu ile Çöktürme Prosesi (Merrill - Crowe Prosesi) .....	37
3.1.5.2. Aktif karbon üzerine adsorpsiyon .....	38
3.2. Gravite ile Zenginleştirme.....	48
3.3. Flotasyon .....	49
3.4. Amalgamasyon (Civa İle Alaşım Yapma) .....	53
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI.....</b>	<b>55</b>
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>62</b>
5.1. Tartışma.....	62
5.2. Sonuç .....	68
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ARRL : Anglo American Research Laboratories

°C : Santigrat

PPM : Parts Per Million

USBM : U.S. Bureau of Mines

CIL : Carbon in Leach

CIP : Carbon in Pulp

CIC : Carbon in Column

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ovacık altın madeni atık havuzu.....	3
Şekil 2.1. Eagles Nest madeni'nden çıkarılmış nabit altın (Kalifornia).....	4
Şekil 2.2. Elektrum (Altın + Gümüş) Round Dağı Altın Madeni, Nevada.....	5
Şekil 2.3. Altın tellür görseli, Boulder, Colorado. ....	5
Şekil 2.4. Bonn Üniversitesi Mineral Müzesi'nde bulunan Maldonit minerali (Almanya).....	6
Şekil 2.5. Kükürtlü mineral örnek görseli.....	7
Şekil 2.6. Kükürtlü mineraller içinde altının büyütülmüş hali (Kuzey İtalya- Demir- Bakır-Çinko minerallerinin içindeki altın taneleri). ....	7
Şekil 3.1. Altın kazanım yöntemleri. ....	10
Şekil 3.2. Altın çözünmesinin elektrokimyasal mekanizmasının şematik gösterimi....	13
Şekil 3.3. Altının siyanür çözeltisinde çözünmesi sırasındaki galvanik davranışı. ....	21
Şekil 3.4. Kurşunun altının çözünmesine etkisi (%0,1 NaCN).....	23
Şekil 3.5. Siyanür liçi sırasında birkaç mg Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> varlığında altın yüzeyinde oluşan altın-kurşun alaşımı.....	23
Şekil 3.6. Na <sub>2</sub> S'nin altın ve gümüş çözünmelerine etkisi (%0,25 KCN) [20]. ....	26
Şekil 3.7. Yüksek alkali şartlarda kalsiyum iyonlarının metal çözünmesine olumsuz etkisi.....	27
Şekil 3.8. Pülpte liç prosesinin (CIP) şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.9. Tank liç prosesi.....	29
Şekil 3.10. Liç tankları.....	29



Şekil 3.11. Karıştırılmalı liç tankı. ....	30
Şekil 3.12. Yığının hazırlanması sırasında ince ve iri tanelerin ayrışmaya uğraması. ....	32
Şekil 3.13. Ayrışmaya uğramış tanelerin düzensiz çözelti akışı nedeniyle yatay yönde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak liç verimini olumsuz yönde etkilemesi.....	33
Şekil 3.14. Yığının tabakalar halinde hazırlanmaması gerekir. ....	33
Şekil 3.15. Topaklaştırma işlemine tabi tutulmuş ve tutulmamış tanelerden oluşan kütle içinden çözelti akışı. ....	35
Şekil 3.16. Yığın liçine ait genel akım şeması.....	35
Şekil 3.17. Rosemont Bakır Madeni,Arizona. ....	36
Şekil 3.18. Kışladağ Altın Madeni, Türkiye. ....	37
Şekil 3.19. Merrill Crowe Prosesinin şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.20. CIP (Pülpte Karbon) Prosesi.....	40
Şekil 3.21. CIL (Liçte Karbon) Prosesi.....	41
Şekil 3.22. Kaymaz Altın Madeni tesisine ait akım şeması. ....	53
Şekil 3.23. Amalgam Tesisi Comstock Lode, Virginia City, Nevada 1900. ....	57

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Altın cevherlerinin refrakterliğinin sınıflandırılması.....	7
Tablo 3.1. pH'ın CN- iyonu konsantrasyonuna ve HCN'in erirliğine etkisi. ....	13
Tablo 3.2. Altın ile birlikte sık rastlanılan önemli mineraller.....	14
Tablo 3.3. %0,1 NaCN çözeltisinde bakır minerallerinin çözünürlükleri.....	16
Tablo 3.4. Bazı çinko minerallerinin siyanürlü çözeltideki çözünürlükleri.....	19
Tablo 3.5. Basınçlı Zadra Prosesinin aşamaları.....	45
Tablo 3.6. AARL sıyırma prosesinin aşamaları.....	46
Tablo 4.1. Dört alternatif altın üretimi yönteminin ilk yatırım ve işletme giderleri ile gerekli minimum tenör karşılaştırılmaları. ....	58
Tablo 4.2. 30.000 Tonluk Yığın Liçi-Siyanürleme işleminin tahmini maliyeti .....	59
Tablo 4.3. Biyooksidasyon proseslerinin kullanıldığı altın madenleri (Çelik, 2009)...	61
Tablo 5.1. Bazı metallerin siyanür çözeltisindeki davranışları.. ..	62
Tablo 5.2. Liç yöntemlerinin karşılaştırılması.....	64
Tablo 5.3. Sıyırma proseslerinin karşılaştırılması... ..	65
Tablo 5.4. Aktif karbona soğurma yöntemlerinin karşılaştırılması.... ..	66
Tablo 5.5. Biyomadencilik uygulamalarının karşılaştırılması.....	67

# ALTIN METALURJİSİNDE SİYANÜRLEMENİN İRDELENMESİ VE ALTERNATİF YÖNTEMLER İLE KIYASLANMASI

## ÖZET

Madencilik sektörü ve özellikle altın madenciliği üretim süreçlerinde her ne kadar çevre ve insan sağlığı açısından risk oluştursada siyanürü uzun yıllardır kullanmaktadır. Siyanür ile altın kazanımı düşük maliyeti ve endüstriyel anlamda kullanım kolaylığı yönünden tercih edilmektedir.

Öldürücü bir madde olarak anılmasına karşın siyanür, çağdaş yaşamın maliyet ve üretim kolaylığı açısından vazgeçilmez ve yaygın kullanılan kimyasalıdır. Siyanürün güvenli kullanımı, sağlıklı yönetim uygulamaları ile mümkündür.

Günümüzde cevherlerden altının kazanılmasında en çok kullanılan yöntem, siyanür liçi yöntemidir. Bu proseste cevherdeki altın, siyanür ile çözeltiye alındıktan sonra ya çinko tozu ile çöktürme ya da aktif karbon adsorbsiyonu ile saflaştırma ve takiben elektroliz ile çözeltiden kazanılmaktadır.

Bu çalışmada; altın metalurjisinde siyanürlemenin tarihçesi, gelişimi ve günümüzdeki yaygın kullanımı irdelenmiştir. Siyanür çözeltisinin metalik altını çözebilme özelliği, yöntemin parametreleri ve prosesi incelenmiştir. Altın çözeltisinin zenginleştirme yöntemleri; gravite ile zenginleştirme, flotasyon, amalgamasyon ve kimyasal zenginleştirme üzerinde durulmuş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Siyanürleme, Altın Zenginleştirme Yöntemleri, Altın Kazanımı.

# **INVESTIGATION OF CYANIDATION IN GOLD METALLURGY AND COMPARISON OF ALTERNATIVE METHODS**

## **SUMMARY**

The mining sector and especially gold mining production processes have been using cyanide for many years, even though it poses a risk to the environment and human health. Gold recovery with cyanide is preferred in terms of low cost and ease of use in industrial area.

Although cyanide is known as a lethal substance, it is an indispensable and widely used chemical for the cost and ease of production of contemporary life. Safe use of cyanide is possible through healthy management practices.

Today's the most commonly used method for recovering gold from ores is cyanide leaching. In this process the gold in the ore is recovered, by solution with cyanide, either by precipitation with zinc powder or by purification with activated carbon adsorption, followed by electrolysis.

In this study, history, development and widespread use of cyanidation in gold metallurgy were discussed. The ability to dissolve the metallic gold of the cyanide solution, its method and process were examined. Enrichment methods of gold solution; Gravity enrichment, flotation, amalgamation and chemical enrichment were emphasized and compared.

Keywords : Cyanidation, gold enrichment methods, gold recovery.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Eski çağlardan günümüze kadar altının farklı yöntemler ile üretimi yapılmış ve çok çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Altın üretimi M.Ö. 100 tarihine kadar ilkel yöntemler ile yapılmış, sonrasında amalgamasyonun bulunması ile önemli bir gelişme kaydetmiştir. 1783 yılında İsveç'te Scheele tarafından, altının siyanür çözeltilisindeki çözünürlüğünün keşfedilmesi, altın üretiminde önemli bir dönemin başlamasına öncülük etmiştir. Endüstriyel çapta altının siyanürle zenginleştirilmesi ilk kez 1889'da Yeni Zelanda'daki Crown Madeni'nde gerçekleşmiştir.

Genellikle nabit altın içeren cevherlerin gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanan amalgamasyon yöntemi, alternatif olarak siyanürleme yönteminin geliştirilmesi, civa ile çalışmanın çok özel koşullar gerektirmesi ve riskli olması sebebi ile artık tercih edilmemektedir.

Altın cevherine uygulanacak endüstriyel zenginleştirme yöntemi cevherin mineralojisine bağlı olarak seçilmektedir. Uygulanacak zenginleştirme prosesi, teknik ve ekonomik açıdan en uygun altın kazanım yolları, numune üzerinden tespit edilen cevherin mineralojisi ile belirlenir. Mineralojik yapının basit olması genelde prosesin de basit olmasını gerektirdiği için, yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması anlamına gelmektedir.

Günümüzde dünya altın üretiminin % 85'i siyanürle, % 15'lik bölüm diğer fiziksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Siyanüre alternatif bir kimyasal madde henüz bulunamamıştır. Siyanüre en uygun ikame olarak görülen tıyoüre ( $CS(NH_2)_2$ ) ile altın çözüldürülmesi bazı gereklilikler sebebi ile endüstriyel uygulamaya sokulamamıştır. Bu sebepler aşağıda belirtilmektedir (Logsdon, Hagelstein ve Mudder, 2001).

- a) Tiyoürenin oksidasyonunu önlemek için düşük Ph aralığında (Ph: 1,4-1,5 ) çalışma zorunluluğu,
- b) Tiyoürenin oksitlenmesini engellemek için, liç ortamının redoks potansiyeli (Eh) değerini yardımcı kimyasal maddeler ile ayarlama gereksinimi,
- c) Nitrit dönüşümü mümkün olduğundan kansorejen olma riskinin olması.

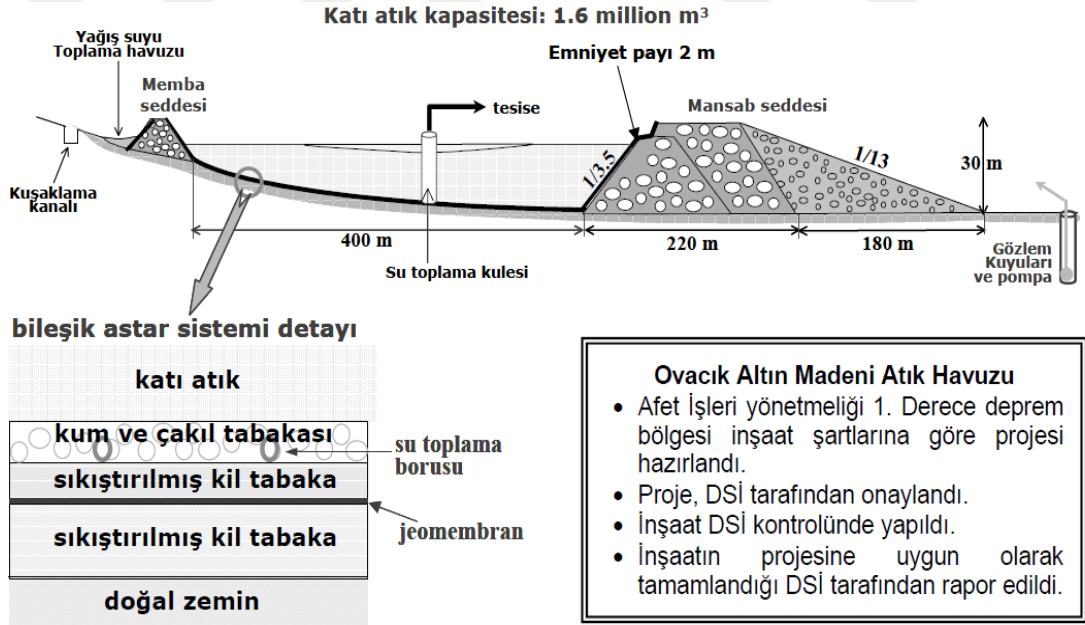
Ayrıca Br, Cl gibi halojenler kullanılarak altını çözmek mümkündür. Fakat tesis yatırım maliyetinin yüksek olması ve bu elementlerin toksik olması sebebi ile siyanüre alternatif olarak değerlendirilememektedir. Alkali tiyasülfat çözeltisinden ise altının geri kazanımı nispeten zor ve kimyasal maliyeti yüksek olduğu için bu kimyasal da bir alternatif değildir (Logsdon, Hagelstein ve Mudder, 2001).

Günümüze kadar siyanür kimyası ve toksikolojisi hakkında elde edilmiş bilgiler, uygun bir şekilde yönetildiği takdirde, siyanürün madencilik dahil her sektörde başarı ile kullanılabilceğini göstermektedir. Prosesin basitliği, çalışan bilinçlendirilmesi, parametrelerin kolay kontrol edilebilmesinin yanında siyanür içeren atıkların çevre ile insan sağlığı ve güvenliği unsurları gözetilerek yönetilmesi siyanürün başarı ile kullanılmasında önem arz etmektedir (Yüce, Önal ve Tarkan, 2002).

Türkiye’de madencilik sektöründe siyanür ilk kez 1987’de Kütahya- Gümüşköy’de gümüş eldesi için kullanılmıştır. Sodyum siyanür, serbest siyanür iyonları ve zayıf asitte çözünür metal siyanür bileşiklerini içeren proses atıkları doğal bozunma metodunun uygulandığı atık havuzuna boşaltılmaktadır. Tesisin 15 yıllık işletilmesi sonrasında, siyanür kullanımı ile ilgili herhangi bir zarar veya kaza kaydedilmemiştir (Yüce, Önal ve Tarkan, 2002).

Ovacık altın tesisi Türkiye’nin ilk altın zenginleştirme tesisidir. Deneme üretimine Mayıs 2001’de başlamıştır. Maden, açık ocak, yeraltı işletmesi ve geleneksel siyanür prosesinden (CIP) oluşmaktadır. Bu tesiste, CIP ünitesinden gelen atık çamuru, T.C. Çevre Bakanlığı tarafından siyanür ve ağır metaller için konmuş olan sınırları aşmamak amacıyla, üç aşamalı kimyasal bozundurma devresinden geçirilir. Birinci kademede SO<sub>2</sub> tedariki için sodyum metabisülfid (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve O<sub>2</sub> tedariki için basınçlı hava

kullanılmaktadır. Serbest siyanür ile birlikte çinko, bakır, nikel siyanürler gibi zayıf metal siyanür bileşiklerinden oluşan zayıf asitte çözünebilir siyanür, siyanata ( $CNO^-$ ) oksitlenir. Siyanürden aranan metaller de hidroksit olarak çökeltilir. Siyanat iyonu ise duraylı olmadığından hidrolize olarak karbonat ve amonyağa dönüşür. Oksitlenmeyi ve demir siyanürlerin çökmesini hızlandırmak için bakır sülfat ilave edilir. İkinci kademede arsenik ve antimuanı çökeltilmek için ferrik sülfat ilave edilir. Bu çökeltiler geniş bir pH yelpazesinde son derece duraylıdır. Her iki kademede de, son derece kompleks yapılı olan demir siyanürler devrede zaten bulunan ( $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ) veya dışarıdan ilave edilen ( $Fe^{3+}$  ve  $Cu^{2+}$  gibi) metal iyonları ile suda çözünmeyen metal ferrosiyanür bileşikleri oluşturularak sistemden uzaklaştırılır. Kimyasal olarak bozundurulmuş atıklar atık havuzuna pompalar yardımı ile gönderilir. Atık havuzundaki duru su proseste kullanılmak üzere zenginleştirme tesisine geri pompalanır. Tesise geri gönderilen duru su, gerektiğinde ferrik sülfat ilavesi ile arsenik ve antimuan içeriğinin daha da düşürülmesi amacıyla üçüncü bir işlem kademesinden geçirilir. Söz konusu üçüncü aşama, zenginleştirme tesisinde toplanan siyanür döküntülerinin hipokloritle arıtımı için de kullanılabilir (Oygür ve Zambak, 2002). Şekil 1.1.'de Ovacık altın madeni atık havuzu dizaynı verilmiştir.



Şekil 1.1. Ovacık altın madeni atık havuzu (Oygür ve Zambak, 2002).

## BÖLÜM 2. ALTININ DOĞADAKI BULUNUŞU

### 2.1. Nabit Altın



Şekil 2.1. Eagles Nest Madeni'nden çıkarılmış nabit altın (Kalifornia).

Genellikle altın içeriği % 85-95 arasında değişmektedir. Tespit edilmiş en yüksek altın içeriği % 99,80'dir. Saf altının özkütlesi  $19,30 \text{ kg/m}^3$  iken nabit altının yaklaşık  $15,00 \text{ kg/m}^3$  'tür. Gang minerallerinden ayrılması durumunda 10 mikronun üzerindeki yoğunluk farkı sayesinde ayıklanabilmektedir (Marsden ve House, 2006). Şekil 2.1.'de nabit altın görseli verilmiştir.

### 2.2. Elektrum

Gümüş içeriği %25 ile %55 arasında olan altın gümüş alaşımlarına elektrum denilmektedir. Özkütlesi  $13,00 \text{ kg/m}^3 - 16,00 \text{ kg/m}^3$  değerleri arasındadır (Marsden ve House, 2006). Şekil 2.2.'de elektrum görseli verilmiştir.





Şekil 2.2. Elektrum (Altın + Gümüş) Round Dağı Altın Madeni, Nevada (Marsden ve House, 2006).

### 2.3. Altın Tellür



Şekil 2.3. Altın tellür görseli, Boulder, Colorado (Marsden ve House, 2006).

Altın tellürün kimyasal özelliklerinin daha kompleks bir yapıda olduğu bilinmektedir. Silvanit ( $(Au,Ag)_2Te_4$ ), Kalaverit ( $AuTe_2$ ) ve Krennerit ( $AuTe_2$ ) ile beraber bulunan Petzit ( $Ag_3AuTe_2$ ) en bilinen türleridir. Montbrayit ( $Au_2Te_3$ ) ve Kostovit ( $CuAuTe_4$ ) doğada daha az bulunan türleridir. Altın tellürün serbest altın taneleri ve kükürtlü

minerallerle birlikte bulunduğu bilinmektedir. Tellürün özkütlesi  $8,00 \text{ kg/m}^3$ - $10,00 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir (Marsden ve House, 2006). Şekil 2.3.'te altın tellür görseli verilmiştir.

#### 2.4. Diğer Altın Mineralleri



Şekil 2.4. Bonn Üniversitesi Mineral Müzesi'nde bulunan Maldonit Minerali (Almanya).

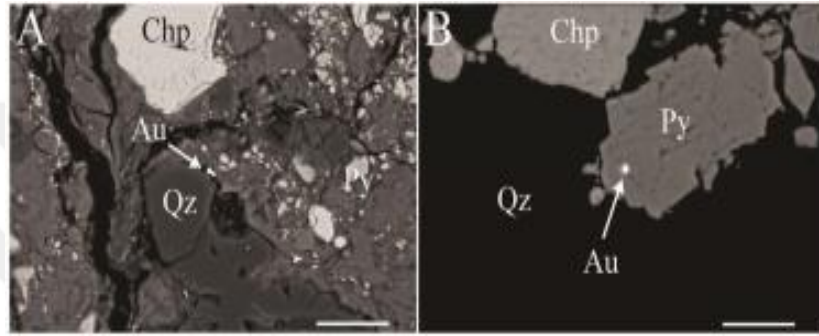
Altın nadir olarak Bizmut minerali ile birlikte Maldonit ( $\text{Au}_2\text{Bi}$ ) şeklinde bulunmaktadır. Maldonit mineralinin özkütlesi  $15,50 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Mohs sertliği altın cevherinkinden daha düşüktür ve siyanür çözeltilerinde çok düşük miktarlarda çözünmektedir (Marsden ve House, 2006). Şekil 2.4.'te Bonn Üniversitesi Mineral Müzesi'nde bulunan maldonit minerali görseli verilmiştir.

#### 2.5. Kükürtlü Minerallerde Altın Oluşumu

Altın bazen Arsenopirit, Pirit, Tetrahedrit ve Kalkopirit gibi kükürt minerallerinin içinde bulunarak refrakter altın cevherlerini oluşturmaktadır (Çelik, 2004). Şekil 2.5.'te Kükürtlü mineral örnek görseli verilmiştir. Şekil 2.6.'da kükürtlü mineraller içinde altının mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.5. Kükürlü mineral örnek görseli.



Şekil 2.6. Kükürlü mineraller içinde altının büyütülmüş hali (Kuzey İtalya- Demir-Bakır-Çinko minerallerinin içindeki altın taneleri) (Çelik, 2004).

Genellikle altın cevherleri refrakter ve öğütlemeyle serbestleşen şekilde iki grupta incelenmektedir. Öğütlemeyle serbestleşenler basit gravite metotlarıyla ya da doğrudan siyanür liçi kullanılarak işlenebilme özelliğine sahiptir. Basit öğütlemeyle serbestleşen altın cevherlerine 100-250 mg/L siyanür konsantrasyonunda, 20-30 saatlik süre boyunca ve pH=10,5-11,0 dolayında olmak üzere liç işlemi gerçekleştirildiğinde, altından verim elde etme ve geri kazanım oranı %90'ın üzerine çıkabilmektedir. Altın cevherlerinden geleneksel siyanür liçi metodu uygulanarak ekonomik altın kazanımlarının sağlanamadığı hallerde bu cevherler refrakter şekilde isimlendirilmektedir (La Brooy, Linge ve Walker, 1994). Refrakterlik derecesine göre altın kazanım verimi Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Altın cevherlerinin refrakterliğinin sınıflandırılması (La Brooy, Linge ve Walker, 1994).

Altın Kazanımı: <%50	Yüksek refrakter
Altın Kazanımı: %50-80	Orta refrakter
Altın Kazanımı: %80-90	Hafif refrakter
Altın Kazanımı: %90-100	Refrakter olmayan (öğütlemeyle serbestleşen cevherler)

Altın refrakterliğinin temel nedenlerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır (Fernandez ve Sohn, 2000).

- Altının kapalı halde özellikle pirotit, arsenopirit ya da pirit benzeri sülfür mineralleri içerisinde bulunuyor olması,
- Demir ve bir kısım metal sülfürlerin liç ortamında oluşan parçalanma ürünlerinin oksijen ve/veya siyanür ile tepkimeye girmeleri,
- Cevherde arsenik minerallerinin bulunması,
- Cevherin tellüridler benzeri siyanürde çözünmeyen bileşikler ile beraber olması,
- Çözünmüş haldeki altını adsorbe edebilen karbonlu malzemelerin ortamda bulunması,
- Altın siyanür bileşiğini adsorbe etme özelliğine sahip kil minerallerinin ortamda bulunması.

Yer yüzeyine yakın bulunan altın yataklarında altının yanındaki diğer mineraller oksijen, su, bakteriler ve güneş ışığı etkisiyle oksitlenebilmektedir. Bu durumdaki cevherler geleneksel siyanür liçi kullanılarak rahatça işlenebilme özelliğine sahiptir. Bunun yanında bu tip yatakların sayısı gün geçtikçe azalmakta ve bitmektedir. Çağımızda toplam altın üretiminin yaklaşık 1/3'üne denk gelen kısım refrakter şeklinde bilinen altın yataklarından elde edilmektedir. Ancak bu oranda her geçen gün artış yaşanmaktadır. Zira oksitlenmiş ve yüzeye yakın altın yatakları hızla tükenmeye doğru gitmektedir. Refrakter altın yataklarında bulunan altın tanecikleri siyanür kullanılarak kolayca çözümlenmemektedir. Bunun nedeni altın minerallerinin, özellikle arsenopirit ve pirit içerisinde hapsolmuş halde bulunmasıdır. Bu şekildeki altın kaynaklarını değerlendirilebilmek için, sülfür minerallerini parçalayarak altının siyanür ile temas etmesine neden olacak bazı ön hazırlık işlemleri uygulanmakta ve daha sonra siyanür liçi işlemine geçilmektedir (Brierley, 1995).

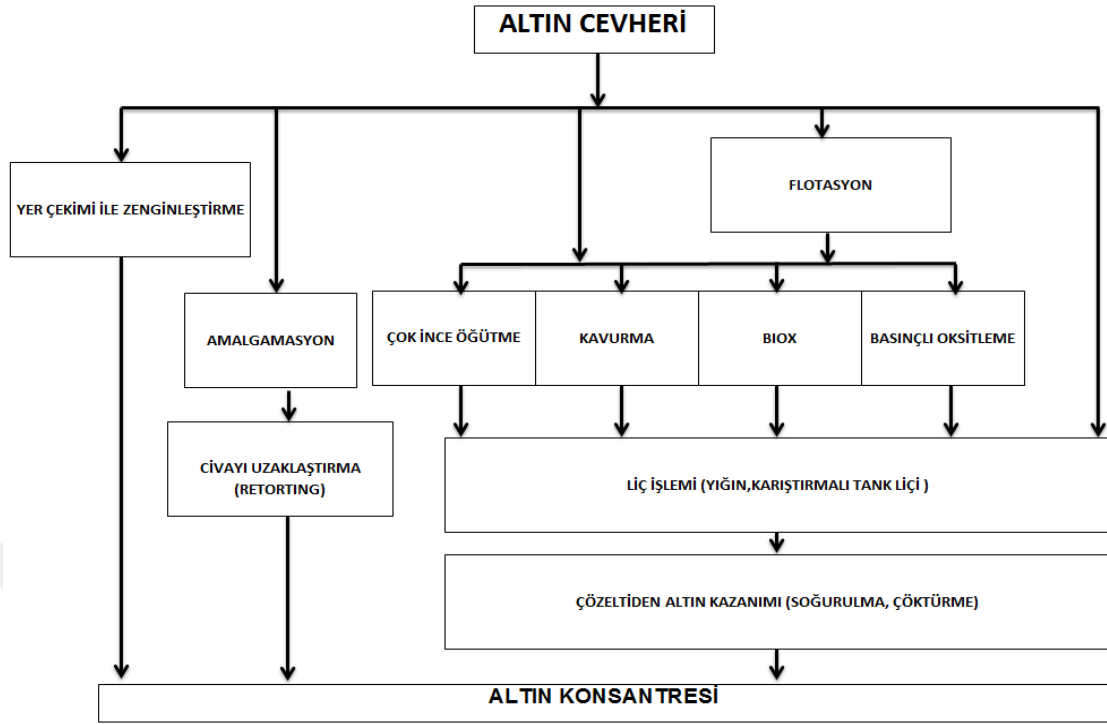
## BÖLÜM 3. ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Altın üretiminde uygulanacak yöntemi;

- Cevherin oluşum koşulları,
- Türü,
- Tenörü ve
- Cevherdeki altın tanelerinin boyutları olmak üzere dört önemli parametre belirlemektedir. Geniş aralıkta tenör dağılımına sahip olan altın cevherleri için işletilebilir cevher tenörü, altının satış fiyatı ve işletme masraflarına bağlı olarak değişmektedir.

Günümüzde altın fiyatlarının yüksek olması, düşük tenörlü cevherlerin işletilmesine olanak sağlamaktadır. 0,20 ons/ton veya daha yüksek oranda altın içeren ve ekonomik tenör sınırı yaklaşık olarak 0,07 ons/ton olan altın cevherleri için geliştirilmiş ve uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıdaki gibidir. Şekil 3.1.'de şematize edilmiştir.

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



Şekil 3.1. Altın kazanım yöntemleri (La Brooy, Linge ve Walker, 1994).

### 3.1. Kimyasal Zenginleştirme/Liç

Cevherdeki değerli metalin uygun bir çözelti içerisinde seçimli olarak çözündürülmesi ve çözeltilen seçimli olarak kazanılması için uygulanan işlemler dizisine liç adı verilmektedir. Başka bir deyişle liç çözünürlük farkı ile zenginleştirme işlemidir. Yaygın olarak altın, bakır, gümüş, platin gibi değerli metal cevherlerinin zenginleştirilmesi için uygulanmaktadır. Nadir toprak elementleri, uranyum, toryum, trona ve çeşitli tuzların zenginleştirilmesinde de uygulamaları mevcuttur. Liç işlemi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- Liç öncesi hazırlık işlemleri (boyut küçültme ya da aglomerasyon, sınıflandırma, ön zenginleştirme, ısı işlem vs.),
- Cevherdeki değerli mineralin çözeltilmesi,
- Çözelti içerisinde değerli mineralin geri kazanılması.

Cevherlerden altını verimli halde kazanmak için en fazla tercih edilen metot siyanür liç metodudur. Bu proses uygulanırken cevherde bulunan altın, siyanürlü çözeltiye alınmakta ve ardından aktif karbon adsorbsiyonu ile saflaştırma veya çinko tozu ile çöktürme yapılmakta ve en son olarak elektroliz yöntemi kullanılarak çözeltiden geri kazanılması sağlanmaktadır. Son dönemde altının aktif karbona adsorbsiyonu daha çok endüstride kullanılmaktadır. Çözeltideki altını zenginleştirmek için geliştirilmiş bu yöntem endüstri alanında da başarılı bir şekilde kullanılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır (Sayiner, 2012).

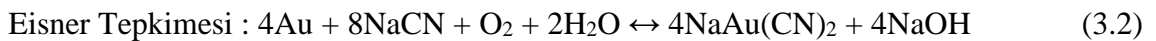
### 3.1.1. Altın metalurjisinde siyanürleme

Siyanür, bir karbon ve bir nitrojen atomunun biraraya gelmesinden oluşmaktadır. CN<sup>-</sup> kimyasal formülündedir. Su ile hidrolize olarak (3.1.) reaksiyonunda görüldüğü gibi gaz halinde bulunan hidrosiyanik asite (HCN) dönüşebilmektedir (Haque, 1992).

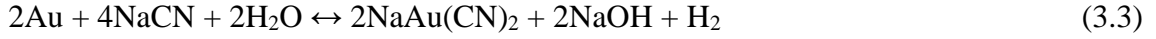


Tepkimenin yönü pH'a bağlı olarak değişiklik göstermektedir. pH: 9,3 iken çözeltideki CN<sup>-</sup> ve HCN eşit oranda yer almaktadır ancak, pH<9,3 olduğunda HCN daha çok oluşmakta, pH>9,3 olduğunda ise CN<sup>-</sup> daha çok meydana gelmektedir. Bunun yanında siyanür liçi tesislerinde, metalleri çözebilmeye özelliğinin olmaması, zehirli etkilerinin bulunması ve çözeltiden havaya karışarak solunmasıyla sağlığı tehdit etmesi gibi nedenlerle HCN gazının oluşması engellenmelidir. Bu tesislerde siyanür daha çok Ca(CN)<sub>2</sub>, KCN ve NaCN tuzları şeklinde kullanılmakta ve bunlardan en çok NaCN tuzu tercih edilmektedir.

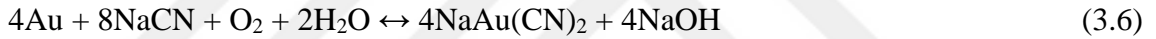
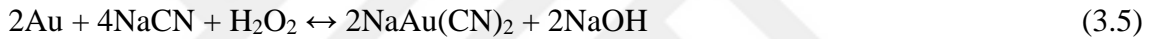
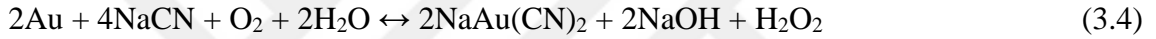
1846 yılında Eisner altının alkali siyanür çözeltilerindeki davranışını ilk kez incelemiş, atmosferik oksijenin altının siyanürlü çözeltilerde çözünmesi için gerekli olduğunu ortaya koymuş ve aşağıdaki kimyasal tepkimeyi öne sunmuştur (Sayiner, 2012).



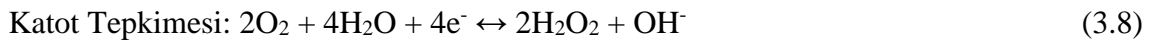
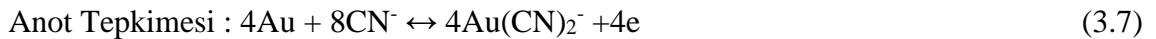
Altının siyanür liçi prosesi ile cevherden kazanımı metodunu Forrest ve MacArthur kardeşler bulmuşlardır. Tepkime (3.3.)'e göre altının siyanür liçinde hidrojen çıkışı bulunduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra bu reaksiyon Janin tarafından da destek görmüştür (Oygür ve Zambak, 2002; Kaya, Kurama ve Öz, 1996).



Daha sonraki bilim adamları Eisner'in tepkimesine daha sıcak bakmışlar ve altının çözünmesi için oksijene ihtiyaç olduğunu iddia etmişlerdir. Bodlander ise altın çözünmesinde iki aşamadan oluşan bir proses bulunduğunu ve bu prosesde hidrojen peroksitin ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ara ürün olarak oluştuğunu ileri sürmüştür (Jones, Staunton, 1991; Çelik, 1998).

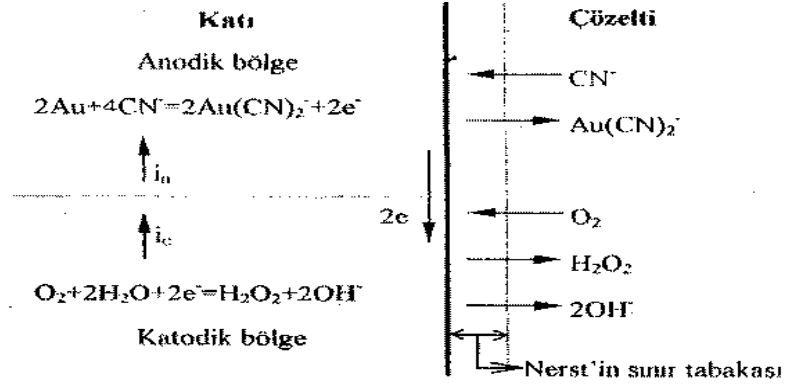


Boonstra altının siyanürlü çözeltilerdeki davranışının bir metalin korozyon mekanizmasına benzer olduğunu belirtmiştir. İşlem sırasında oksijenin  $\text{H}_2\text{O}_2$  veya  $\text{OH}^-$  redüklendiğini belirtmiştir. İlerleyen dönemlerde araştırmacıların çoğunluğu Boonstra'nın savını kabul etmiş ve altının anodik bir reaksiyona girerek elektron kaybettiği için çözüldüğünü ve bu elektronların çözülmüş oksijeni katodik bir reaksiyon sonucunda hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) iyonlarına dönüştürdüğünü ifade etmişlerdir (Jones ve Staunton, 1991).



Şekil 3.2.'de katı altından çözülmüş oksijene doğru olan elektron transferinin mekanizması gösterilmiştir. Siyanür ( $\text{CN}^-$ ) ve oksijen ( $\text{O}_2$ ) Nernst'in sınır tabakası içinde altın yüzeyine adsorblanmıştır. Altının çözünme oranı oksijen ve siyanürün sınır tabakasındaki difüzyonuna bağlıdır (Haque, 1992).





Şekil 3.2. Altın çözünmesinin elektrokimyasal mekanizmasının şematik gösterimi (Marsden ve House, 1992).

Sodyum siyanür suda aşağıdaki reaksiyon ile çözünür.



Hidrojen siyanürün (HCN) sudaki erirliği hemen hemen yok gibidir. Bu denkleme göre suda serbest alkalinin bulunması denklemi sola doğru çevirir.  $\text{CN}^-$  konsantrasyonu da pH yükseldikçe artar. Tablo 3.1.'de değişen pH'a karşı  $\text{CN}^-$  konsantrasyonu ve HCN gösterilmiştir.

Tablo 3.1. pH'ın  $\text{CN}^-$  iyonu konsantrasyonuna ve HCN'in erirliğine etkisi (Özbayoğlu, 1989).

pH	Millimole/Millimole	
	$\text{CN}^-$	HCN
6.0	0.000	0.999
6.5	0.001	0.998
7.0	0.004	0.995
7.5	0.014	0.985
8.0	0.045	0.955
8.5	0.129	0.871
9.0	0.320	0.680
9.5	0.597	0.403
10.0	0.825	0.175
11.0	0.979	0.021
12.0	0.999	0.001
13.0	1.000	0.000

Altın cevherlerinin mineralojik yapısında bulunan bir takım mineral ve metaller de alkali siyanür çözeltileri içinde çözünmeye uğramaktadır. Bu çözünme reaksiyonları gerçekleşirken oksijen ve siyanür kullanılarak harcanmakta ve yeni kompleksler ortaya

çıkılmaktadır. Sonuç olarak altının liç veriminde giderek düşüş yaşanmakta ve ortaya çıkan metal-siyanür kompleksleri liç işleminden sonraki proses aşamalarında karşılaşılabilecek bazı sorunları oluşturmaktadır (Bayraktar, Yarar, 1985; Bhappu, Milton, 1974). Çözünme tepkimeleri neticesinde ortaya çıkan altın-siyanür kompleksine ait denge sabitinin yüksek olmasının sonucu olarak, altının siyanür liçine alınmasında yüksek derişimlere ihtiyaç yoktur. Diğer metal-siyanür komplekslerinin bulunmadığı bir liç işleminde 100 mg/L NaCN derişimi (yaklaşık 50 mg/L CN<sup>-</sup>) etkili altın kazanımı için yeterli olmaktadır (Fell, Miller ve Ambrosis, 1993). Altın ile birlikte sık rastlanılan önemli mineraller Tablo 3.2.'de verilmiştir. Bulunan mineral türü, miktarı ve şekline göre siyanürleme mekanizmasını etkilemektedir.

Tablo 3.2. Altın ile birlikte sık rastlanılan önemli mineraller (Smit ve Mudder, 1991).

	Metaller	Sülfürler	Arsenitler	Antimonitler	Selenitler	Tellüritler
Demir		FeS pirotit FeS <sub>2</sub> pirit, markasit	FeAsS arsenopirit			
Kobalt			CoAsS kobaltit			
Nikel		(Fe.Ni) <sub>8</sub> S <sub>8</sub> pentlandit				
Altın	Au nabit altın Au.Ag elektrum			AuSb <sub>2</sub> aurostibnit		AuTc <sub>2</sub> krennerit. kalaverit
Gümüş	Ag nabit gümüş Au.Ag elektrum	Ag <sub>2</sub> S arjantit (Pb.Ag) <sub>2</sub> S Arjantiferrous galen	Ag <sub>3</sub> AsS <sub>2</sub> prostit (Cu.Fe.Ag)As <sub>4</sub> Si <sub>3</sub> arjantiferrous tennantit	Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub> pirarjirit (Cu.Fe.Ag) <sub>4</sub> S <sub>3</sub> arjantiferrous tetrahedrit	Ag <sub>2</sub> S Naumanni t	Ag <sub>2</sub> Te hessit
Civa		HgS zinober				
Bakır	Cu nabit bakır	Cu <sub>2</sub> S kalkozin CuS kovellin Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub> bornit CuFeS <sub>2</sub> kalkopirit	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> enarjit [(Cu.Fe)As <sub>4</sub> S] <sub>3</sub> tennantit	[(Cu.Fe) <sub>2</sub> Sb <sub>4</sub> S] <sub>3</sub> tetrahedrit		
Kurşun		PbS galen				
Çinko		ZnS sfalerit				
Karbon	C grafit/a morf karbon					
Arsenik		AsS realgar As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> orpiment				
Antimuan		Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> stibnit				
Bizmut	Bi nabit bizmut	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> bizmutinit				

### 3.1.2. Bazı ağır metallerin siyanür çözeltilisindeki davranışları

Gümüş; Altının yanında az miktarda bulunabilen gümüş minerallerinin siyanür çözeltilerinde nasıl davrandığı önem arz etmektedir. Siyanür çözeltilerinde bulunan metalik gümüş altına benzer bir davranış göstermekte olup, anodik çözünme reaksiyonu aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.



Bu tepkime için  $E^\circ=0,31\text{V}$  dur.

Altının çözünmesi için gereken optimum şartlar sağlandığında altının çözünme oranı gümüşün çözünme oranından yüksek çıkmaktadır. Gümüş-siyanür bileşiği, altın-siyanür bileşiğinden daha zayıf yapıda olduğu için daha etkili bir siyanür derişimi ve/veya daha uzun liç zamanı gerektirir. Diğer liç şartlarının aynı olması durumunda altın ile gümüşte aynı miktarda çözünürlük değerinin alınabilmesi için, gümüş liçine altından 10 kat daha fazla siyanür derişimi gerekir. Gümüş için gereken liç zamanı altına kıyasla iki kat daha uzundur. Gümüş kazanma veriminde artış sağlamak amacıyla siyanür yoğunluğunun yükseltilmesi, altın ve gümüş dışında kalan metalik minerallerdeki çözünürlüğü artırarak çözeltildeki metal iyon derişimini yükseltir, siyanür tüketimini artırır ve altına olan seçimliliği düşürür. Yükselen siyanür ve metal iyonları derişimi atıkların arıtılma maliyetini artırır. Bu sebeplere dayanılarak gümüş kazanımının artırılması düşünüldüğünde hem harcanan siyanür miktarı hem de oluşan atıkların arıtılması için gerekli maliyet ekonomik açıdan değerlendirilmelidir (Smit ve Mudder, 1991).

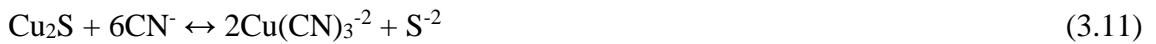
Bakır; Bu minerallerin büyük çoğunluğu siyanürlü çözeltiler içerisinde yüksek çözünürlük göstermektedir (kalkopirit hariç, %5,6 gibi düşük bir çözünme oranına sahiptir). Bakır siyanür ile çok çeşitli kompleksler oluşturduğu için  $(\text{Cu}(\text{CN})_2)^-$   $\text{Cu}(\text{CN})_2$  ve  $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$  gibi çok mühim siyanür tüketici metallere biridir. En sık rastlanılan kompleks ise  $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$  kompleksidir. Bunun yanında bakır minerali altın kazanım prosesindeki bütün aşamalardan geçip külçe altına karışabilme özelliğine sahiptir. Aşağıdaki Tablo 3.3.'te %0,1 NaCN çözeltilisinde liç işlemi uygulanan ve %100'ü 150

mikronun altına öğütülen farklı bakır minerallerinin toplam çözünme miktarları yüzde olarak gösterilmektedir (Marsden ve House, 1992).

Tablo 3.3. %0,1 NaCN çözeltisinde bakır minerallerinin çözünürlükleri (Marsden ve House, 1992).

MİNERAL	FORMÜLÜ	ÇÖZÜNEN TOPLAM BAKIR YÜZDESİ	
		23 <sup>0</sup> C	45 <sup>0</sup> C
Azurit	2CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	94,5	100,0
Malakit	CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	90,2	100,0
Kalkozin	Cu,S	90,2	100,0
Metalik Bakır	Cu	90,0	100,0
Kuprit	Cu <sub>2</sub> O	85,5	100,0
Bornit	FeS.2Cu,S.CuS	70,0	100,0
Enarjit	Cu,AsS <sub>4</sub>	65,8	75,1
Tetrahedrit	(Cu.Fe)12Sb <sub>4</sub> S <sub>5</sub> ,	21,9	43,7
Krisocolla	CuSiO <sub>3</sub> ,	11,8	15,7
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	5,6	8,2

Bakır sülfürler (Cu<sub>2</sub>S gibi) siyanür ile reaksiyona tabi olduklarında bakır-siyanür bileşikleri ve suda çözünür sülfür iyonu (S<sup>-2</sup>) haline gelirler. Sülfür iyonu ise oksitlenerek sülfat iyonlarına dönüşür. Bunun yanında sülfür iyonu oksijenin de devreye girmesi sonucunda siyanür ile tepkime oluşturarak tiyosiyanaata dönüşebilmektedir. Ayrıca sülfür iyonları (S<sup>-2</sup>) altının çözünmesini engelleyecek şekilde altının yüzeyini kaplayarak, altının çözeltilmeye geçmesinin yavaşlamasına sebep olabilir. Sülfür iyonlarının bu olumsuz etkisi, suda çözünür kurşun veya civa tuzlarının kullanılıp PbS ve HgS şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılmaları ile azaltılabilir (Haque, 1992).



Siyanür çözeltilerinde oldukça kolay çözünmesine rağmen nabit bakırın çözünürlüğü, altın ve gümüşün çözünürlüklerinden daha düşüktür. Bakır siyanür bileşiklerinin altını çözme kabiliyetleri sınırlıdır. Bakırın altının çözünme oranına olan olumsuz etkisi, çözeltilinin sodyum siyanür derişimini kontrolü ile aşılabılır. Bu amaç için moleküler

NaCN/bakır oranının 4,5/1 den yüksek tutulması gerekmektedir (Marsden ve House, 1992).

Demir; Altın cevherlerinde sıklıkla sülfürlü ya da oksitli bileşikler şeklinde bulunabilmektedir. Kırma ve öğütme devrelerinden geçen siyanür prosesine metalik demir de karışabilmektedir. Siyanür ile demir mineralleri (pirotit, markasit,  $Fe_5S_6$  gibi) çok kolay reaksiyon gerçekleştirebilmektedir. Altın cevherlerinde en fazla karşılaşılan demir sülfür minerali Pirit ( $FeS_2$ ) olup, altının siyanür liçi prosesinde çok az olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

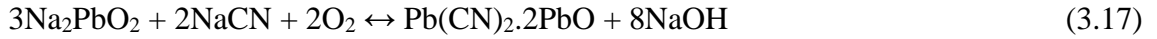
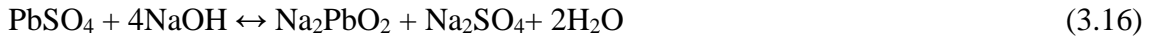
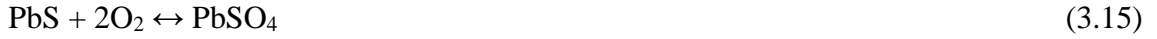
Demir sülfürler de aynı bakır sülfürler gibi oksijen ve siyanür tüketimini artırmaktadır. Suda çözünür sülfürün altın çözünmesi üzerine negatif etkisi suda çözünür kurşun ve/veya ön havalandırma ya da civa tuzları kullanmak gibi yöntemlerle düşürülebilmektedir. Hematit ( $Fe_2O_3$ ), manyetit ( $Fe_3O_4$ ), götit ( $FeOOH$ ), siderit ( $FeCO_3$ ) ve demir silikatlar alkali siyanür çözeltilerinde neredeyse çözünmemektedirler. Demir karbonat ve diğer kompleks karbonat mineralleri düşük alkaliteli ( $pH < 10$ ) çözeltilerde parçalanmaya uğramaktadırlar. Ancak altının siyanür liçinde kullanılmakta olan yüksek pH derişimlerinde bu minerallerin reaktiviteleri büyük oranda düşüş göstermektedir. Önemli bazı demir sülfür minerallerinin siyanür çözeltisinde parçalanma oranları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Pirotit > Markasit > Arsenopirit > Pirit

Alkali siyanür çözeltileri ile demir sülfürleri pasifize etmek için yüzeylerinde Fe(III) hidroksit tabakası oluşturulabilir. Ancak çözünmez demir oksit/hidroksitlerin oluşması genellikle tercih edilmez. Bunun nedeni altın taneciklerinin de pasifize olup, liç verimini düşürebilecek olmasıdır (Marsden ve House, 1992).

Kurşun; Çok çeşitli kurşun mineralleri bulunduğu halde altın cevherlerinde en çok karşılaşılan çeşidi galen mineralidir ( $PbS$ ). Siyanür iyonlarına karşı aktif özellikte olmayan bir mineral olan galen, yüzey oksidasyonu gerçekleştirerek  $PbSO_4$  kompleksine dönüşmektedir. Yüksek alkali çözeltilerdeki  $PbSO_4$ , suda çözünür plumbatın ( $Na_2PbO_2$ )

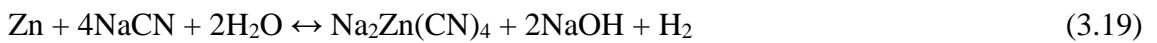
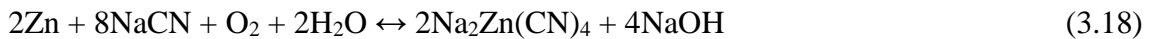
oluşmasını sağlar. Plumbat ise siyanür ile aşağıda gösterilen reaksiyonlara girerek, çözünebilir kurşun-siyanür kompleksleri meydana getirmektedirler (Çelik, 2004; Marsden ve House, 1992).



Anglesit ( $\text{PbSO}_4$ ) bulunduran cevherlere alkalisi düşük ortamda siyanür liçi uygulayarak, suda çözünür plumbat oluşması en aza indirilebilir. Kavurma işlemi yapılırken kurşun mineralleri kıymetli metallerin üzerini kaplayabilen çözünmeyen oksit bileşikleri meydana gelmesini sağlayabilirler. Bu sorunu gidermek için kavurmayla oluşan ürünü siyanür liçine tabi tutmadan önce tuzlu su (brine) ile yıkamak gerekir (Haque, 1992).

Çinko; altın cevherlerinde en fazla karşılaşılan çinko minerali çeşidi sfaleritdir ( $\text{ZnS}$ ). Sfaleritin siyanür ile reaksiyona girmesinden sülfür iyonu ( $\text{S}^{2-}$ ) ve suda çözünen çinko-siyanür kompleks iyonu ( $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ ) oluşmaktadır. Çinko siyanür kompleksinde denge sabitinin düşük olması nedeniyle, altına siyanür liçi uygulaması gerçekleşirken ortama siyanür iyonu ( $\text{CN}^-$ ) verilmesi gerçekleşmektedir (Haque, 1992).

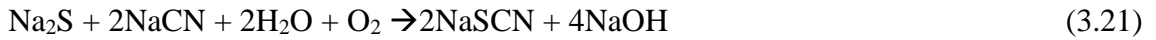
Günümüzde siyanür proseslerinin çoğunda siyanürlü çözeltilerden değerli metalleri çöktürmek için metalik çinko tozundan yararlanılmaktadır (Merill-Crowe prosesi). Çöktürme işlemi esnasında siyanür çözeltisi içinde çözünen çinko, farklı siyanür kompleksleri (çinko siyanür, çinko ferrosiyanür, çinko tiyosiyanat, kalsiyum veya sodyum çinko siyanür vb.) oluşturmaktadır. Çinkonun siyanür çözeltilerindeki çözünürlüğü oksijenden bağımsızdır. Çözünme tepkimeleri aşağıda gösterilmiştir.



Çinkonun siyanür çözeltilerinde sadece çöktürme prosesi sonucu oluşmayıp, çoğu değerli metal cevherleri sfalerit (ZnS), marmatit (ZnS + FeS), simitsonit (ZnCO<sub>3</sub>) ve villemite (Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) gibi çeşitli çinko mineralleri içerebilmektedir. Sfaleritin siyanürlü çözeltilerdeki çözünmesi tepkimesi aşağıdaki gibidir.



Na<sub>2</sub>S daha sonra NaCN ile aşağıdaki tepkimeye göre çözünmektedir.



Sfalerit, altını çözmek için ihtiyaç duyulan oksijen ve siyanürün tükenmesini sağlayarak liç verimine negatif etkide bulunmaktadır. Bunun yanında çinko-siyanür komplekslerinin denge sabiti düşük olduğu için altına siyanür liçi uygulamasında gereken CN<sup>-</sup> iyon kaynağı şeklinde de değerlendirilebilmektedir (Çelik, 2004). Bazı çinko minerallerinin siyanürlü çözeltideki çözünürlükleri Tablo 3.4.'te verilmektedir.

Tablo 3.4. Bazı çinko minerallerinin siyanürlü çözeltideki çözünürlükleri (Çelik, 2004; Jones ve Staunton, 1991).

MİNERAL	FORMÜL	% ÇÖZÜNÜRLÜK
Villemite	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	13,1
Hemimorfit	H <sub>2</sub> Zn <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	13,4
Sfalerit	ZnS	18,4
Franklinite	(Fe, Mn, Zn) <sub>0</sub> .(Fe, Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,2
Hidrozinke	2ZnCO <sub>3</sub> .3Zn(OH) <sub>2</sub>	35,1
Zinke	ZnO	35,2
Smitsonite	ZnCO <sub>3</sub>	40,2

Civa içerikli altın cevherlerine nadir rastlanılmaktadır. Civa siyanür ile kuvvetli kompleksler (Hg(CN)<sub>4</sub><sup>-2</sup>) oluşturduğu için önemli oranda siyanür sarfiyatına neden olur. Siyanür çözeltisinde çözülmüş civa karbon adsorpsiyonu ve sıyırma aşamalarında altın ile birlikte hareket etmekte ancak ergitme aşamasında altından ayrılmaktadır. Çözülmüş civa, liç çözeltisinin sodyum veya kalsiyum sülfür ile işlem görmesi neticesinde civa sülfür bileşiği (HgS) şeklinde çöktürülebilmektedir (Çelik, 2004; Haque, 1992).

Arsenik ve Antimuan; altın cevherleri veya konsantrelerinde arsenopirit (FeAsS), orpiment (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), stibnit (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ve realgar (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) şeklinde bulunmaktadır. İçlerinden

arsenopirit en sık rastlanılanıdır. Bazı arsenopiritik altın taneleri ince öğütmeden sonra siyanür prosesi ile kazanılabilmektedir. Arsenopiritin siyanür liçini olumsuz etkilememesi; altının arsenopirit içerisinde çok ince saçılımlar halinde veya mineral yapısı içerisinde hapsolmemiş olmasına bağlıdır (Çelik, 2004; Haque, 1992).

Antimuan ve arsenik siyanür ve oksijen tüketimini artırmaktadır. Tiyoantimonat ( $SbS_4^{-3}$ ), tiyoantimonit ( $SbS^{-3}$ ) ve tiyoarsenit ( $AsS_3^{-3}$ ) gibi bazı oksidasyon ürünleri altın taneciklerinin yüzeyini kaplayarak pasifize olmasını sağlamanın yanında yüksek miktarda oksijen de tüketirler. Bu nedenle de altının siyanür ile kazanılma verimi çok fazla düşmekte hatta tamamen durabilmektedir. Bununla beraber bu oksidasyon ürünleri ve/veya mineraller liç pülündeki Eh potansiyelini altının çözünemeyeceği seviyelere de düşürebilmektedirler. Altın çözünmesi üzerine bu minerallerden kaynaklanan negatif etkiler pülün, düşük alkali ( $pH < 10$ ) siyanür liçine tabi tutulmamasından önce havalandırılma uygulanması ile tamamen ve ya kısmen yok edilebilir. Düşük alkali siyanür liçi ve ön havalandırma yapma işlemi Kanada'daki Hemlo Altın Madeni'nde hala uygulanmaya devam edilmektedir. Bu minerallerin çözünürlükleri ile pH'a bağlılıkları arasında çok kuvvetli bir bağ vardır. pH değerleri yükseldikçe parçalanmaları da artış göstermektedir (Çelik, 2004; Haque, 1992).

Tellür; Genellikle silvanit, kalaverit, hessit ve krennerit gibi altın içeren tellür bileşiklerinin altının siyanür liçine olumsuz bir etkisi yoktur. Genel durumun aksine olumsuzluk oluşturmaları durumunda, hafif oksitleyici ön işlemler ( $Ca(OCl)_2$  ile oksidasyon gibi) bu durum bertaraf edilerek altının ekonomik kazanımı için yeterli olacaktır.

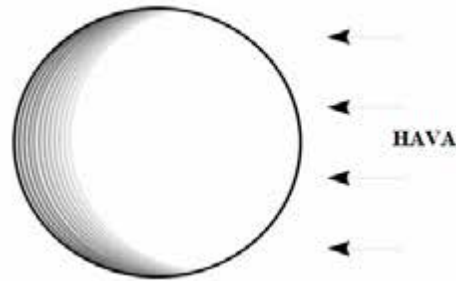
Siyanür içerikli çözeltilerde altın-tellürün parçalanma hızları altın-gümüş alaşımı ve sabit altının parçalanma hızlarına göre daha düşük olmaktadır. Çeşitli mineral yapıları açısından liç verimleri de farklılık göstermektedir. Daha çok tane boyutunun etki ettiği liç zamanları cevher tiplerinin bazılarında 14 günden fazla olabilmektedir. İnce öğütme işlemi gerçekleştirerek liç veriminin artırılması mümkündür. Örneğin altının liç verimi tellür bulduran flotasyon konsantresinin çok ince öğütülme işlemine ( $\%90 < 10$  mikron) tabi tutulması ile, öğütülmemiş halindeki  $\%80$  verim oranından,  $\%94$  kazanma verim



oranlarına kadar çıkarılmıştır. Aynı şekilde oksitleme için hava yerine oksijen kullanıldığında da liç verimi artış göstermektedir. Tellür yataklarının çoğunda ince öğütme işlemi yeterli verimi sağlayamamaktadır. Bu nedenle bu şekildeki konsantreler veya cevherlerden altını ekonomik miktarlarda kazanabilmek amacıyla klorlama ya da kavurma gibi bazı ön işlemler uygulanmaktadır (Çelik, 2004; Marsden ve House, 1992).

### 3.1.3. Yabancı iyonların etkisi

Yeryüzündeki altın genel olarak metalik durumda ve çoğunlukla farklı oranlardaki gümüş alaşımlarıyla beraber bulunmaktadır. Altın karakteristik yapısı gereği galen, pirit, kalkopirit, sfalerit, manyetiri, arsenopirit, pirotin, stibnit ve bir çok selenyum mineralleri ile beraber bulunmaktadır. Güney Afrika'daki Witwatersrand bölgesinde ise altının yanında uranit ve uranite göre daha az olmasına rağmen tukolit benzeri mineraller de bulunabilmektedir. Altın kazanımı sürecinde yan ürün olarak uranyum kazanılmaktadır. Ayrıca bazı altın cevherlerinde karbonlu bileşenlere rastlanılmaktadır (Habashi ve Baş, 2013).

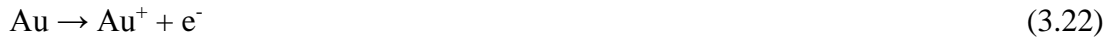


Şekil 3.3. Altının siyanür çözeltisinde çözünmesi sırasındaki galvanik davranışı (Habashi ve Baş, 2013).

En fazla karşılaşılan gang mineralleri feldispat, kuvars, mika, kalsit ve garnettir. Gang mineralleri siyanür çözeltisinde çözünmemektedirler ancak bunlardan bazıları düşük miktarlarda çözülmeye uğramaktadır. Karbonlu malzemeler ise liç çözeltilerindeki altın-siyanür kompleksini adsorplamaya neden oldukları için önemli sorunlara yol açmaktadırlar.  $SO_4^{-2}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $K^+$  ve  $NO_3^-$  gibi siyanür çözeltilerinde altın ve gümüşün parçalanmasında etkisiz bazı iyonlar dışında çoğu çözülmeye negatif ya da pozitif yönde etki etmekteydir.  $Pb^{+2}$  iyonlarının ise çözeltideki yoğunluğu önemli olup, bu yoğunluğa

göre çözünmeyi olumlu ya da olumsuz şekilde etkimektedirler. Çözünme işlemine yabancı iyonların ne yönde etki ettiğini ise söylemek oldukça zordur. Bunun nedeni çözünmenin eş zamanlı gerçekleşmekte olan iki reaksiyondan oluşmasıdır (Habashi ve Baş, 2013).

- Altın veya gümüş siyanür iyonunun oluşumunu içeren oksitlenme tepkimesi (3.22)



- Oksijenin indirgenme tepkimesi (3.23)



Konu ile ilgili mevcut literatür bilgileri, saf altın numunesinde yabancı iyonların etkilerinin araştırılması ile kaydedilmiştir (Habashi ve Baş, 2013). Ayrıca yabancı iyonların etkisi, anodik ve katodik tepkimeler üzerinden açıklanabilmektedir. Bu yaklaşımda altın veya gümüş elektrotları potansiyel akım yoğunluklarındaki değişimler, iki ayrı deney yapılarak araştırılmıştır:

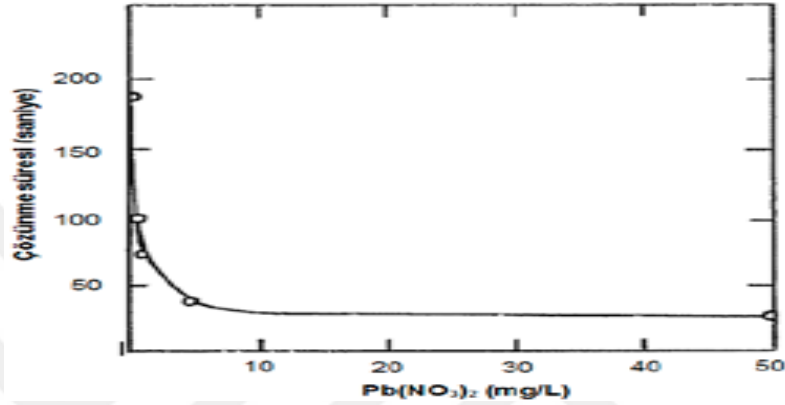
- Altın elektrot +  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^- + \text{CN}^-$  + yabancı iyon (oksijensiz ortam).
- Altın elektrot +  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$  + yabancı iyon (siyanürsüz ortam).

Birinci deney ile, oksijenin altın yüzeyine indirgenmesinde yabancı iyonun etkisi ve ikinci deney ile de aynı iyonun anodik tepkimeye (siyanür çözeltilisinde altının çözünmesine) etkisi açıklanabilir. Ancak çözünme için uygulanan potansiyel, gerçek siyanür liçinden farklıdır. Bu sebeple bu yaklaşımda yorum önemlidir. Yabancı iyonların etkisini anlamaya yönelik diğer yaklaşım ise, yabancı iyonların radyoaktif indikatörlerini kullanmaktır (Habashi ve Baş, 2013).

### 3.1.3.1. Kinetik etki

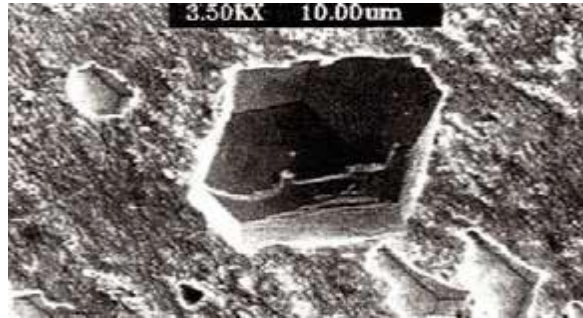
Çoğu araştırmada düşük miktardaki kurşun, bizmut, talyum ve civa tuzlarının çözünmeyi hızlandırdığı belirtilmiştir. Şekil 3.4.'te Kurşunun altının çözünmesine etkisi grafiği

verilmiştir. Siyanür çözeltisindeki elektrot potansiyelleri incelenmiş, altının sadece Pb, Bi, Tl, Hg iyonlarıyla yer değiştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu metal iyonların varlığında, altın iyonlarla alaşım oluşturur ve yüzey özellikleri değişir. Bu değişimin altının daha hızlı çözünmesinde rol oynadığı düşünülmektedir. Yapılan ilk araştırmalarda,  $Pb^{+2}$  iyonu içeren siyanür çözeltilerinde, altın yüzeyinde kurşuna rastlanmış fakat yapısı incelenmemiştir (Habashi ve Baş, 2013).



Şekil 3.4. Kurşunun altının çözünmesine etkisi (%0,1 NaCN) (Habashi ve Baş, 2013).

Son dönemde yapılan elektron mikroskobu incelemeleri ile yüzeyde kurşun- altın alaşımı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu alaşımın kolayca çözünmesi göz önünde bulundurularak kurşunun çözünme sürecinde katalitik etkisinin olduğu belirtilmektedir. Endüstri uygulamalarında sülfürlü minerallerin olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla siyanür çözeltisine kurşun tuzlarının ilavesi yaygın bir uygulamadır. Ayrıca yüksek oranda kurşun tuzu ilavesi altının çözünmesini olumsuz yönde etkilemektedir (Habashi ve Baş, 2013). Siyanür liçi sırasında  $Pb(NO_3)_2$  varlığında altın yüzeyinde oluşan altın-kurşun alaşımı görüntüsü Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Siyanür liçi sırasında  $Pb(NO_3)_2$  varlığında altın yüzeyinde oluşan altın-kurşun alaşımı (Habashi ve Baş, 2013; Mussati, Hager ve Martin, 1997).

### 3.1.3.2. Olumsuz etki

$Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ve  $Ca^{2+}$  gibi metalik katyonların çözünmeye negatif etkisi olmaktadır.  $Pb^{2+}$  iyonu ise siyanür liçinde çok önemli bir göreve sahip olduğu bilinmesine rağmen altının çözünmesi üzerine etkisiyle ilgili çalışmalarda aynı sonuca ulaşamamıştır. Ancak  $Pb^{2+}$  iyonlarının siyanür iyonlarına oranla daha az miktarda bulunduğu durumlarda çözünmeyi hızlandırdığı,  $Pb^{2+}/CN^-$  oranı belli bir değeri aştığında çözünmeyi olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılabilmektedir.

Ksantat ve sülfür iyonları gibi bir takım flotasyon reaktifleri altının parçalanmasına yavaşlatıcı yönde etki etmektedir. Bu negatif etkiye aşağıda belirtilen maddeler sebep olabilmektedir:

Oksijen tüketimi: Altını parçalayabilmek için oksijene ihtiyaç vardır. Oluşan yan tepkimeler çözeltideki oksijen miktarını azalttığı için altının parçalanma hızını da azaltmaktadır. Bir cevherde altın ile birlikte pirotin de bulunuyorsa, pirotin alkali pH ortamında sülfür ve ferrus hidroksite dönüşerek bozunmaya uğramaktadır (3.24.). Bu da çözeltide bulunan oksijen konsantrasyonunda düşüş meydana getirmektedir (Habashi ve Baş, 2013).



Oksijen varlığında, ferrus hidroksit kolayca ferrik hidroksite yükseltgenir:



Sülfür iyonu ise tiyosülfata ve polisülfüre oksitlenir:





Serbest siyanür tüketimi; Siyanür komplekslerinin oluşumu: Altın cevherleri ile birlikte bulunan bir kısım demir, çinko ve bakır mineralleri kolayca siyanür çözeltileri içinde parçalanmakta ve bu şekilde çözeltideki siyanür yoğunluğunda azalma meydana getirmektedir. Bu olaya sfaleritin çözünmesi örnek gösterilebilir (Habashi ve Baş, 2013).

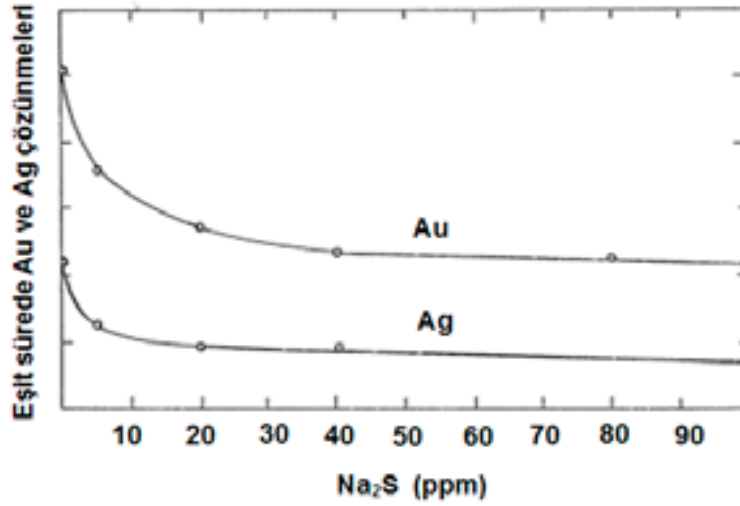


Tiyosiyanat oluşumu: Sülfür minerali barındıran cevherlerden çözünerek serbest duruma geçen sülfür iyonu, oksijen ve siyanür ile reaksiyona girerek tiyosiyanatı meydana getirir. Tiyosiyanat altın üzerinde her hangi bir etki göstermemektedir (Habashi ve Baş, 2013). :



Gang mineralleri üzerine adsorpsiyon : Altın bulunduran konsantre ve cevherler, kuvars, alumina silikat ya da diğer silikatları da bulundurabilirler. Alkali çözeltilere konulan bu mineraller çok ince tanecikli boyutlarda ise alümina ve kolloidal silikat meydana getirirler. Bunun yanında cevherde demir sülfür bulunması durumunda ferrik hidroksit meydana gelir. Bu gang mineralleri potasyum siyanür açısından yüksek adsorpsiyon kapasitesi taşımaktadırlar (Habashi ve Baş, 2013).

Metal yüzeyinde film oluşumu : Sülfürler: Siyanür çözeltisinde bulunan sülfür iyonları negatif sonuçlar doğurmaktadır. 0,5 ppm'de bulunan çok düşük düzeye sahip sülfür iyonlarında bile aynı etki ortaya çıkmaktadır. Bu negatif etkinin çözeltideki siyanür ve oksijen oranının tükenmesi ile alakası yoktur çünkü liç çözeltisinde bunların oranı yeteri kadar bulunmaktadır. Buna neden olarak altın tanecik yüzeyinde meydana gelen çözünmez altın-sülfür filmi olduğu ve bu filmin altın ile liç çözeltisinin temas etmesini engellediği için çözünmeye negatif yönde katkı sağladığı varsayılmaktadır (Habashi ve Baş, 2013).

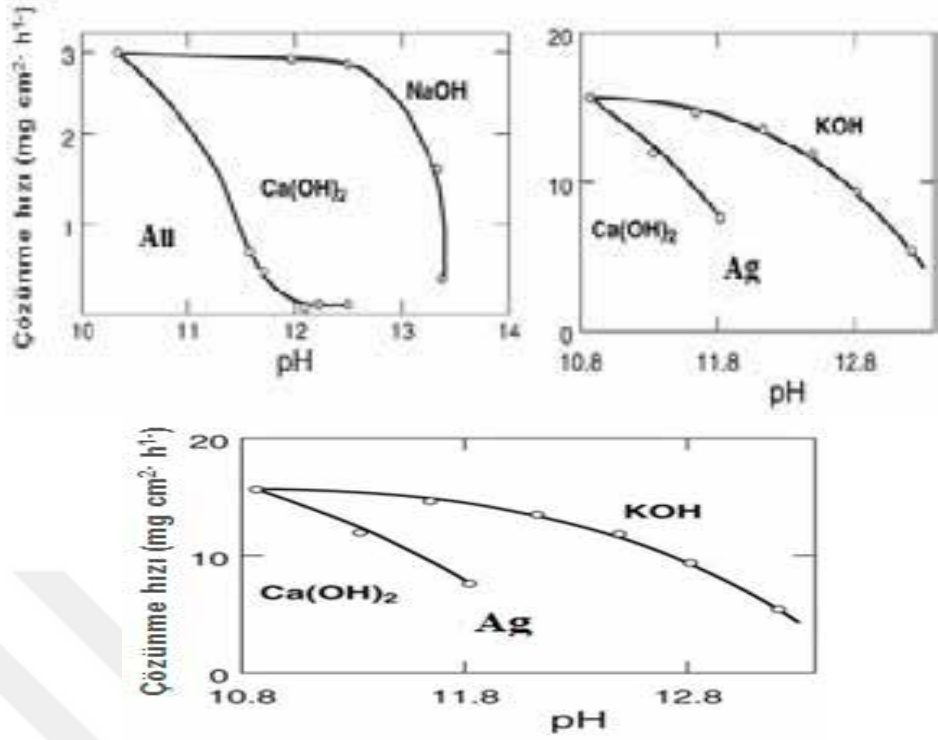


Şekil 3.6. Na<sub>2</sub>S'nin altın ve gümüş çözümlerine etkisi (%0,25 KCN) (Habashi ve Baş, 2013).

Çözeltide KCN varlığında ve oksijenin olmadığı hallerde sülfür iyonunu altının elektrot potansiyeline yok denecek kadar az etki etmektedir. Ancak KCN olmadığı ve oksijen varlığında ise kuvvetli etki göstermektedir. Eser miktarda bulunan sülfür, oksijenin katodik tepkimede indirgenmesine etki ederek altın yüzeyini pasifize etmektedir. Anodik tepkimede ise herhangi bir etki göstermemektedir (Habashi ve Baş, 2013).

Peroksitler: Altının çözünmesinde kalsiyum iyonlarının hiç bir etkisi yoktur. pH>11,5 olan ortamda altının parçalanma hızı çok fazla düşmektedir. Bunun yanında pH değeri aynı kalmak şartıyla (>11,5), Ca(OH)<sub>2</sub> ile hazırlanmış çözeltilerde, KOH ile ayarlananlara göre altın ve gümüş çözünmesi daha büyük bir azalma göstermiştir. Şekil 3.6.'da gösterilen bu azalmanın nedeni metal yüzeyinde oluşan kalsiyum peroksitin çözelti ile temas edilmesini engellemesi olabilir. Bu kalsiyum peroksitin, çözeltide hidrojen peroksit ve kireç birikmesi ile ortaya çıktığı varsayılmaktadır (Habashi ve Baş, 2013; Habashi, 1967). Yüksek alkali şartlarda kalsiyum iyonlarının metal çözünmesine olumsuz etkisi Şekil 3.7.'de verilmiştir.





Şekil 3.7. Yüksek alkali şartlarda kalsiyum iyonlarının metal çözünmesine olumsuz etkisi (Habashi, 1967).

### 3.1.4. Siyanür liçi yöntemleri

Siyanürleme yöntemi, arsenopirit ve piritli kompleks cevherlerin dışında, fizikokimyasal ve fiziksel tekniklerin az etki ettiği, tenörün düşük olduğu ve taneciklerinin çok ince hale getirildiği bütün altın cevherlerinin ekonomik şartlarda değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bunun nedenle günümüz şartlarında altın üretimi için en fazla ilgi gören uygulama olarak kullanılmaktadır. Arsenopirit ve piritli altın cevherleri flotasyon yöntemi ile zenginleştirilerek kavrulma işlemi yapıldıktan sonra siyanürlendiğinde, siyanür tüketiminde azalma olduğu görülmüştür (Lunt ve Briggs, 2005; Erkan, 2015).

Altın siyanürleme yöntemi ile sıvı hale geçmekte ve bu haldeyken direk çöktürme işlemi uygulama ya da aktif karbona soğurma, geri sıyırma ve elektroliz işlemlerini içeren hidrometalürjik prosesler uygulanarak elde edilmektedir.

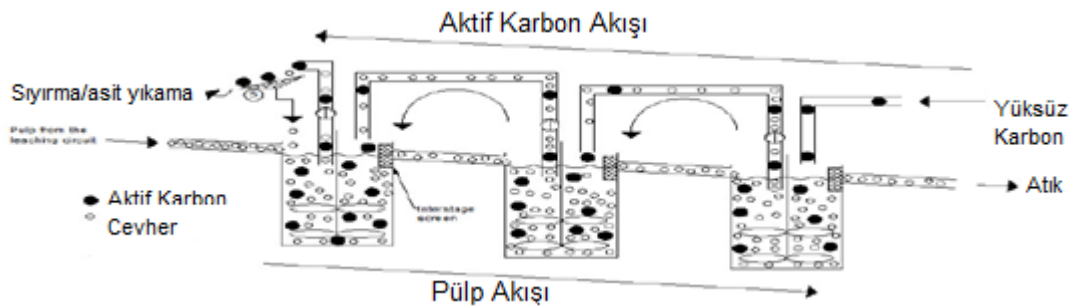
#### 3.1.4.1. Tank liçi

Altın cevherlerine tank liçi prosesleri uygulanırken, kırma ve öğütme işlemleri ile altının ufalanması ve cevherde bulunan ince altın taneciklerinin serbestleşerek yüzeylerinin

siyanürle temasa geçebilmesi amaçlanmaktadır. Bu işlemde daha çok bilyalı ve çubuklu değirmenlerin kullanılması sonucu, sulu şekilde 75 mikrondan küçük olarak öğütülen cevher, pülp haline getirilerek liç tanklarına verilmektedir. Tanklarda siyanür solüsyonu ile reaksiyona giren altın, böylece çözeltilmeye alınır. Altının siyanürle reaksiyona girerek, çözeltilmeye geçmesi için çözünmüş oksijen de gerekmesi sebebi ile liç tanklarında pülp içine saf oksijen ya da hava verilmektedir. Siyanürün gaza yani HCN(g)'ye dönüşümü, liç tanklarında pH'ı 10,3'ün üzerinde tutarak kontrol edilmektedir. Ph kontrolü cevhere kireç ilavesi (1,8-2,0 kg/ton) ilavesi ile sağlanmaktadır. Genellikle pülp % 45 katı oranında tutulmaktadır. 16-24 saatlik liç süresi ve 100-500 ppm NaCN konsantrasyonu altın liçi için uygun olmaktadır (Sayiner, 2012; Haque,1992).

Tank liçi işleminde, öğütme yapılması sonucunda cevherde bulunan ince altın tanelerinin çok miktarda serbestleştirilmesi sağlanarak %95'in üzerine çıkan altın kazanma verimine ulaşılmaktadır. Bunun yanında öğütme boyutu ne kadar küçülürse, öğütme maliyeti de o kadar artış göstereceği için ekonomik yönden optimum öğütme boyutlarında çalışma yapılması daha doğru bir işlem olmaktadır (Sayiner, 2012; Haque,1992).

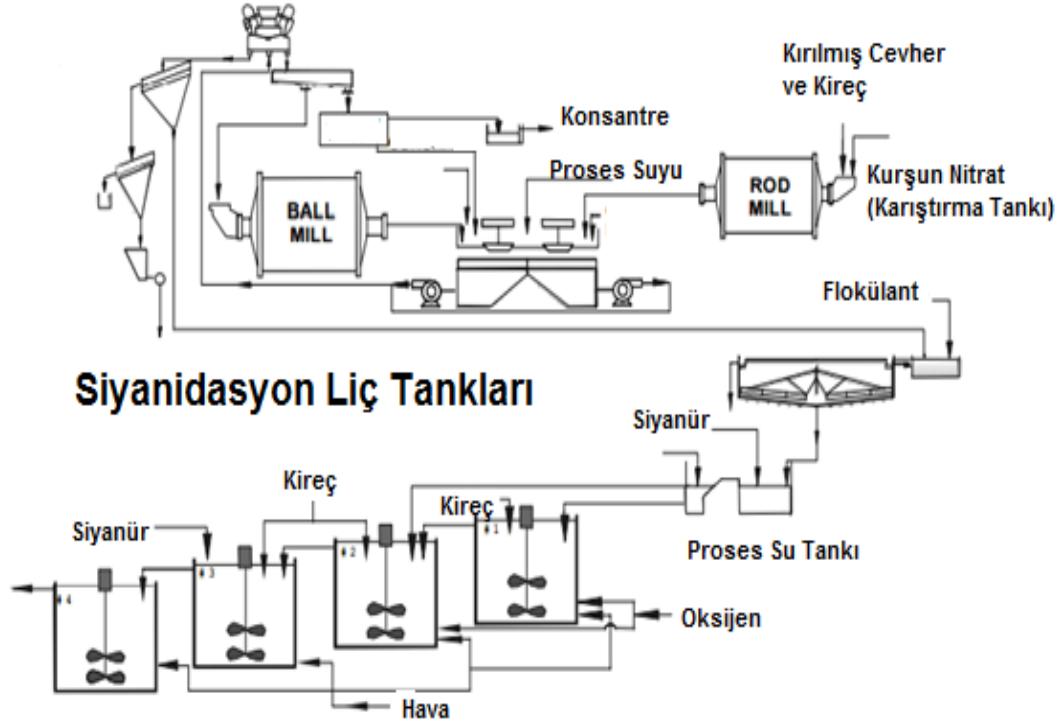
Liç işlemi sonrasında altını çözeltilen kazanmak için aktif karbona soğurma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin tank liçinde liçte karbon (Carbon in Leach – CIL ) ile pülpde karbon (Carbon in Pulp – CIP ) olarak iki farklı uygulaması bulunmaktadır (Sayiner, 2012; Haque,1992). Pülpde karbon (CIP) yönteminde, liç ünitesinden elde edilen çamur, tanklarda ters yönlü bir akışla aktif karbon ile temas ettirilir. Çözeltilmeye geçen altın aktif karbon yüzeyine adsorplanmaktadır. Yöntemin katı sıvı ayırımı gerektirmemektedir (Yamak, Somppi ve Drozd, 2017). Pülpde liç prosesinin (CIP) şematik gösterimi Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Pülpde liç prosesinin (CIP) şematik gösterimi (Yamak, Somppi ve Drozd, 2017).



Liçte karbon (CIL) yönteminde, siyanürleme aşamasında aktif karbon sisteme eklenmektedir. Çözünme ve karbona soğrulma eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir (Yamak, Somppi ve Drozd, 2017). Tank liçi proses şeması Şekil 3.9.'da ve proseste kullanılan tank görseli Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Tank liçi prosesi (Metallurgist911, 2019).



Şekil 3.10. Liç tankları.

Bergama-Ovacık Altın Madeni, Eskişehir-Kaymaz ve Gümüşhane-Mastra Altın Madeni'nde altının çözündürülmesi tank liçi yöntemi ile yapılmaktadır.

Karıştırmalı tank liçi : Küçük boyuta (<1 mm) indirilmiş cevher, kimyasal çözücü ve su karışımı pülpün, uygun bir tank içinde, atmosfer basıncında veya farklı basınçlarda mekanik veya havalı olarak karıştırılması ile yapılan işleme karıştırma liçi adı verilmektedir. Liç süresinin kısa (maksimum 10 saat) ve metal kazanma veriminin yüksek olması nedeniyle tercih edilen bir yöntem olup endüstriyel uygulaması en yaygın olan liç şeklidir (McClelland ve Hill, 1981). Şekil 3.11.'de karıştırmalı tank liçinde kullanılan tank örneği verilmiştir.



Şekil 3.11. Karıştırmalı liç tankı (McClelland ve Hill,1981).

#### 3.1.4.2. Yığın liçi

Yığın liçi, kil, asfalt, plastik, çimento gibi geçirimsiz bir zemin üzerinde istiflenen cevher yığının üzerine uygun bir çözücü gönderek yağmurlama, boru ağı gibi sistemlerle cevheri çözeltiyeye alma işlemidir. Hazırlıklı yığın liçi, yığın hazırlanmadan önce malzemenin boyut küçültme, şlam atma gibi ön işlemlerden geçirilmesidir. Doğrudan yığın liçi ise malzemenin herhangi bir ön hazırlık işlemine tabi tutulmaması durumundaki uygulamadır (Girginc, 1989).

Düşük tenörlü altın ve gümüş cevherleri klasik siyanürleme yöntemi ile ekonomik olarak değerlendirilememektedir. Ancak altın ve gümüş fiyatlarının sürekli olarak artışı bu kaynakların değerlendirilmesini gündeme getirmekte ve yapılan çalışmalar yığın liçi uygulamalarının bu konuda bir çözüm olabileceğini göstermektedir (Girginc, 1989; Pizarro, Pato ve Ricafart, 1987). Günümüzün ekonomik koşullarına bağlı olarak yaklaşık

2 g/t'un altında altın içeriyorsa yığın liçi uygulanabilmektedir. Yığın liçi yönteminde cevherin iri boyutta kırılması yeterli olduğu için, tesislerin en maliyetli aşaması olan öğütme işlemine gerek duyulmamaktadır. Cevherin iri boyutta olması sebebi ile altın tanelerinin yeterince serbestleşmemesi nedeniyle liç verimi, tank liçi yöntemine göre daha düşüktür. Ancak, öğütme maliyetinin olmaması büyük tasarruf sağlamaktadır (Haque, 992).

Yığın liçi yönteminden başarılı sonuçlar elde edilmesi amaçlanıyorsa altın ve gümüşü tutacak olan minerallerin yüksek oranda siyanür tüketen bileşenlerle kireç tüketimini artıracak asit yapıcı bileşenleri bulundurmaması, karbonlu malzemeler taşınamaması, altın tanelerini örtme özelliğine sahip demir oksit oluşmasını sağlayacak uygun malzeme bulunmaması, yığın içerisindeki siyanür çözeltisinin akmasına engel olacak kil gibi çok ince malzemeden oluşmaması gerekmektedir (Erkan, 2015).

Carlin tipi cevherlerde altın diğer minerallerin içinde dağılmakta ve bunun yanında yüksek reserve sahip olup, şist ve kireç taşı içinde çok ince (submikroskopik) altın içermektedir. Bu tip cevherler genellikle 75 mm'ye kaba kırma ile kırılarak yaklaşık %70 değerinde altın verimi alınabilmektedir. Yahut ocak çıkışı malzemeden de direk alınabilmektedir. Kuzey Nevada'daki en büyük yığın liçi projesinde bu tip cevher işlenmektedir. Oksitlenmemiş cevherlerde altın, kükürtler ve organik karbonlar içinde kilitli kalmaktadır. Bunun sonucunda da altın ile çözelti temas edememektedir. Nevada operasyonlarında oksitlenmiş ve oksitlenmemiş cevher beraber bulunduğu için karıştırmalı tank liçi, kavurma, yığın liçi ve otoklav aynı sahada görev almaktadır (Anonim, 2019). Sokulum kayaç tipi ya da düşük kükürtlü asit volkanik cevherlerine tipik olarak Round Mountain, Peru ve Nevada dolaylarında rastlanılmaktadır. Oksitlenmiş cevherlerin liç verimleri daha çok %65-85 aralığında değişim göstermektedir. Ancak bu değerlerde verim elde edebilmek için cevherin tane boyutu 12mm'nin altında kırılmış olması lazımdır (Erkan, 2015).

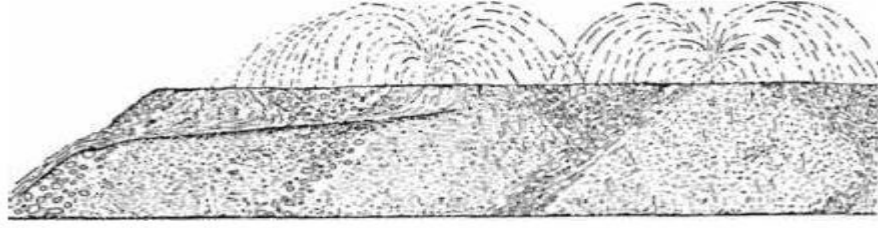
Oksitlenmiş masif sülfid cevherleri demir oksit içinde gümüş ve altın barındırmaktadır. Ancak bu cevherler yumuşak yapıda ve geçirgen özellikte olduğu için 75 mm'nin altına kırılmasının liç verimine olumlu etkisi olmamaktadır. Bu tip cevherlere en iyi örnekler

Hassai madeni ve Filon Sur cevheridir. Ince ve yumuşak olan bu cevherlere imento kullanılarak aglomerasyon uygulanmaktadır. Daha çok tropikal iklimlerde rastlanılan Laterit ve saprolit cevherleri bozunmuş cevherler olup, volkanik yapıda ve aralarına giren diğer ana kayalardan oluşmaktadırlar. Yüzey kapanım katmanı çok ince yapıdadır. Carlin tipi yatakların bazılarında, volkanik ana kayaların yapısında kil alterasyonu veya kil birikimi ile altın beraber oluşabilir. Buna en iyi rnekler Barney's Canyon madeni ve Buckhorn Madenidir. Bu tarz cevherler saprolit cevherlerdeki gibi işlenebilir ya da ara sıra kırma işlemine tabi tutulabilir. Sert kayalar ile yumuşak sulu kil beraber bulunduğu için daha çok birincil kırma işlemi tercih edilebilir. Kamyon kullanılarak serim işlemi gerçekleştirilmesi altın veriminde duişuşlere neden olabilir. Bu nedenle de serim işlemi bant kullanılarak gerçekleştirilir ve topaklandırma işlemine ihtiyaç kalmayabilir. Nevada madeni gümüş yönünden zengin cevher yataklarına sahip olup, altın ve gümüş tenörleri değişkenlik göstermektedir. Gümüş siyanürleme işleminde benzer davranış gösterse bile altın verimine göre gümüş verimi oldukça duişuş kalmaktadır (Kappes, 2005).

Hazırlanan yığının yeterince geçirgen ve gözenekli olması çok önemlidir. Ancak yığın hazırlanırken iri ve ince taneli malzemelerin ayrışmaya uğramasına dikkat edilmelidir. Buna dikkat edilmezse iri tanelerin yoğunlaştığı bölgelerde ozelti çok hızlı akacaktır. Bu durum ince tanelerin belirli noktalarda birikim yapması ve yatay olarak geçirgenliğini kaybetmiş bir bölgenin ortaya çıkması sonucunu doğuracaktır (Girginc, 1989). Şekil 3.12. ve Şekil 3.13'te iri ve ince tanelerin ayrışmaya uğraması sonucu geçirimsiz tabak oluşturması Şematize edilmiştir.

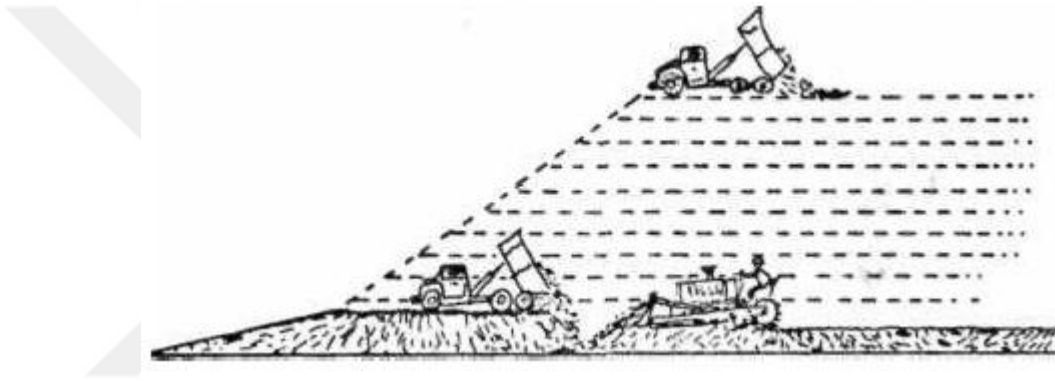


Şekil 3.12. Yığının hazırlanması sırasında ince ve iri tanelerin ayrışmaya uğraması (Girginc, 1989).



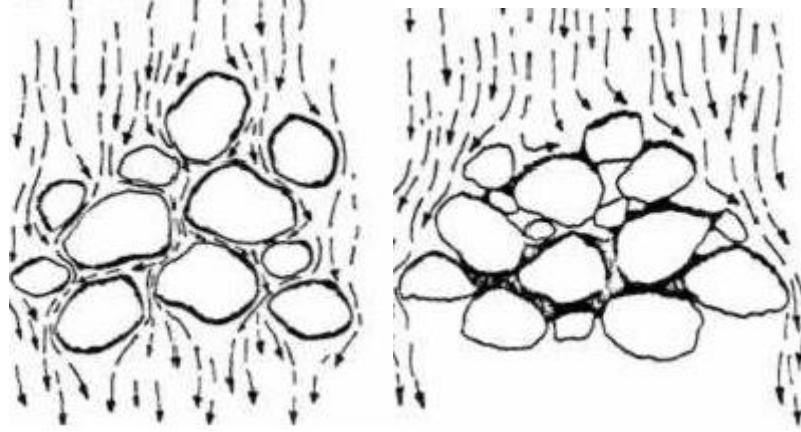
Şekil 3.13. Ayrışmaya uğramış tanelerin düzensiz çözelti akışı nedeniyle yatay yönde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak liç verimini olumsuz yönde etkilemesi (Girginc, 1989).

Yığının tabakalar halinde hazırlanmaması gerekir. Aksi takdirde her tabaka hazırlanırken bir sıkıştırma işlemi gerçekleştirilecek ve yığının hem gözenekliliği hem de geçirgenliği azalış gösterecektir (Girginc, 1989).



Şekil 3.14. Yığının tabakalar halinde hazırlanmaması gerekir (Girginc, 1989).

Taneleri ince olan malzemelerin yığın içine oldukça düzenli şekilde dağıtılması sağlanmalıdır (Şekil 3.14.). Bunlardan en çok -100 mesh tane büyüklüğüne sahip malzemelerde ciddi problemler ortaya çıkmaktadır. İnce taneli malzemeler çok fazla olduğunda aşırı ayrışma oluşmasını engellemek ve geçirgenliğin artmasını sağlamak için ince tanelerin iri tanelere bağlanması (topaklaştırma) gerekmektedir (Girginc, 1989). Bir yığın liçinin ideal yapıda olması demek, çözeltinin çok kolay bir şekilde yığından süzülmesi ve cevheri %100 ıslatabilmesi demektir. Ancak gerçek uygulamada en ideal yığın liçinde bile bu değer %70 dolayında kalmaktadır (Kappes, 2005; Hausen, Petruk ve Hagni, 1997). Bol miktarda kil ya da -100 mesh taneleri bulduran bir malzemenin yığın liçi uygulanmadan önce bir ön işleme tabi tutulması önem arz etmektedir. Bu ön işlem ile malzemenin su, portland çimentosu veya kireç benzeri bağlayıcılar sayesinde topaklaştırılarak, ince tanelerin iri tanelere bağlanmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Bu işlem uygulanmazsa yığındaki liç çözeltisinin düzenli akışı sağlanamamaktadır (Girginc, 1989).

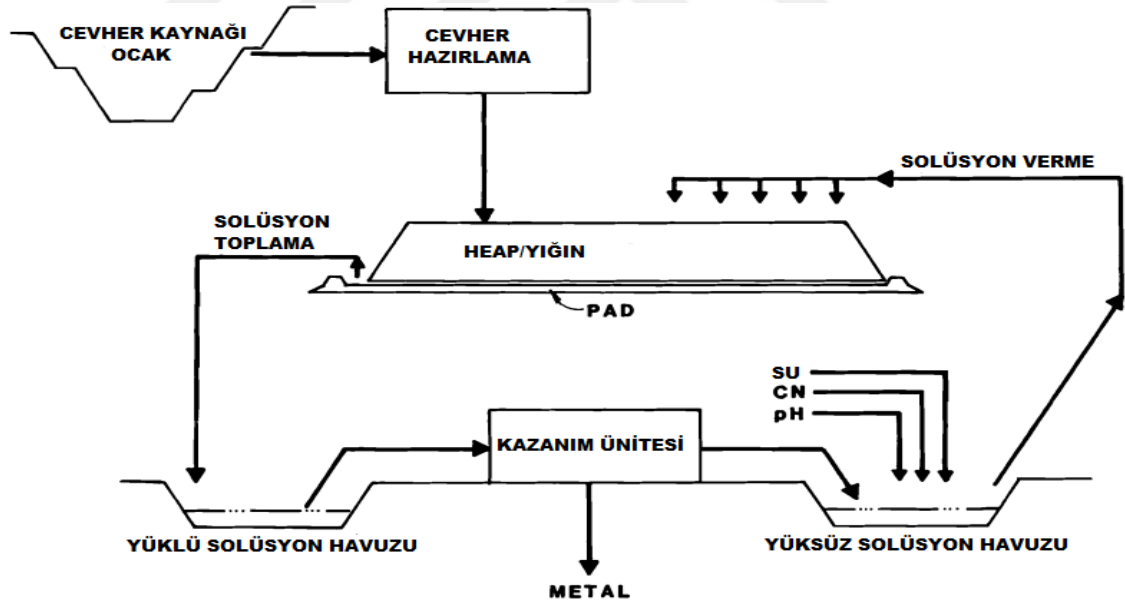


Şekil 3.15. Topaklaştırma işlemine tabi tutulmuş ve tutulmamış tanelerden oluşan kütle içinden çözelti akışı (McClelland, Pool ve Eisele, 1983).

Yığın liçi uygulamaları çok katlı olduğunda genellikle en altta bulunan basamak üst kattaki basamakların ağırlığı altında sıkışmakta ve içinde geçirimsiz bölgeler meydana gelmektedir. Bu şekilde alt basamaklarda geçirimsiz bölgelerin varlığı yığında göllenmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu durumda altın da yığındaki çözeltinin içerisine hapsolabilir. Zamanımıza kadar yapıldığı bilinen en yüksek kat uygulaması, en fazla 10 kattan oluşmakta ve 120 m'lik bir yığından oluşmaktadır. Sert cevherler ile tüvenan ve kırılmış olan cevherlerdeki geçirimsizlik kaybı daha az olmaktadır. Bir kısım yumuşak cevherlerin yığın liçi uygulamalarında çimento ile topaklandırma ile 30 metreye kadar çıkılabilmektedir. Topaklaştırma işlemi ile geçirgenliğin artırılması Şekil 3.15.'te şematize edilmiştir. Bazı istinai durumlarda 100 metreye kadar çıkılması mümkün olabilmektedir. Bu limitler laboratuvarlarda kolon çalışmaları sayesinde tespit edilebilmektedir. Altının kazanımında gecikmelerin olması alt katlardaki geçirimsizliliğinin azalmasına ve tüm malzemenin ıslatılabilirliğine bağlıdır. Yığın liç verimi ve elde edilen yüklü çözeltinin tenörü, yığma kat sayısı ve yığın yüksekliğinin artması ile azalmaktadır. Yığın liçi uygulamalarında yığın stabilitesi, kırma boyu, siyanür tüketimi, yüksekliğe karşı geçirgenlik, liç süresi, topaklandırma için gereken çimento miktarı, basamak yüksekliği, serim tekniği ve altın verimi gibi çeşitli parametreler önem arz etmektedir. Çöl iklimindeki gibi suyun daha az bulunduğu yerlerde gerçekleştirilen yığın liçi uygulamalarında su temini ve suyun buharlaşması arasındaki dengenin kontrolü çok önemlidir (Mussati, Hager ve Martin, 1997). Suyun buharlaşma mekanizmasına göre, bir litre suyun buharlaştırılması için 580 kcal ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Gereksinim

duyulan bu ısıyı yığın doğrudan güneş ışınlarından karşılayabileceği gibi suyun yüzeyinden ve yığındaki sulama sisteminin vermiş olduğu havadan da alabilmektedir (Erkan, 2015; Kappes, 2005).

Uygulama cevherlerin farklı şekillerde 25 mm - 6,3 mm arasında belirlenmiş boyutun altına kırılıp, eğimli açık arazideki geçirimsiz jeomembranlar üzerine serilerek yığınlar oluşturulması şeklinde yapılmaktadır. Oluşturulan yığınların üzerine pH:10,5, 0,5-1,0g NaCN/L içeren siyanür çözeltisi akma hızı 10-15 L/dakika olacak şekilde verilmektedir. Siyanür çözeltisi kendi gravitesi ile yığının alt kısımlarına süzülürken altın çözeltiliye geçmektedir. Yığın üzerine ilk püskürtme yapıldıktan sonra çözeltinin tabana ulaşması 3 -5 günü bulmaktadır. Altın yüklü çözeltili yığının alt basamaklarına süzülerek en alttaki havuzda toplanır. Yüklü olan bu çözeltilideki altın, karbona soğurma(karbon üzerine adsorpsiyon) yöntemi ile kazanılabilmektedir (Haque, 1992). Yığın liçi prosesine ait şema Şekil 3.16’te verilmiştir.



Şekil 3.16. Yığın liçine ait genel akım şeması (Kappes, 2019).

Yığın liçinde karbon üzerine adsorpsiyon işlemine “Kolonda Karbon – Carbon in Column- CIC” adı verilmektedir. Proses kapasitesine göre belirlenen sayıda sıralı adsorpsiyon tankına ilk tanktan verilen yüklü çözeltili kademeli olarak bir sonraki tanka taşarak hareket etmektedir. Bu tanklarda bulunan aktif karbon ise son tanktan verilmekte ve ilk tanka doğru ilerletilmektedir. Bu şekilde ters akımlı olarak çalışan adsorpsiyon tank

sistemi ile çözültideki altın karbona adsorblanır. Altın ile yüklenmiş karbon sıyırma kolonuna alınır. Sıyırma kolonunda yüksek basınç ve sıcaklık altında yüksek konsantrasyonda siyanür (NaCN) ve kostik (NaOH) bulunan çözelti ile karbondaki altın sıyırma işlemi ile altın tekrar çözültiye alınmaktadır (Haque, 1992). Altın bu konsantre çözültiden elektroliz ile kazanılmaktadır. Elektroliz işlemi katot hücrelerinde birikmiş altın, çamur (kek) halinde elde edilir. Çamur malzeme kurutma fırınına konularak, nem ve safsızlıklar uzaklaştırılır. Cevher minerolojisinde civa bulunması durumunda, çamur ilave karbon filtreli havalandırma sistemi bulunan kurutma fırınlarında kurutulurken, civa %90-95 oranlarında çamur malzemedeki uzaklaştırılır. Kurutulan malzeme, cevher yapısına göre belirlenen oranlarda curuf yapıcı kimyasallar ilave edilerek induksiyon ergitme ocağında ergitilerek ve külçe kalıplarına dökülür. Elde edilen külçe altın curuf malzemesinden ayrılarak, nihai halini alır.



Şekil 3.17. Rosemont Bakır Madeni, Arizona (Anonim, 2019).

Altın kazanım veriminin %50-80 oranlarında düşük olmasına rağmen, yığın liçi yatırım ve maliyet düşüklüğü sebebiyle tercih edilmektedir (Sayiner, 2012). Ülkemizde Uşak-Kışladağ Altın Madeni, Erzincan-Çöpler Altın Madeni, Sivas-Bakırtepe ve Kayseri-Himmetdede Altın Madeninde yığın liçi yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.'de yığın liçi yöntemini kullanan maden işletmelerine ait görseller verilmiştir.





Şekil 3.18. Kışladağ Altın Madeni, Türkiye (Anonim,2019).

### 3.1.5. Altının çözültiden alınması

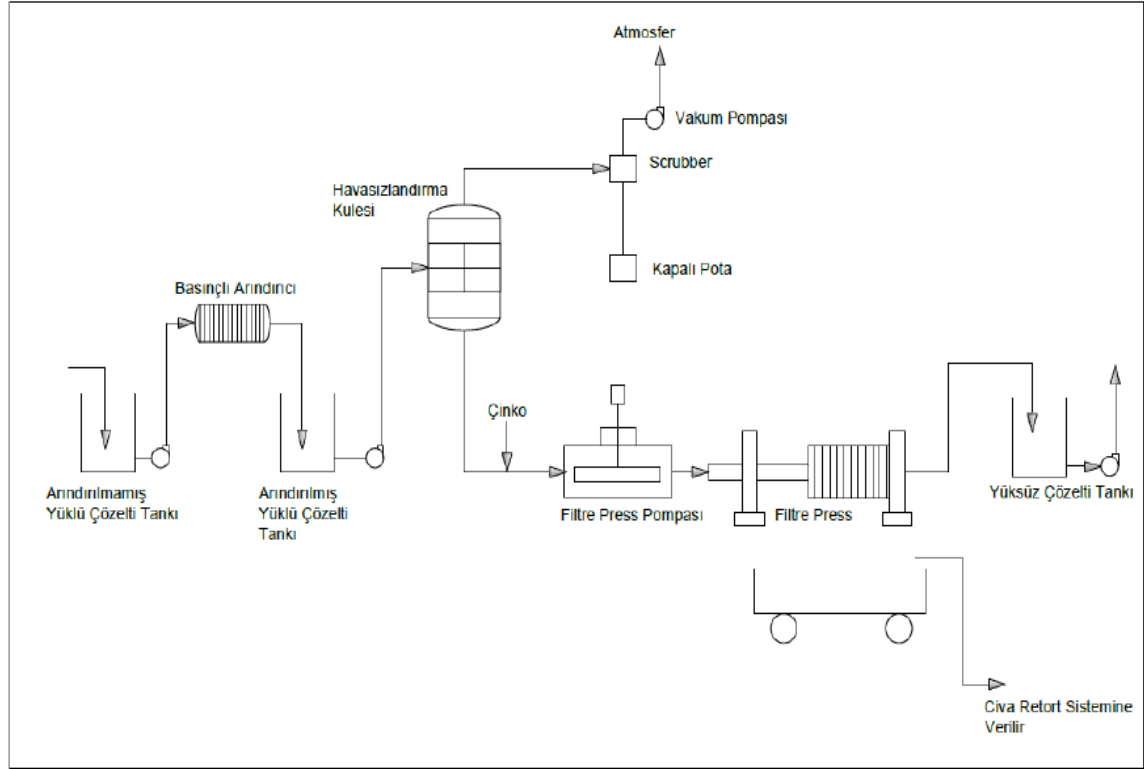
Siyanürleme sonucu  $Au(CN)_2^-$  anyonik kompleksi halinde sıvı faza geçen altının geri kazanılması için endüstriyel boyutta uygulanan prosesler;

- Çinko tozu ile çöktürme
- Aktif karbona soğurma
- İyon Değişirme
- Elektroliz' dir.

#### 3.1.5.1. Çinko Tozu ile Çöktürme Prosesi (Merrill - Crowe Prosesi)

Çinko tozu ile çöktürme prosesinde liç işlemi sonrasında ilk işlem olarak tikinerler yardımıyla pülpte katı-sıvı ayrımı yapılmaktadır. Katıdan ayrılmış altın yüklü berrak siyanür çözeltisine oksijen içeriğinin düşürülmesi için vakum uygulanır ve çinko tozu eklenir.  $Au(CN)_2^-$  bileşiği çinko (Zn) ile reaksiyona girerek altın (Au(k)) çinko tozu üzerine çökerken çinko (Zn(k)),  $Zn(CN)_4^{2-}$  bileşiği halinde çözültiye geçerek altın (Au) ile çinko (Zn) yer değiştirmektedir. Çinko tozu ve üzerine kaplanan altın (Au) birlikte filtrelenerek çözültiden ayrılmaktadır. Elde edilen filtre keki ergitilerek altın

kazanılmaktadır. Merill Crowe Prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.19.'da verilmiştir.. Çinko (Zn) ise sıcak sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ile liç edilerek çökelekten uzaklaştırılmaktadır. Bu sistemde katı-sıvı ayrımı önem arz ettiğinden, berrak çözeltiliye gereksinim olmaktadır (Heinen, Peterson ve Lindstrom, 1978).



Şekil 3.19. Merill Crowe Prosesinin şematik gösterimi (Hampton, 2002).

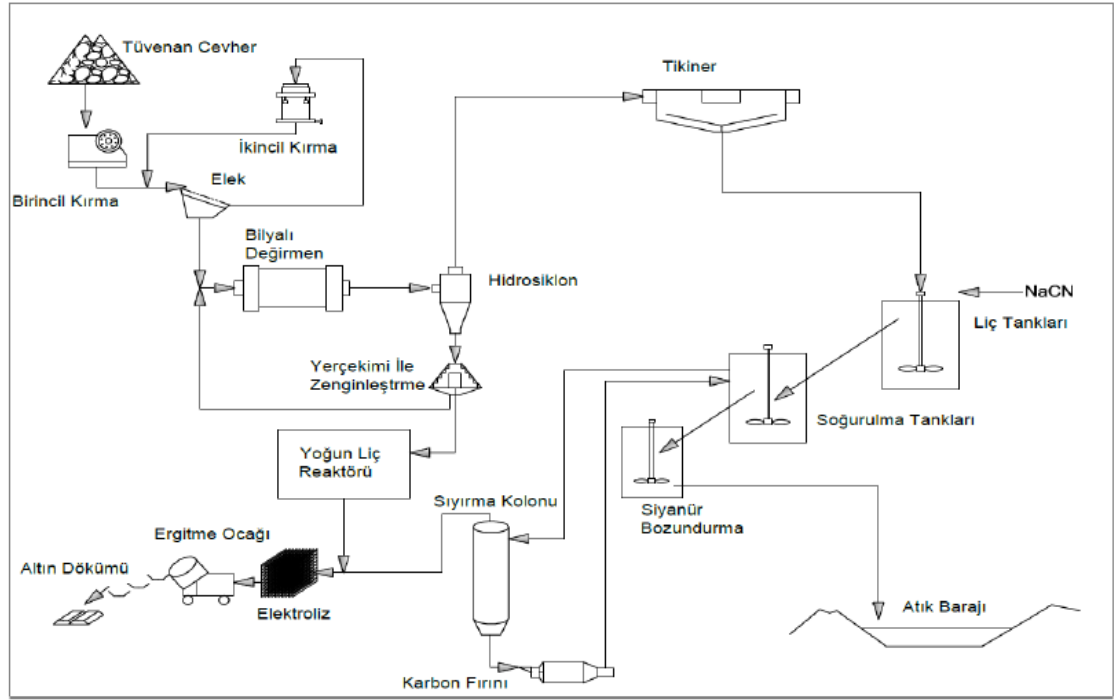
### 3.1.5.2. Aktif karbon üzerine adsorpsiyon

Aktif karbonu yüksek porozite ve yüzey alanına sahip olan karbonlu malzemeler olarak tanımlamak mümkündür. Aktif karbon elde etmek için karbonlu maddeleri yakma veya termal olarak bozunmaya uğratma işlemi ile granül veya toz haline getirmek gerekir. Yüzyıllardır kullanılan odun kömürü de aktif karbon formlarından biridir. Bu türdeki aktif karbonu Mısırlılar ilaç olarak ve saflaştırma için; Hintliler ise içme suyu filtrasyonu için kullanmayı tercih etmişlerdir. 1900 yılında şeker rafinasyonunda aktif karbonun kullanılmasıyla, aktif karbonun endüstriyel uygulamalardaki kullanımı ortaya çıkmıştır. Bu işlemlerde kullanılmakta olan aktif karbon, sebze bazlı maddeleri metal klorürler ile karbonizasyona tabi tutarak veya karbonlu materyalin buhar ya da karbondioksit ( $CO_2$ ) ile aktifleştirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Kalitesi yüksek ve gaz tutucu özellikteki

aktif karbonlar, zehirli gazlardan korunmak için I. Dünya Savaşında solunum maskelerinin içinde kullanılmıştır. Günümüzde aktif karbon yaygın şekilde solvent geri kazanım işleminde, içme sularındaki kötü koku ve tatların yok edilmesinde, gıda ve kimya endüstrileri ile hava filtre sistemlerinde kullanım alanına sahiptir. Ayrıca çözeltilerdeki altın ve gümüş vb. metallerin kazanımını sağlayan hidrometalurjik işlemlerdeki ve ilaç sanayisinde toksinlerin giderilmesindeki kullanım uygulamaları artmaktadır (Cameron Carbon Incorporated, 2006). Aktif karbonun adsorpsiyon özelliğinin cevherden altın kazanım proseslerinde kullanılması ilk defa 1950 yılında ortaya çıkmıştır. Aktif karbon petrol kokundan, fındık ve hindistan cevizi kabuğundan ve ağaçtan yapılabilmektedir.

CIP – Pülpte Karbon Yöntemi'nde; öğütme işlemi sonrası ilk liç tankına gönderilen pülp siyanür çözeltilisi ve oksijen ile karıştırılmaktadır. Karıştırılmış pülp birinci tanktan sırayla taşarak son liç tankına gelmektedir. Çözündürmenin bitirildiği son liç tankından da taştıktan sonra birinci adsorpsiyon tankına girmektedir. Pülp, birinci adsorpsiyon tankından son tanka doğru sırayla taşarak ilerlerken, karbon da son adsorpsiyon tankından verilir ve o da ilk tanka doğru ilerletilir. Bu şekilde zıt yönde ilerleyen karbon ve pülp, çözeltilerde bulunan altının karbona soğurulmasını sağlamaktadır. Karbonun geriye doğru tanktan tanka akışının gerçekleşmesinde özel karbon pompaları kullanılmaktadır. Bu işlem sonunda altın yüklü karbon ilk adsorpsiyon tankında birikmekte ve buradan da bir karbon pompası yardımıyla sıyırma kolonuna basılarak iletilmektedir (Nsimba, 2009).

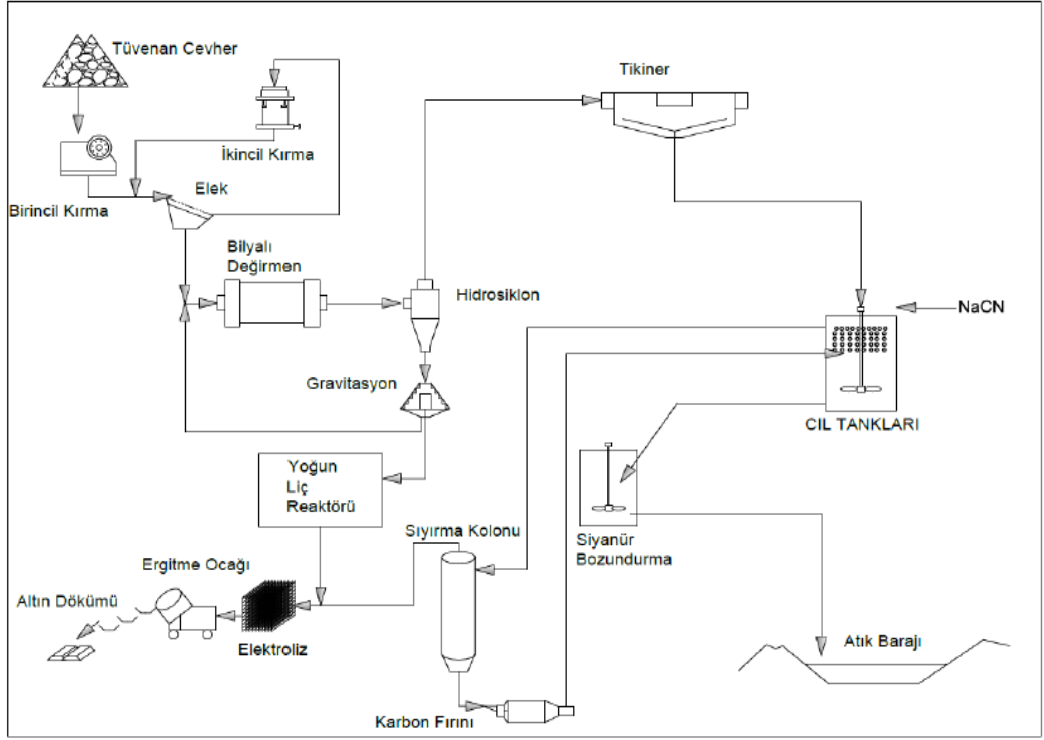
Sıyırma, kalsinasyon, karbon re-aktivasyon ve döküm işleri diğer sistemlere benzer şekilde uygulamaya konulmaktadır. Son soğurma tankından çıkan ve altın bulundurmayan, yüksüz siyanürlü pülp ise siyanürün bozundurulması işlemini gerçekleştiren tanka gönderilmektedir. Bu tankta ağır metallerin çöktürülmesi sağlanır ve geriye kalan pülp atık barajına yollanır. Burada da atıkların katı kısmı çöker ve üstte proses suyu kalır. Bu su yeniden kullanılmak üzere değirmenlere basılarak sisteme tekrar girer (Sayiner, 2012); Nsimba, 2009). CIP (Pülpte Karbon) proses şeması Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. CIP (Pülpte Karbon) Prosesi (Erkan, 2015).

Türkiye’de faaliyetine devam eden Eskişehir Kaymaz, Gümüşhane Mastra ve Bergama Ovacık altın madenlerindeki siyanür liçi tesisleri bu sisteme göre çalışmaktadır.

CIL – Liçte Karbon Yöntemi’nde; pülpe aktif karbon katılması liç işlemi esnasında ve liç tanklarında gerçekleştirilmektedir. Preg-robbing olarak bilinen liçte karbon yöntemi, organik karbon bulundurduğu için, çözünme işleminden sonra çözeltilen altını geri soğuran cevher liçlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemden faydalanarak aktif karbonlu ortamda liç uygulaması esnasında çözülmüş olan altının hızlıca granül aktif karbona adsorplanması sağlanmakta ve böylece altından yüksek kazanım gerçekleştirilmektedir (Saymer, 2012). CIL (Liçte Karbon) proses şeması Şekil 3.21.’de verilmiştir.



Şekil 3.21. CIL (Liçte Karbon) Prosesi (Erkan, 2015).

Altının aktif karbona adsorpsiyonunu etkileyen faktörler:

Karıştırma hızı: Çözeltideki altın yoğunluğu  $>10$  ppm ise, soğurma olayı partikül içi difüzyon şeklinde gerçekleşmektedir. Bu şekilde adsorpsiyon hızının karıştırma hızı ile bir ilgisi yoktur. Altın yoğunluğu 10 ppm ve altında olduğunda ise soğurma olayı yüzey film difüzyonu şeklinde gerçekleşmektedir. Bu sebeple de altının adsorpsiyon hızı karıştırma hızıyla artmaktadır. Siyanür liçi tesislerinde genelde altın konsantrasyonları 10 ppm'den düşük olduğu için karıştırma hızı seçimi, tesis dizaynında önemli bir parametre olmaktadır (Fleming ve Nicol, 1984).

Adsorpsiyon mekanizması: İlk evre adsorpsiyonunda yüzey film difüzyonu etkili olurken, denge haline yaklaştığında partikül içi difüzyon etkili olmaktadır. Altının hızlı bir şekilde yüzeyde bulunan makroporlara adsorbe olmasına yüzey film difüzyonu denilmektedir. Partikül difüzyonunda ise adsorpsiyonun yavaşlayarak devamı sözkonusu olup, mikrogözenekler boyunca altının karbonun iç kısımlarına doğru ilerlemesi gerçekleşmektedir. Bu mekanizmaların nasıl çalıştığını incelemek amacıyla bir çalışma yapılmış ve bu çalışmada adsorpsiyon gerçekleşirken dışarı çıkarılan karbon iki farklı

süre boyunca dışarıda bekletilerek yeniden solüsyona eklenmiş ve adsorpsiyon işlemi sürdürülmüştür. Bu çalışma sonucunda ilkinde karbon yeniden solüsyona eklendiğinde adsorpsiyon hızının değişmediği ancak ikinci verilişinde arttığı gözlemlenmiştir. Bu olaydan maksimum adsorpsiyon kapasitesinin %50'sine kadar yüklenme olduğunda adsorpsiyonun yüzey film difüzyonu ile gerçekleştiği, %50'den fazla yüklenildiğinde ise partikül içi difüzyona geçildiği sonucuna ulaşılmaktadır. %50'den fazla yüklenme yapıldığında, dışarı çıkarılan karbonun iç gözeneklerindeki altın düzenli yapıya bürünmekte ve bu karbonun çözeltiye yeniden eklenmesiyle adsorpsiyon daha kolay olduğu için adsorpsiyon hızı da öncekine kıyasla yüksek çıkmaktadır. Yüklenme %50'den düşük olduğunda ise, yüzey film difüzyonu olduğu için dışarı çıkarılan karbondaki her hangi bir değişiklik gerçekleşmemektedir. Siyanür liçi tesislerinde ise film difüzyonu çok önemlidir. Çünkü en yüksek altın yüklenmesi karbon yüklenmesinin %50'sinin altında kalmaktadır (Marsden ve House, 1992).

pH'in etkisi : Günümüze kadar yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlara bakılarak pH'ın yükselmesi altın-siyanür kompleksinin aktif karbona adsorpsiyon hızını ve kapasitesini azalttığı sonucu çıkarılabilir. Düşük pH ortamlarında adsorpsiyonun artması (3.32) ve (3.33) tepkimeleriyle açıklanabilmektedir (Fleming ve Nicol, 1984).



İyonik şiddet: İyonik gücü büyük olan çözeltiler kullanılarak gerçekleştirilen testlerde adsorpsiyon kapasitesi ve hızının arttığı sonucuna ulaşılmaktadır [40]. Çözeltiye CaCl<sub>2</sub>, NaCl ve KCl tuzları ilave ederek çözeltinin iyonik gücü artırılabilir. Siyanür tesislerinde kullanılmakta olan proses suyu çok yüksek oranda Na, Cl, Ca ve K iyonlarını bulundurduğu için iyonik gücü de yüksek çıkmaktadır.

Sıcaklığın etkisi: Altının soğurulması ekzotermik reaksiyondur. Yani çözelti sıcaklığı arttıkça adsorpsiyon hız ve kapasitesinde düşüş gerçekleşmektedir (Fleming ve Nicol, 1984).

Serbest siyanür konsantrasyonunun etkisi: Serbest siyanür miktarı 0-1300 ppm aralığında olan altın çözeltileri ile yapılmış adsorpsiyon test sonuçlarında, serbest siyanür oranının artmasının altın adsorpsiyon kapasitesini ve hızını artırdığı ortaya çıkmıştır (Fleming ve Nicol, 1984).

Karbon tane boyutu: Karbon tane boyutunun küçülmesi adsorpsiyon hızını artırır, ancak adsorpsiyon kapasitesine etkisi yoktur (Fleming ve Nicol, 1984). Aktif karbonun maksimum yüklenme kapasitesi, granül aktif karbonun öğütülerek toz hale getirilen toz karbonun 24 saatlik adsorpsiyon süresince test edilmesi ile tespit edilebilmektedir. Maksimum yüklenme kapasitesini saptamak amacı ile granül aktif karbon kullanılması durumunda, sonuca ulaşabilmek için haftalar belki aylar boyunca yüklenme zamanı gerekecektir. Bunun yanında, siyanür liçi tesislerinde karbonun maksimum yüklenme kapasitesinin çok altında yüklenmesi sebebi ile toz karbonla yapılan testlere gerek olmamaktadır (Sayiner, 2012).

Katı oranının etkisi: Sentetik olarak hazırlanmış altın siyanür çözeltisi içine öğütülmüş inert katı malzemeler değişik oranlarda eklenmiş ve gerçekleştirilen adsorpsiyon testleri sayesinde pülpte bulunan katı oranında artış olması adsorpsiyon hızına olumsuz yönde etki ettiği sonucunu doğurmuştur. Bununla beraber bu durumun sebebinin katı oranındaki artışa bağlı karıştırma verimliliğindeki azalmadan mı yoksa katı ince partiküllerin karbon yüzeyini kaplamasından mı kaynaklandığı henüz tespit edilememiştir (Fleming ve Nicol, 1984).

Çözeltideki çeşitli metallerin etkisi: Siyanür liçinde altının (Au) yanısıra Ag, Cu, Ni, Co, Fe ve Zn gibi metaller siyanür ile bileşik yaparak çözünmektedir. Ancak Ag, Cu ve Ni dışındaki metallerin siyanürlü bileşikleri, altının adsorpsiyonunu etkilememektedir (Sayiner, 2012).

Adsorplanmış altının desorpsiyonu (sıyırma) : Siyanür liçi uygulamasından sonra altınla yüklenmiş olan granül aktif karbonun pülpten ayrılması ve sıyırma kolonuna geçmesi gerekmektedir. Sıyırma kolonunda karbona yüksek sıcaklıkta ve yüksek yoğunlukta siyanür çözeltisi (NaCN) ve kostik (NaOH) içeren çözeltinin verilmesi ile, adsorpsiyon

şartları tersine çevrilerek altın karbondan sıyrılarak çözeltilmeye alınmaktadır. Özetle; adsorpsiyon ekzotermik bir olay olduğu için, sıcaklığın yüksek olması desorpsiyonun da kolay olmasını sağlamaktadır. Adsorpsiyon için kalsiyum ( $Ca^{+2}$ ) iyonuna ihtiyaç duyulduğundan sıyırma çözeltilisi için kalsiyum ( $Ca^{+2}$ ) iyonu istenmemektedir. Kalsiyum ( $Ca^{+2}$ ) iyonunun yerine altının ( $Au$ ) tekrar çözeltili içine geçebilmesi için ortama kostik ( $NaOH$ ) halinde sodyum ( $Na^{+}$ ) iyonu eklenmektedir.  $Au$  konsantrasyonu çok yüksek olan sıyırma çözeltilisi elektroliz işlemine tabi tutulmakta veya çinko ( $Zn$ ) kullanılarak çöktürme yolu ile kazanılması sağlanmaktadır (John ve Fast, 1989). Sıyırma proses çeşitleri aşağıda incelenmektedir.

Atmosferik Zadra prosesi: Endüstriyel çapta ilk kez kullanılan karbondan altının sıyırma prosesi yöntemidir. Bu proses J. B. Zadra ve ekibince 1950'lerin başında U.S. Bureau of Mines'da uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemdeki proses çok basit olduğu için günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahiptir.  $90^{\circ}C$  sıcaklıkta %0,1 siyanür ( $NaCN$ ) ile %1 kostik ( $NaOH$ ) bulunduran sıyırma çözeltilisinin kolona verilme hızı saatte 2 yatak hacmi (bed volume) olmaktadır. Bu işlemin süresi 48-72 saat aralığında olmakta ve yüklü karbondan bulunan altın oranı 4670 ppm'den 90 ppm'e indirilebilmektedir (John ve Fast, 1989).

Atmosferik Zadra Prosesi dizayn ve operasyonun basit olması yönüyle avantajlı olmasına rağmen sıyırma işlemi çok uzun sürdüğü için dezavantajları da bulunmaktadır. Bunun yanında farklı sıyırma prosesi uygulamalarına nazaran daha büyük ekipmanlar gerektirmesi ve sıyırma işlemi için daha yüksek oranda karbona ihtiyaç duyması da diğer dezavantajlarıdır (John ve Fast, 1989).

Basınçlı Zadra prosesi: U.S. Bureau of Mines'da yürütülen çalışmalarda daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sıyırma verimi elde etmenin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek basınç ile gerçekleştirilen operasyon basınca dayanıklı ekipman kullanımı (yüksek basınçlı solüsyon pompası ve sıyırma kolonundaki basınç kontrol regülatörü) ile sağlıklı ve sorunsuz şekilde yürütülmektedir. Uygulamada; 4,5-5 bar basınç ve  $140^{\circ}C$  sıcaklığındaki %1  $NaOH$ , %0,1  $NaCN$  içeren sıyırma çözeltilisinin sıyırma kolonundan geçirilmesi saatte 2 yatak hacmi hızında gerçekleşmektedir. Bu



basıncılı proses ile 48-72 saat sıyırma işleminin süresi 10-14 saate kadar indirgenmektedir. Sıcaklık daha yüksek olduğunda siyanür çözünmekte ve metalik haldeki altının karbon üzerine çökmesi gerçekleşmektedir (John ve Fast, 1989). USBM'nin çalışmalarında 180<sup>0</sup>C'ye kadar artan sıcaklıkla sıyırma veriminin yükseldiği, 180<sup>0</sup>C' üzerindeki sıcaklıklarda siyanürün parçalanması ve altının metalik halde karbon üzerine çökmesi kaynaklı sıyırma veriminde azalma olduğu, en yüksek sıyırma verimine 148<sup>0</sup>C' de ulaşıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 3.5.'te Basıncılı Zadra prosesinin aşama süreleri verilmektedir.

Tablo 3.5. Basıncılı Zadra Prosesinin aşamaları (John ve Fast, 1989).

Aşama	Çözelti	Süre
Kolon dolumu	Transfer suyu	90 dakika
Sıyırma	% 0,1 NaCN + %1NaOH	480 dakika
Karbon soğutma	Taze su	60 dakika
Karbon boşaltımı	Transfer suyu	30 dakika
TOPLAM		11 saat

Anglo Amerikan Araştırma Laboratuvarları prosesi (AARL-Anglo American Research Laboratories) : 1980 yılında ilk kez Güney Afrika'da bulunan President Brand Altın Madeni'nde işleme konulmuştur. AARL prosesi standart prosedür halinde o günden günümüze kadar Avustralya ve Güney Afrika'da uygulanmaya devam edilmektedir. Bu proses asit yıkama ile başlayarak, kolondaki karbonun ilk önce %3 HCl (hidroklorik asit) ile yıkanması gerçekleşmektedir. Ardından temiz su ile durulama işlemine tabi tutulmaktadır. Karbon daha sonra %3 NaCN (sodyum siyanür) ve %1 NaOH (sodyum hidroksit) içeren çözeltide 30 dakika ısıtılmaktadır. Islatma sonrası 110<sup>0</sup>C 'de temiz su verilerek altın sıyırılması sağlanmakta ve çözeltiye geçen altının elektroliz yapılarak kazanılması gerçekleşmektedir (John ve Fast, 1989).

AARL sistemi 8 saat sürdüğü için bu yönüyle Zadra prosesine üstünlük sağlamaktadır. Zadra prosesinde sıyırma işlemi sıcak siyanür ve kostik (NaCN+NaOH) çözeltilisini kolondan geçirirerek gerçekleştirilmekte; AARL prosesinde ise kostik (NaCN+NaOH) ve siyanür çözeltisi içinde karbonun beklemesi sağlanmakta ve daha sonra kalitesi yüksek sıcak taze su geçirilmesi ile sıyırma işlemi tamamlanmaktadır. Sıcaklığı 110<sup>0</sup>C'de olan sıyırma suyunun kaynamasını engellemek amacıyla AARL sıyırma kolonunu da basınçlı çalıştırmak gerekmektedir. AARL prosesinde kalitesi yüksek taze suya ihtiyaç duyulması

ve çok fazla su tüketilmesi dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (John ve Fast, 1989). Su tüketiminin yüksek olması, asit ve siyanürün birleşme olasılığı ve otomasyon kontrolünü gerektirmesi prosesin dezavantajlarıdır. AARL sıyırma prosesinin aşamaları Tablo 3.6.'da verilmektedir.

Tablo 3.6. AARL sıyırma prosesinin aşamaları (John ve Fast, 1989).

Aşama	Çözelti	Süre
Kolon Dolumu	Karbon	90 dak
Asit yıkama	%3 HCl	20 dak
Durulama	Kullanma suyu	90 dak
Ön ısıtma	Kullanma suyu	30 dak
Islatma (Pre Soak)	90 derecede %3 NaCN,%1NaOH	30 dak
Sıyırma	110 derecede kullanma suyu	180 dak
Soğutma	kullanma suyu	30 dak
Karbon Transferi	Transfer suyu	30 dak
Toplam		7 saat 50 dak

Alkollü sıyırma: U.S.B.M. yaptığı çalışmalar sonucunda, sıyırma çözeltisi içine alkolün ilave edilmesi ile atmosferik Zadra sıyırma proses süresinin kısaltılabildiğini ortaya koymuştur. Oranı %20 civarında olan etil veya metil alkolün sıyırma çözeltilerine eklenmesiyle 48-72 saat sıyırma süresini 12-16 saat aralığına indirmek mümkün olmaktadır. Metil alkolün buharı etil alkol buharına nazaran daha fazla sağlık problemi çıkardığı için daha az kullanılmaktadır. Alkol içeren sıyırma çözeltisinin kullanılmasındaki en büyük problemi sıyırma işleminden sonra elektroliz yapılırken yangına neden olma tehlikesinin bulunmasıdır. Elektroliz esnasında oluşabilecek en küçük kıvılcım bile alkol çözeltisinin alev almasını sağlayabilir. Bunun için yanmayı engellemek amacıyla alkolün yerine glikol kullanılması tercih edilebilmektedir. Ancak glikol hemdaha pahalı hem de alkole nazaran göre 24-36 saatlik uzun sıyırma süresi gerektirdiği için dezavantajları da bulunmaktadır. 90<sup>0</sup>C sıcaklıkta %2 NaOH ve %20-25 glikol bulunduran sıyırma çözeltisiyle genel olarak siyanüre gerek kalmadan sıyırma işlemi yapılabilir (John ve Fast, 1989).

Mikron sıyırma prosesi: Micron Research tarafından Avustralya'da yapılan çalışmalarda ortaya konulmuş ve güncelliğini sürekli koruyan bir yöntemdir. Burada da alkollü sıyırma olduğu gibi alkol kullanılmaktadır fakat elektroliz işleminden önce yüklü sıyırma solüsyonunda bulunan alkol buharlaştırılır ve çözeltiden uzaklaştırılır. Bu şekilde

çözeltinin alev alma riski ortadan kaldırılmaktadır. Sıyırma 8 saatte tamamlanmaktadır. Bu yöntemde normal ortamın sıcaklığında %5-10 siyanür (NaCN) ve %1-2 kostik (NaOH) çözeltisi ile ıslatma yapılması (pre-soak) ilk aşamadır. Sonrasında ıslatma çözeltisinin kolondan alınması gerekmektedir. Yatak hacminin yarısı kadar etil veya metil alkol kolona eklenmektedir. Alt kısmından kolonun ısıtılması sağlanarak altının sıcak alkol ile sıyırılması gerçekleştirilmektedir. Sıyırma işleminden sonra altın yüklü sıyırma çözeltisini ısıtmak gerekmektedir. Böylece çözeltideki alkol buharlaştırılarak yeniden geri kazanılmaktadır. AARL ve Zadra proseslerine nazaran mikron sıyırma yönteminden faydalanarak elde edilen sıyırma çözeltilerinde altın yoğunluğu daha fazla olduğu için elektroliz işlemi yerine altını kimyasal çöktürme yaptırarak kazanma düşüncesi öne çıkmaktadır. Bunun yanında bu yöntem uygulandığında sıyırma işlemi sonrası karbon aktivitesinde artış yaşandığı için sıyırma sonrası liçe karbon verilmeden önceki reaktivasyona gereksinim azalmıştır (John ve Fast, 1989).

Kullanılmış aktif karbonun yeniden aktivasyonu: Altın adsorpsiyonu esnasında liç çözeltisi içindeki organik ve inorganik maddeler aktif karbonun kirlenmesini sağlamaktadır. Bu maddelerin karbonun aktif kısımlarını kaplaması ve porlarını tıkaması, aktif karbona altın geçişini kısıtladığı için soğurma hızı ve kapasitesini azaltmaktadır. Liç çözeltisi içine kireç eklenmesinden dolayı oluşan  $\text{CaCO}_3$  inorganik maddelere, tank üzerlerinde bulunan mekanik parçaların yağlanması esnasında pülp içine geçebilen gres yağı ise organik maddelere örnek verilebilir. Bunun yanında bu kirleticilerin hem karbonun soğurma düzeyini hem de sıyırma verimini azalttığı bilinmektedir. Inorganik kirleticiler karbon porlarında tıkanmalara neden olmakta ve bu nedenle sıyırma öncesinde asit yıkama işlemine tabi tutularak uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Organik maddelerin karbondan uzaklaştırılması ise, sıyırma işlemi bitiminde karbon yeniden adsorpsiyon aşamasına katılmadan önce termal işlemler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu olaya da yeniden aktivasyon işlemi denilmektedir.

Karbonu aktifleştirmek için döner fırında 650–750°C buhar verilmektedir. Organik kirleticiler karbondan uzaklaştırılırken bazıları yakma, bazılarına ise buharla tepkimeye girme uygulamaları gerçekleştirilir. Bunun yanında buharın karbonun oksitlenmesini engelleme ve karbondaki bulunan aktif bölgelerin oluşmasını sağlama görevi de

bulunmaktadır (Gray, 1999). Aktif karbonun döner fırındaki termal re-aktivasyon basamakları aşağıdaki gibi olmaktadır (Sayiner, 2012).

- Kuruma (<200°C) : Fırına %25 nem içeriği ile giren karbonun porlarındaki su kaynarak buharlaşmakta ve böylece karbonun kuruması sağlanmaktadır.
- Gazlaşma (200-500°C) : Döner fırın içindeki ilk 1 metrede sıcaklık 200-500°C'ye ulaşmakta ve böylece organik kirleticiler gaz haline gelip karbondan ayrılmaktadır.
- Piroliz (500-700°C): Bu basamakta sıcaklığın etkisi ile organik materyaller parçalanmakta (piroliz) ve bu parçalanma sonrasında ortaya çıkan artık organik maddeler porlarda birikim göstermektedir.
- Piroliz kalıntılarının uzaklaştırılması (  $\approx$  750°C) : Sıcaklık fırının son metresine ulaşıldığında 750°C'ye çıkmakta ve buraya gelindiğinde su enjekte edilmesi sağlanmaktadır. Su enjeksiyonu sonucunda oluşan buhar ile piroliz kalıntısı organik materyaller oksitlenerek gaz haline getirilir. Buhar ile karbonun yanmasını önleyecek inert bir atmosferin oluşturulması sağlanmaktadır. Bununla beraber buhar sayesinde karbonda aktif yeni kısımların oluştuğu varsayılmaktadır.
- Karbonun soğutulması ve dışarı alınması: 750°C'deki karbon sıcaklığı fırının son bölümünde uygulanan su enjektisi ile 250'ye indirilmekte ve dışarıya çıkan aşırı sıcak karbonun soğuması nedeniyle oksitlenmesinin önüne geçilmektedir. Fırından çıkan karbon soğurma ünitesine verilmeden su ile karıştırılıp vessel tanka alınır. Bunun sonucunda uzun süre dışarıda kalmaktan kaynaklanabilecek oksitlenme ve oksitlenmeye bağlı aktivite kaybının engellenmesi sağlanmaktadır (Sayiner, 2012).

Adsorpsiyon ünitesine aktif karbonun transfer edilmesi vessel tanktan su ile birlikte gerçekleştirilmektedir. Bu ünitenin girişinde yer alan elek yardımıyla adsorpsiyon ünitesine giren karbonla birlikte gelen suyun fazlasının ayrılması sağlanmaktadır (Sayiner, 2012).

### **3.2. Gravite ile Zenginleştirme**

Eski çağlardan itibaren gravimetrik yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemin temeli altın bulunduran minerallerin daha yüksek yoğunluklarının olmasına ve yoğunluk farkına

dayanmaktadır. 1900'lere kadar yaygın kullanılan bu yöntem siyanürleme işleminin bulunmasıyla daha az kullanılır hale gelmiştir (Bath, 1973). Gravimetrik zenginleştirme yapılan cevherlerde altının serbest ve iri taneli yapıda olması gerekmektedir. Bu tip zenginleştirme yöntemi ile serbest hale gelen altının hızlı bir şekilde devreden alınmasının avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Siyanür çözeltileri içinde iri tane altınların tümünün çözünebilmesi uzun süre gerektirmektedir. Örneğin, 150 mikron boyutunda saf haldeki altın tanesinin çözünmesi için 44 saat gerekmektedir (Henley, 1975). Bu şekildeki tanelerin gravimetrik yöntem kullanılarak önceden ayrıştırılması uzun zaman alacak liç sürelerini azaltmaktadır.
- Altının tanecik yüzeyleri, siyanürle çözünmeye engel olacak kadar kirlenmiş hatta organik bileşikler veya demir hidroksit ile kaplanmış olabilmektedir (Henley, 1975). Bu şekildeki çözeltilerde altın yüzeylerini ikinci bir işlem ile temizlemek gerekmektedir. Toplam cevher kütlelerine göre gravimetrik yöntem kullanılarak alınacak konsantre çok az miktarda olacağı için, bu türdeki ek uygulamaların yapılması ekonomik yönden engel oluşturmaz.

Altına uygulanan gravimetrik zenginleştirme yöntemi diğer cevherlerde uygulananlara benzemektedir. Bunun yanında altının özgül ağırlığı çok büyük (15,5-19,3gr/m<sup>3</sup>) olduğu için kapalı öğütme yapılırken devreden yükü gravimetrik yöntemle zenginleştirmeye tabi tutmak zorunludur. Bu işlemle çok kolay işlenebilen özellikteki altının, değirmen astarlarını kaplamasından dolayı ortaya çıkabilecek problemler kısmen azaltılabilir. Ancak gravimetrik yolla elde edilmiş konsantreleri direk izabe etmek mümkün değilse amalgamlama işlemi yapılır ve artıkların da siyanürlenmesi gerçekleştirilir (Henley, 1975).

### **3.3. Flotasyon**

Flotasyon yönteminde yardımcı kimyasallardan faydalanarak yoğun karıştırma işlemi ile hava kabarcıkları oluşturup konsantrenin köpük şeklinde alınması söz konusudur. Altın flotasyonu araştırmaları ilk olarak plaser yataklardaki altın cevherleri ve serbestleşmiş

altın taneleri için yapılmıştır. Literatürde refrakter yapıdaki sülfürlü altın cevherlerine ait flotasyon çalışmaları özellikle son yıllarda önem kazanmıştır. Altın endüstrisinde flotasyonun önemli derecede uygulanması 1930'ların ilk yıllarında suda çözünebilen toplayıcıların tanınmasını takiben başlamıştır. Daha önceleri Kanada, Avustralya ve Kore'deki bazı altın madenleri kompleks ve refrakter yapıdaki altın üretiminde bir ön işlem olarak flotasyon tesisleri kurmuştur. Bu tesislerde filtrelemesi ve kurutması çok zor olan yağlar, toplu altın konsantrasyonu için flotasyon toplayıcıları olarak kullanılmıştır (Taggart, 1927). Serbest altının flotasyon ile kazanım verimini genellikle altın taneciklerinin şekli, boyutu ve köpüğün duraylılığı gibi fiziksel kısıtlamalar etkilemektedir. 150 µm'den daha ince tane boyuna sahip serbestleşmiş altın tanelerinin birçok toplayıcı ile özellikle ksantat ve ditiyofosfatlar ile kolaylıkla yüzebildiği kabul edilmektedir. Serbest altın sülfürlü mineraller ile beraber yüzdürüldüğünde, hava kabarcıklarının sülfürlü mineraller ile fazla yüklenmesi serbest altın taneleri için bariyer oluşturabilmekte ve böylelikle flotasyon performansında düşmeye neden olabilmektedir.

Altın ve altın bileşimlerinin yüzey özellikleri kırma, öğütme, oksitleme, liç ve katı-sıvı ayrımı gibi cevher zenginleştirme işlemlerinin her basamağından belirgin derecede etkilenmektedir. Bu işlem basamakları altın yüzeyinin flotasyona engel olabilecek harici maddelerle kaplanmasına neden olabilmektedir. Etkili bir flotasyon gerçekleştirmek için mineralojik açıdan ilk ihtiyaç, altının veya altının birlikte olduğu kompozitlerin serbestleşmiş olmasıdır. Kompozit olması halinde altın tanelerinin, altın ve/veya sülfür yüzeyinin baskın parçası olması gerekmektedir. Eğer altın taneleri oksitli veya silikatlı forma sahip bir kompozit ile beraber bulunuyor ise, altının yüzebilirliği kompozitin hidrofobiklik derecesine bağlı olarak azalmaktadır. Serbest altının yüzebilirliği açıkta bulunan yüzeylerin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; hidrofilik metal tuzlar çökerek altın yüzeyini kaplayabilmekte ve tüm yüzeyin hidrofobikliğini azaltabilmektedir, bu sebeple altın elde etme verimi düşmektedir. Genelde cevher oluşumu esnasında meydana gelen, cevher içeriğinde demir oksit içerikli minerallerin olmasından ya da öğütme ortamından meydana gelebilen Fe (III) oksitler veya hidroksitler ile kaplanma söz konusudur (Cankurtaran, 2016).

Tane boyu dağılımı da flotasyon verimi üzerinde oldukça etkili bir faktördür. Altının yüksek özgül ağırlığı nedeni ile (19,3 kg/m<sup>3</sup>) tane boyunun flotasyon verimine etkisi artmaktadır. Flotasyon 20 ve 200 µm tane boyundaki altın taneleri için olumlu sonuçlar vermektedir (Chryssoulis, Venter ve Dimov, 2003). Flotasyon kinetiği genel olarak ince tane boyları için iri tane boylarına göre daha hızlıdır. İnce tane boylarında gang minerallerin de eş zamanlı yüzmeleri nedeni ile (özellikle suyla taşınım-entrainment ile) altına karşı seçicilik azalmaktadır. Ancak şlam oluşumu kontrol edilebildiği takdirde altın efektif olarak kazanılabilmektedir. Daha iri tane boylarında ortamdaki katı yüzdesi artırılarak altın tanelerinin çabuk çökmeleri engellenebilmekte ve flotasyonu mümkün olabilmektedir.

Yine altının yüksek özgül ağırlığa sahip olması ve dövülebilirliğinin (işlenebilirliğinin) yüksek oranda olması nedenleri ile altın öğütme esnasında yassılaşılmaktadır ve yüzeyi gang mineraller veya demir oksitler ile kaplanabilmektedir. Aynı zamanda, yassılaştıran taneler küresel tanelere göre daha geniş yüzey alanına sahip olurlar ki bu da yüzebilirlikleri üzerinde belirgin bir olumlu etki yaratabilmektedir (Aksoy ve Yarar, 1989). Ancak düzleşen altın taneciklerinin pürüzsüz ve düz yüzeyleri nedeni ile hava kabarcığına bağlanmalarının engellenmesi durumunda flotasyon olumsuz yönde etkilenebilmektedir.

Altın flotasyonu doğal yüzebilen kalkopirit, kalkosit ve sfalerit gibi mineraller ile kıyaslandığında yavaş bir prosestir. Cevher mineralojisi flotasyon şartlarının belirlenmesinde büyük öneme sahiptir. Çalışma pH'sının belirlenmesi, köpürtücü tipi ve miktarının belirlenmesi, toplayıcı sistemi ve hangi aşamalarda gerekli olduğu, canlandırıcı veya bastırıcılar, ve belirlenen tenör ve verimliliğe erişmek için gerekli tüm kritik faktörler cevher özelliklerine göre seçilmektedir (Cankurtaran, 2016).

Oksitli Bakır-Altın cevherlerinin flotasyonu : Genelde demir hidroksitler ve çeşitli kil mineralleri ile birlikte bulunurlar. Dünya'da bu tarzda birçok yatak oluşumu vardır. Bunlar arasında Avustralya'da (Red Dome), Brezilya'da (Igarape Bahia) ve Sovyetler Birliği'nde (Kalima) gibi yataklar bulunmaktadır. Bu tür cevherlerin işlenmesi zor olup, killi minerallerin varlığında daha da zorlaşmaktadır. Son zamanlarda, ester modifiyeli

ksantat bazlı toplayıcılar ile sülfidizasyonun birlikte kullanılması sayesinde başarılı bir şekilde bu cevherlerin de işlenmesi sağlanmıştır (Bulatovic, 1993).

Arsenik içerikli altın cevherlerinin flotasyonu: Ekonomik değere sahip iki tür arsenikli altın cevheri bulunmaktadır. Bunlar; masif kök metal sülfürleri ile arsenikli altın ve kök metallere bağlı olmayan arsenikli altındır. Masif kök metal arsenikli altın cevherlerine nadir rastlanmakta olup Dünya’da sadece birkaç yatağı olduğu bilinmektedir. Tipik bir arsenikli altın cevheri, ana arsenik minerali olarak arsenopirit içermektedir. Metal bileşimli altın içerikli arsenik cevherlerinin flotasyonu, metallerin yüzdürülmesinin ardından altın içeren pirit/arsenopiritin yüzdürülmesinden oluşan ikincil bir flotasyon tekniği ile tamamlanmaktadır. Pirit ve arsenopirit zayıf asit pH derecesinde ksantat türevi bir toplayıcı ile yüzdürülmektedir (Cankurtaran, 2016).

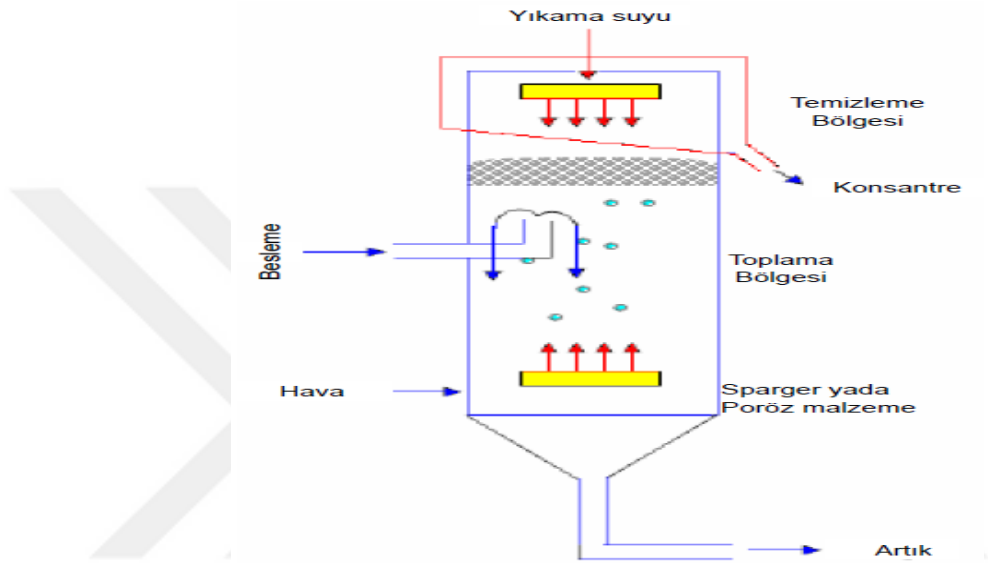
Sülfürlü metaller ile bulunan altın cevherlerinin flotasyonu: Kurşun-çinko, bakır-çinko, bakır-kurşun-çinko ve bakır-nikel cevherleri genelde dikkate alınacak derecede (1-9 g/t arasında) altın içermektedir. Bu cevherlerdeki altın genelde elemental olarak bulunmaktadır. Altının büyük bir kısmı kazanılamayacak kadar pirit içerisinde dağılmış haldedir.

Sülfürlü atıklardaki serbest altının flotasyonu: Atık cevherin hiçbir ekonomik değeri olmadığından asıl amaç serbest altını seçimli şekilde toplamaktır. Genellikle serbest altın doğal pH derecesinde çok az toplayıcı ile ya da hiç toplayıcı gerektirmeden bile yüzdürülebilmektedir (Cankurtaran, 2016).

Sülfürlü atıklardaki serbestleşmemiş altının flotasyonu: Altının tane boyu çok ince (<10 µm gibi) ve sülfürlü minareller ile birlikte olması durumunda, siyanürleme verimi oldukça düşmektedir. Bu durumda flotasyon, değerli refrakter cevherin daha fazla elde edilmesi için bir ön zenginleştirme aşaması olarak kullanılabilir. Böyle cevherler için oluşturulacak flotasyon devreleri genelde altın içeren tüm minerallerin kazanım verimleri maksimum olacak şekilde tasarlanmaktadır. Şartlar hem serbest altın tanelerini hem de bağlı altın tanelerini kazanacak şekilde optimize edilmektedir (Cankurtaran, 2016).



Değersiz minerallerin flotasyonu: Altın kazanım aşamasına gelmeden önce karbonatlar gibi oksitleme işleminde ph kontrolünü zorlaştıran ya da adsorpsiyonu etkileyen karbonlu mineraller gibi değersiz minerallerin sistemden uzaklaştırılmasında flotasyon kullanılabilir. Böylece verim yükseltilebilmekte ve kimyasal tüketimi azaltılabilmektedir (Cankurtaran, 2016) . Klasik kolon flotasyonu Şekil 3.22.'de şematize edilmiştir.



Şekil 3.22. Klasik kolon flotasyonu (Hacıfazlıoğlu, 2007).

### 3.4. Amalgamasyon (Civa İle Alaşım Yapma)

Amalgamasyon metalik altın, gümüş ya da ikisinin alaşımına uygulanan konsantre prosesidir. Bu yöntem genellikle nabit altın içeren cevherlerin gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanır. Cevherin tane boyu altın ya da gümüşün civa ile etkileşimi sırasında maksimum yüzey alanı sağlayacak boyutta (genellikle 100-325 mesh) olmalıdır. Cevherin dağılmasında ve metal-civa arayüzey oluşumunda yardımcı rol oynaması için cevher su ile karıştırılmaktadır. Ayrıca cevherde arsenik, antimuan, bizmut ve sülfürlü mineraller de olmamalıdır. Bu mineraller civa ile tepkimeye girerek, amalgamasyon işlem verimini düşürmektedir (Bayraktar ve Yarar, 1985). Ancak civa kullanımı, işçi sağlığı ve yarattığı çevre sorunları yüzünden sakıncalar taşımaktadır. Bu nedenle amalgamasyon yöntemiyle altın üretimi giderek azalmaktadır. Amalgam tesisi görseli Şekil 3.23.'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Amalgam Tesisi Comstock Lode, Virginia City, Nevada 1900 (Erkan, 2015).

## **BÖLÜM 4. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI**

Cevhere uygulanacak zenginleştirme yönteminin seçimi cevherin mineralojik, jeolojik, metalurjik özellikleri ile çevresel ve coğrafik faktörleri değerlendirilerek yapılmaktadır. Farklı tipteki altın cevherlerine uygulanan zenginleştirme yöntemleri de farklıdır. Bu nedenle zenginleştirme yönteminin belirlenmesi için cevher mineralojisi üzerinde detaylı araştırma yapmak gerekir. Cevherin altın içeriğinin bilinmesi yeterli değildir.

Gravimetrik yöntem eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Bu yöntemin ilkesi altın içeren minerallerin yüksek yoğunlukta olmasına dayanır. Yöntemin uygulanması cevherdeki altının serbest ve iri olmasını gerektirir. Serbest ve iri taneli altın cevher yataklarının azalması ve 1900'lerde siyanürlemenin bulunması ile birlikte gravite ile zenginleştirmenin uygulaması azalmıştır (Ünal, Tuncel, Yoleri ve Arslan, 2016). Kimyasal kullanımını gerektirmemesi diğer zenginleştirme yöntemlerine göre en önemli avantajıdır.

Altın taneleri taşıdığı göreceli olarak doğal hava severlik özelliğinden dolayı cevher mineralojisi uygun olduğunda, endüstriyel çapta flotasyon yöntemi kullanılarak kazanılabilmektedir. Flotasyon yönteminin uygulanabileceği iki tip altın cevheri vardır. Birincisi altının serbest olarak bulunduğu ancak birlikte bulunduğu sülfürlerin tamamen veya kısmen okside oldukları cevherler, ikincisi altının serbest halde bulunduğu veya tellüridler şeklinde bulunduğu cevherlerdir. Serbest altın tanelerinin yüzdürülebilirliği tane iriliği ve tanecik şekline bağlıdır. Pulsu taneler, küresel tanelere göre daha kolay yüzerler. 200 mikrondan iri ve 2 mikrondan ince nabit altın ve gümüş taneleri içeren bir cevherin flotasyonla zenginleştirilmesi oldukça zordur. Zenginleştirme öncesi yapılan mikroskopik incelemelerde cevherin 200 mikrondan daha iri serbest altın taneleri içerdiği görülürse, cevher önce gravimetrik veya amalgamasyon yöntemi ile zenginleştirilir. Yaygın olarak flotasyon genelde zenginleştirme öncesi ön işlem olarak düşünülmektedir.

Bazı uygulamalarda gravimetrik zenginleştirme sonrasında uygulanarak, amalgamasyon işlemi yerine ikame etmektedir. Çok az sayıdaki tesis flotasyon sonucu elde edilen konsantreyi doğrudan izabeye gönderebilmektedir (Cankurtaran, 2016; Chryssoulis, Venter ve Dimov, 2003).

Amalgamasyon metalik altın, gümüş ya da ikisinin alaşımına uygulanan konsantre prosesidir. Bu yöntem genellikle nabit altın içeren cevherlerin gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanır. Cevherin tane boyu altın ya da gümüşün civa ile etkileşimi sırasında maksimum yüzey alanı sağlayacak boyutta (genellikle 100-325 mesh) olmalıdır. Cevherin dağılmasında ve metal-civa arayüzey oluşumunda yardımcı rol oynaması için cevher su ile karıştırılmaktadır. Ayrıca cevherde arsenik, antimuan, bizmut ve sülfürlü mineraller de olmamalıdır. Bu mineraller civa ile tepkimeye girerek, amalgamasyon işlem verimini düşürmektedir (Bayraktar ve Yarar, 1985). Ancak civa kullanımı, işçi sağlığı ve yarattığı çevre sorunları yüzünden sakıncalar taşımaktadır. Bu nedenle amalgamasyon yöntemiyle altın üretimi terk edilmektedir.

Arsenopirit ve piritli kompleks cevherlerin dışında, fizikokimyasal ve fiziksel tekniklerin az etki ettiği, tenörün düşük olduğu ve taneciklerinin çok ince hale getirildiği bütün altın cevherlerinin ekonomik şartlarda değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bunun nedenle günümüz şartlarında altın üretimi için en fazla ilgi gören uygulama olarak kullanılmaktadır. Arsenopirit ve piritli altın cevherleri flotasyon yöntemi ile zenginleştirilerek kavrulma işlemi yapıldıktan sonra siyanürlendiğinde, siyanür tüketiminde azalma olduğu görülmüştür (Lunt ve Briggs, 2005; Erkan, 2015). Altın siyanürleme yöntemi ile sıvı hale geçmekte ve bu haldeyken direk çöktürme işlemi uygulama ya da aktif karbona soğurma, geri sıyırma ve elektroliz işlemlerini içeren hidrometalürjik prosesler uygulanarak elde edilmektedir.

Altın cevherlerine tank liçi prosesleri uygulanırken, kırma ve öğütme işlemleri ile altının ufalanması ve cevherde bulunan ince altın taneciklerinin serbestleşerek yüzeylerinin siyanürle temasa geçebilmesi amaçlanmaktadır. Bu işlemde daha çok bilyalı ve çubuklu değirmenlerin kullanılması sonucu, sulu şekilde 75 mikrondan küçük olarak öğütülen cevher, pülp haline getirilerek liç tanklarına verilmektedir Genellikle pülp %45 katı

oranında tutulmaktadır. 16-24 saatlik liç süresi ve 100-500 ppm NaCN konsantrasyonu altın liçi için uygun olmaktadır (Sayiner, 2012; Haque, 1992).

Tank liçi işleminde, öğütme yapılması sonucunda cevherde bulunan ince altın tanelerinin çok miktarda serbestleştirilmesi sağlanarak %95'in üzerine çıkan altın kazanma verimine ulaşılmaktadır. Bunun yanında öğütme boyutu ne kadar küçülürse, öğütme maliyeti de o kadar artış göstereceği için ekonomik yönden optimum öğütme boyutlarında çalışma yapılması daha doğru bir işlem olmaktadır.

Küçük boyuta (<1 mm) indirilmiş cevher, kimyasal çözücü ve su karışımı pülpün, uygun bir tank içinde, atmosfer basıncında veya farklı basınçlarda mekanik veya havalı olarak karıştırılması ile yapılan işleme karıştırmalı tank liçi adı verilmektedir. Liç süresinin kısa ve metal kazanma veriminin yüksek olması nedeni ile endüstriyel uygulaması en yaygın olan liç yöntemidir.

Genel olarak cevher çağın ekonomik şartlarına göre yaklaşık olarak 2 g/t'un altında altın bulunduruyorsa yığın liçi uygulaması düşünülmektedir. Cevher yığın liçi uygulamasında iri boyuta kırılarak tesislerdeki maliyeti en yüksek aşama olan öğütme işlemine gerek duyulmamaktadır. Bu şekilde altın taneleri yeteri kadar serbestleşemediği için tank liçi yöntemine kıyasla çözünme verimi daha düşük olmakta ancak öğütme maliyetlerinin de az olması yüksek oranda tasarruf elde edilmesini sağlamaktadır (Haque, 1992). Yığın liçi yönteminden başarılı sonuçlar elde edilmesi amaçlanıyorsa altın ve gümüşü tutacak olan minerallerin yüksek oranda siyanür tüketen bileşenlerle kireç tüketimini artıracak asit yapıcı bileşenleri bulundurmaması, karbonlu malzemeler taşımaması, altın tanelerini örtme özelliğine sahip demir oksit oluşmasını sağlayacak uygun malzeme bulunmaması, yığın içerisindeki siyanür çözeltisinin akmasına engel olacak kil gibi çok ince malzemedan oluşmaması gerekmektedir (Erkan, 2015). Cevherin yapısının uygun olması durumunda yığın liçi en ekonomik yöntemdir.

Uygulama cevherlerin farklı şekillerde 25 mm - 6,3 mm arasında belirlenmiş boyutun altına kırılıp, eğimli açık arazideki geçirimsiz jeomembranlar üzerine serilerek yığınlar oluşturulması şeklinde yapılmaktadır.. Yığının üzerine damlatma yöntemi ile 0,5-1,0 g

NaCN/L içeren siyanür çözeltisi, 10-15 L/dakika akma hızı ile verilmektedir. Yığın üzerine ilk püskürtme yapıldıktan sonra çözeltinin tabana ulaşması 3 -5 günü bulmaktadır. Altın yüklü çözelti yığının alt basamaklarına süzülerek en alttaki havuzda toplanır. Yüklü olan bu çözeltideki altın, karbona soğurma(karbon üzerine adsorpsiyon) yöntemi ile kazanılabilmektedir (Haque, 1992). 6-7 haftalık liç süresi ile %60-70 oranında altın kazanım verimi elde edilebilmektedir.

Tank liçi ve yığın liçi karşılaştırıldığında, yığın liçinin işletme maliyetinin %55 ve yatırım maliyetinin %75 daha düşük olduğu bilinmektedir. Buna karşı, tank liçi için gereken liç süresi daha düşük ve altın kazanım verimi daha yüksektir. Ayrıca tank liçi olumsuz iklim şartlarından etkilenmemekte ve kış aylarında diğer yöntemlerde görülen donma olayı ile karşılaşmamaktadır (Özbayoğlu, 1989). Yığın liçi uygulamalarında iklim şartlarına bağlı sorunlar ile karşılaşmaktadır. Kış aylarının soğuk geçtiği bölgelerde altın ve gümüşün çözünürlüğünde büyük düşüşler olmaktadır. Liç çözeltisi sıcaklığının 10°C'ın altına düşmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, kışların soğuk geçtiği bölgelerde uygulamaya bir süre ara vermek ya da bu süre içerisinde tank liçi uygulaması yapılmaktadır (Girginc, 1989).

10 milyon tonluk bir hipotetik cevher kütlesi (0,04-0,01 ons Au/ton) dikkate alınarak yapılan bir çalışmada çeşitli altın üretim yöntemlerinin ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmadaki değerlendirme iki farklı altın fiyatı, dikkate alınarak yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir (Girginc, 1989).

Tablo 4.1. Dört alternatif altın üretimi yönteminin ilk yatırım ve işletme giderleri ile gerekli minimum tenör karşılaştırmaları (Girginc, 1989).

	Maliyet Faktörü		Gerekli Minimum Tenör, Ons Au/Ton	
	İlk Yatırım	İşletme		
Ters Akımda Su atma Klasik kanştırılmalı Liç- Merrill Crowe Palp içinde Karbon Kanştırılmalı Liç- Elektro kazanım	1,000	1,000	0,056	0,042
Tank Liçi-Karbon Özümlemesi-Elektrokazanım	0,750	0,940	0,045	0,035
Yığın Liçi-Karbon Özümlemesi-Elektrokazanım	0,520	0,790	0,033	0,029
	0,320	0,660	0,030	0,025

Uygulamanın hazırlıklı ya da yerinde yığın liçi şeklinde gerçekleştirilmesine bağlı olarak yığın liçi işleminin maliyeti değişmektedir. Tablo 4.2.'de 30.000 tonluk hipotetik bir yığın liçi için verilen maliyet değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada cevherin boyut küçültme ve topaklaştırma işlemine tabi tutulduğu, ton cevher başına 0,45 kg siyanür ve 1,36 kg kireç (ya da portland çimentosu) tüketildiği ve liç çevriminin de 30 gün olduğu varsayılmıştır (Girginc, 1989).

Tablo 4.2. 30.000 Tonluk Yığın Liçi-Siyanürleme işleminin tahmini maliyeti (Girginc, 1989).

İşlem	Maliyet Ton/Cevher (\$)
Geçirimsiz tabakanın hazırlanması	0,80
Boyut küçültme ve aglomerasyon	1,85
Cevherin geçirimsiz tabaka üzerine yerleştirilmesi	0,50
Kimyasal reaktifler	0,75
Yığın liçi işlemleri	0,85
Karbon desorpsiyonu-Yeniden kazanım	0,12
Diğerleri	0,50
Toplam	5,37

Adsorplanmış altının desorpsiyonu yani sıyırma proseslerinden olan Atmosferik Zadra prosesinin dizayn ve operasyon kolaylığı avantajlarının yanında, sıyırmanın uzun süre gerektirmesi gibi dezavantajı vardır. Diğer sıyırma prosesi alternatiflerine göre daha büyük ekipmanlara ve daha fazla karbon miktarına gereksinim olmaktadır. Basıncılı Zadra prosesi ile sıyırma işlemi 48-72 saatten 10-14 saate indirgenmektedir. 180<sup>0</sup>C'ye kadar artan sıcaklıkla sıyırma veriminin yükseldiği, 180<sup>0</sup>C üzerindeki sıcaklıklarda siyanürün parçalanması ve altının metalik halde karbon üzerine çökmesi ile sıyırma veriminin düştüğü, en yüksek sıyırma verimine 148<sup>0</sup>C de elde edildiği sonucuna yapılan mevcut çalışmalar ile ulaşılmıştır (John ve Fast, 1989).

AARL (Anglo Amerikan Araştırma Laboratuvarları Prosesi) prosesinin avantajı, 8 saatlik toplam süresi ile Zadra prosesinden daha kısa olmasıdır. Zadra prosesinde sıyırma işlemi kolondan sıcak siyanür ve kostik (NaCN+NaOH) çözeltisinin geçirilmesiyle yapılmakta; AARL'de ise siyanür ve kostik (NaCN+NaOH) çözeltisinde karbon bekletilmekte ve sonrasında yüksek kaliteli taze sıcak su geçirilerek sıyırma yapılmaktadır. Sıyırma suyu sıcaklığının 110<sup>0</sup>C olması nedeniyle kaynamayı önlemek için AARL sıyırma kolonu da basınçlı çalışmaktadır (John ve Fast, 1989). Su tüketiminin yüksek olması, asit ve

siyanürün birleşme olasılığı ve otomasyon kontrolünü gerektirmesi prosesin dezavantajlarıdır.

Alkollü sıyırma %20 oranında etil ya da metil alkol kullanılan sıyırma çözeltisiyle sıyırma süresi 48-72 saatten 12-16 saate düşürülmektedir. Etil alkol buharı metil alkol buharına göre daha az sağlık sorunu oluşturduğu için tercih edilmektedir. Alkollü sıyırma çözeltisi kullanılmasının en önemli dezavantajı sıyırma sonrası elektroliz işleminde yangın tehlikesinin olmasıdır. Elektrolizde oluşan bir kıvılcım alkollü çözeltiyi tutuşturabilmektedir. Bu nedenle alkol yerine, yanma tehlikesi bulunmayan glikol tercih edilebilmektedir. Ancak glikolün pahalı olması ve alkole göre daha fazla, 24-36 saatlik sıyırma süresi gerektirmesi dezavantajıdır. Mikron sıyırma prosesinde de alkollü sıyırma gibi, sıyırma alkol kullanılmakta ancak yüklü sıyırma solüsyonundaki alkolün elektroliz öncesi buharlaştırılarak çözeltiyi terk etmesi sağlanmaktadır. Böylece çözeltinin tutuşma riski ortadan kaldırılmaktadır. Sıyırma 8 saatte tamamlanmaktadır. Mikron sıyırma yöntemi ile elde edilen sıyırma çözeltilerindeki altın konsantrasyonu Zadra ve AARL proseslerine göre daha yüksektir (John ve Fast, 1989).

Dünya çapında öğütmeyle serbestleşebilen ve oksitli altın cevherlerinin hızla tükenmesi, madencilik endüstrisini refrakter altın yataklarına yöneltmiştir. Bunun sonucu olarak araştırma şirketleri altın üretimi için yeni yöntemleri incelemeye başlamışlar ve altının refrakter cevherlerin çok farklı türlerinden kazanımı yönünde atılımlar yapmışlardır (Çelik, 2009). Özellikle metaller ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler son yıllarda büyük ilgi çekmektedir. Bunun iki önemli nedeni vardır. Birincisi; dünya metal tüketimi son kırk yılda önemli miktarda artmıştır. Bu durum bazı metallerin değerlerinin artmasına, bazılarının ise yeterli miktarda bulunmamasına neden olmuştur. İkinci olarak metallerin çevre üzerindeki toksik etkilerinin en aza indirilmesinin önem kazanmasıdır (Sever, 2006).

Biyomadencilik; metallerin sülfür ve/veya demir içeren cevher veya mineral konsantrelerinden mikroorganizmaların kullanımı ile kazanımını tanımlamak için kullanılan genel bir ifadedir. Demir ve sülfür mikrobiyolojik olarak oksitlenip ferrik demir ve sülfürik asit oluşmaktadır. Bu oluşum bakır, nikel ve çinko sülfür gibi çözünmez



mineralleri suda çözünür metal sülfatlara dönüştürmektedir. Mikroorganizmaların yardımıyla metal çözünme prosesi; metallerin çözünmesi mineral yüzeyine ferrik demir ve/veya asidin etkisinin bir sonucu olduğu için kimyasal işlemin ve mikroorganizmalar ferrik demir ve asit oluşumuna sebep olduğundan mikrobiyolojik işlemin bir kombinasyonudur. Proses; baz metaller çözünerek su içine alındığından dolayı bazen biyoliç olarak ve bazen de altın kazanımında altın mineral içinde kaldığından ötürü biyooksidasyon şeklinde ifade edilmektedir (Ndlovu, 2007; Çelik, 2009). Altın bakteriyel etkilere karşı inert bir metal olmasına rağmen, bazı tip cevherlerden altın elde edilmesinde bakteriler kullanılmaktadır. Refrakter altın cevherlerindeki altın tanecikleri siyanür tarafından kolay çözündürülemez şekilde sülfür mineralleri, özellikle pirit ve arsenopirit içerisinde hapsolmuş durumdadır. Bakteriler; sülfürlü minerallerin kafes yapıları içerisinde bulunan altının siyanür ile temasını mümkün kılmak için, bu mineralleri oksitleyip kafes yapılarının parçalanmasına yardımcı olmaktadır (Rawlings, 2003). Biyomadenciliğin avantajları; cevherdeki metal tenörünün çok düşük olması durumunda bile yöntemin ekonomik olarak uygulanabilmesi, yöntemin basınçlı oksidasyon gibi yüksek sıcaklık ve basınç gereksinim duyulan ekipmanlara ihtiyaç duymaması, çoğu fizikokimyasal metal kazanım proseslerinden daha çevre dostu bir yöntem olması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması, bakteriyel proseslerin sonunda oluşan atıkların çok daha az oranda asidik maden drenajına sebep olmasıdır (Çelik, 2009). Biyooksidasyon proseslerinin kullanıldığı altın madenleri Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Biyooksidasyon proseslerinin kullanıldığı altın madenleri (Çelik, 2009).

Tesisin Adı	Yeri	Kapasitesi (t/gün)	Kullanılan Proses	Yıl
Fairview	Güney Afrika	62	BIOX	1986, 1991-
Sao Bento	Brezilya	150	BIOX	1990-
Harbour Lights	Avustralya	40	BIOX	1992-1994
Wiluna	Avustralya	158	BIOX	1993-
Sansu-Ashanti	Gana	960	BIOX	1994-
Tamboraque	Peru	60	BIOX	1999-
Fosterville	Avustralya	211	BIOX	2005-
Sudzal	Kazakistan	196	BIOX	2006-
Bogosa/Prestea	Gana	825	BIOX	2007-
Kokpatas	Özbekistan	1069	BIOX	2007-
Youanmi	Avustralya	120	BacTech	1994-1998
Beaconsfield	Avustralya	68	BacTech/Mintek	1999-
Laizhou	Çin	100	BacTech/Mintek	2001-
Agnes	Güney Afrika	50	GEOCOAT	2003-
Carlin-Nevada	A.B.D	10.200	BIOPRO	2000-

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 5.1. Tartışma

Günümüzde dünya altın üretiminin %85'i siyanürle, %15'lik bölüm diğer fiziksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Siyanüre alternatif bir kimyasal madde için günümüze kadar yapılan araştırmalar henüz bir sonuca ulaşamamıştır. Siyanüre ikame, en büyük rakip olarak görülen tiyoüre ( $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ ) ile altın çözündürülmesi; tiyoürenin oksidasyonunu önlemek için pH 1,4-1,5 aralığında çalışmak zorunluluğu, liç ortamının redoks potansiyelini (Eh) tiyoürenin oksitlenmesini engellemek için yardımcı kimyasal maddelerle ayarlama gereksinimi, nitrite dönüşümü mümkün olduğu için kansorejen olma riski nedenlerinden dolayı tiyoüre endüstriyel uygulamada alternatif olamamıştır. Siyanür kullanımının avantajları; geniş çapta endüstriyel ölçekli kullanıma imkan sağlaması, yüksek altın çözme verimleri, aktif karbon üzerine efektif adsorpsiyon, liç kimyası ve mekanizmasının çok iyi bilinmesidir. Dezavantajları; zehirleyici olması, yüksek pH değerlerinde çalışma gereği, yavaş liç kinetiği ve çevresel kısıtlamalarıdır. Bazı ağır metallerin siyanür çözeltisindeki davranışları Tablo 5.1. 'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bazı metallerin siyanür çözeltisindeki davranışları.

Metal ↓	Siyanür Çözeltisindeki Davranışı ↓
Gümüş (Ag)	Siyanür tüketimi ve altın seçimliliğini düşürür. Atık arıtma maliyeti artar.
Bakır (Cu)	Önemli siyanür ve oksijen tüketicidir. Çok çeşitli kompleksler oluşturur. Altının yüzeyini kaplayarak, altının çözeltiye geçmesinin yavaşlamasına sebep olabilir.
Demir (Fe)	Oksijen ve siyanür tüketimine sebep olur.
Kurşun (Pb)	Oksijen ve siyanür tüketimine sebep olur.
Tellür (Te)	Olumsuz etkisi yoktur. Olumsuz etki oluşturmaları durumunda hafif oksitleyici ön işlemler ile etki ortadan kaldırılabılır.
Arsenik (As) & Antimuan (Sb)	Oksijen ve siyanür tüketimine sebep olur.
Çinko (Zn)	Oksijen ve siyanür tüketimine sebep olur. Çinko-siyanür kompleksleri $\text{CN}^-$ iyon sağlama kaynağı şeklinde değerlendirilebilmektedir.

Metal kazanım verimi yönünden yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, en yüksek verim karıştırmalı tank liçi yönteminden elde edilmekte olup, 24 saat içinde %90'lık bir verime ulaşılabilir.

Bunu tank liçi takip etmekte olup, 3-6 günlük bir zaman zarfında, %85'lik bir verim elde edilmektedir. Yığın liçi ise diğerlerinin yanında en yavaş işleyen bir yöntem olup, 6-7 haftalık bir devrenin sonunda ancak %60-70'lik bir randıman verebilmektedir. Yığın liçinin işletme maliyeti, tank liçine göre %55 ve yatırım maliyeti %75 daha düşüktür.

Yığın liçi yönteminde cevherin iri boyuta kırılması ile tesislerin en maliyetli aşaması olan öğütme işleminin uygulanmaması büyük tasarruf sağlamaktadır. İri boyuta kırılan altın tanelerinin yeterince serbestleşmemesi nedeniyle çözünme verimi, tank liçi yöntemine göre daha düşüktür.

Altın ve gümüşü tutan minerallerin karbonlu malzeme içermemesi, yüksek derecede siyanür tüketen bileşenler ve kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması, yığın alanından siyanür çözeltilisinin süzülmesini engelleyecek kil benzeri çok ince malzemedan oluşmaması, altın tanelerini örten demir oksit oluşumuna uygun malzeme içermemesi durumunda yığın liçi ile yüksek altın kazanım sonuçları elde edilebilir.

Yerinde yığın liçi yapılarak, yığın liçi maliyeti %50-60 oranında azaltılabilmektedir.

Yığın liçi uygulamalarında iklim şartlarına bağlı sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Kış aylarının soğuk geçtiği bölgelerde altın ve gümüşün çözünürlüğünde büyük düşüşler olmaktadır. Bu nedenle kışların soğuk geçtiği bölgelerde uygulamaya bir süre ara vermek ya da bu süre içerisinde tank liçi yapılmaktadır. Çözeltiyi belli bir sıcaklığa ısıtarak yığına gönderme konusunda da çalışmalar yapılmaktadır. Nem oranının düşük ve sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde ise buharlaşma sonucu yığına püskürtülen çözeltilinin %15-25'i kaybedilmekte ve bu da maliyetin artmasına neden olmaktadır. Liçi yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Liç yöntemlerinin karşılaştırılması.

Liç Türü	Liç Süresi, saat	Max. Altın Kazanım,%	İlk Yatırım Maliyet Fak.	İşletme Maliyet Fak.	Gerekli Min. Tenör Ons Au/T
Karıştırmalı					
Tank Liçi	24	90	0,75	0,94	0,045-0,035
Tank Liçi	72-144	85	0,52	0,79	0,033-0,029
Yığın Liçi	1008-1176	60 -70	0,32	0,66	0,030-0,025
Tank Liçi +					
Öğütme	16-24	95	>0,52	>0,79	0,033-0,029

Adsorplanmış altının desorpsiyon (sıyırma) yöntemlerinden Atmosferik Zadra sıyırma prosesinin avantajları; basit proses dizaynı gerektirmesi ve operasyon kolaylığıdır. Dezavantajları; sıyırma süresinin uzun olması (48-72 saat), büyük ekipman ve diğer yöntemlere göre fazla miktarda karbon gerektirmesidir. Basınçlı Zadra sıyırma prosesinin avantajı; sıyırma süresinin 10-14 saate indirgenmesidir.

AARL sıyırma prosesinin avantajı sıyırma süresinin kısa (8 saat) olmasıdır. Dezavantajları; su tüketiminin yüksek olması, sistemdeki asit ve siyanürün birleşme olasılığı ve otomasyon kontrolü gerektirmesidir.

Alkollü sıyırma prosesinin avantajı sıyırma süresinin 12-16 saat olmasıdır. Ancak elektroliz işleminde oluşabilecek kıvılcımın, alkollü çözeltiyi tutuşturma tehlikesi gibi çok önemli bir dezavantajı vardır. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için alkol yerine tercih edilen glikol kullanımının dezavantajı uzun sıyırma süresi (24-26 saat) gerektirmesi ve pahalı olmasıdır.

Mikron sıyırma prosesinde de alkol kullanılmaktadır. Ancak yüklü sıyırma solüsyonundaki alkol, elektroliz öncesi buharlaştırılarak çözeltinin tutuşma tehlikesi ortadan kaldırılmaktadır. Mikron sıyırma prosesi tutuşma tehlikesinin olmaması ve sıyırma süresinin 8 saat olması sebebi ile Alkollü sıyırma prosesine göre avantajlıdır.

Mikron sıyırma yöntemi ile elde edilen sıyırma çözeltilerindeki altın konsantrasyonu Zadra ve AARL proseslerine göre daha yüksek olduğu için elektroliz işlemine alternatif olarak altın kimyasal çöktürme ile kazanılmaktadır. Ayrıca Mikron sıyırma sonrası karbonun aktivitesi arttığı için sıyırmadan çıkan karbonun liçe verilmeden önce re-

aktivasyonuna daha az ihtiyaç duyulmaktadır. Desorpsiyon yöntemlerinin karşılaştırması Tablo 5.3. 'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Sıyırma proseslerinin karşılaştırılması.

Sıyırma Prosesleri↓	Süre, saat	Avantaj	Dezavantaj
Atmosferik Zadra	48-72	Dizayn&operasyonun basit olması.	Farklı sıyırma prosesi uygulamalarına nazaran daha büyük ekipmanlar gerektirmesi, sıyırma işlemi için daha yüksek oranda karbona ihtiyaç duyması, prosesin uzun süre gerektirmesi.
Basınçlı Zadra	10-14	Proses süresinin kısa olması.	Yüksek basınca dayanıklı ekipman gerektirmesi. Sıcaklık yüksek olduğu için siyanür çözünmekte ve metalik haldeki altının karbon üzerine çökmesi gerçekleşmektedir.
Alkollü Sıyırma	12-16	Proses süresinin kısa olması.	Sıyırma işleminden sonra elektroliz yapılırken yangına neden olma tehlikesinin bulunması, [Yanmayı engellemek amacıyla alkolün yerine glikol kullanılması tercih edilebilmektedir. Ancak glikol hem daha pahalı hem de alkole nazaran göre 24-36 saatlik uzun sıyırma süresi gerektirmektedir.]
Mikron Sıyırma	8	Proses süresinin kısa olması. Elde edilen sıyırma çözeltisindeki altın konsantrasyonu Zadra ve AARL proseslerine göre daha yüksektir. Sıyırma sonrası karbonun aktivitesi artmaktadır.	Endüstriyel uygulaması mevcut değildir. Uygulanabilirliği konusundaki araştırmalar devam etmektedir.
AARL	8	Proses süresinin kısa olması. Küçük ölçekli ekipmanlar ile, günde birden fazla sıyırma yapılabilmesi ile yüksek kazanımlara imkan sağlar.	Kalitesi yüksek taze suya ihtiyaç duyulması ve çok fazla su tüketimi, asit ve siyanürün birleşme olasılığı, otomasyon kontrolünü gerektirmesi.

Aktif karbona soğurma yöntemlerinden kolonda karbon (CIC) yöntemi katı-sıvı ayrımı gerektirmemesi sebebiyle yağın liçi uygulamalarında tercih edilmektedir. Liçte karbon yöntemi (CIL) preg-robbing olarak adlandırılan, organik karbon içeriği nedeniyle çözünmesinden sonra altını çözüldüğü geri adsorblayan cevherlerin liçinde uygulanmaktadır. Pülpte karbon yöntemi (CIP) siyanürleme kinetiği hızlı veya çözünen altının, katı artık tarafından yeniden soğurulması sakıncalı bulunan cevherlere uygulanmaktadır. Aktif karbona soğurma yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 5.4.'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Aktif karbona soğurma yöntemlerinin karşılaştırılması.

Yöntem ↓	Karşılaştırma
CIC	Temiz çözelti aktif karbonla doldurulmuş, seri bağlı kolonlardan geçirilmektedir. Katı-sıvı ayırımı gerektiren karıştırılmalı liç yönteminde tercih edilmemektedir. Yığın liçi uygulamalarında kullanılmaktadır.
CIL	Liç sonrası elde edilen çamur, tanklarda ters yönlü bir akışla aktif karbon ile temas ettirilir. Katı-sıvı ayırımı gerektirmemesi işletme maliyetini düşürmektedir.
CIP	Siyanürleme aşamasında aktif karbon sisteme verilmektedir. Çözünme ve karbona soğrulma eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Siyanürleme kinetiği hızlı veya çözünen altının, katı artık tarafından yeniden soğurulması sakıncalı bulunan cevherlere uygulanmaktadır.

Biyomadencilik; metallerin sülfür ve/veya demir içeren cevher veya mineral konsantrelerinden mikroorganizmaların kullanımı ile kazanımını tanımlamak için kullanılan genel bir ifadedir. Demir ve sülfür mikrobiyolojik olarak oksitlenip ferrik demir ve sülfürik asit oluşmaktadır. Bu oluşum bakır, nikel ve çinko sülfür gibi çözünmez mineralleri suda çözünür metal sülfatlara dönüştürmektedir. Mikroorganizmaların yardımıyla metal çözünme prosesi; metallerin çözünmesi mineral yüzeyine ferrik demir ve/veya asidin etkisinin bir sonucu olduğu için kimyasal işlemin ve mikroorganizmalar ferrik demir ve asit oluşumuna sebep olduğundan mikrobiyolojik işlemin bir kombinasyonudur. Proses; baz metaller çözünerek su içine alındığından dolayı bazen biyoliç olarak ve bazen de altın kazanımında altın mineral içinde kaldığından ötürü biyooksidasyon şeklinde ifade edilmektedir (Ndlovu, 2007; Çelik, 2009). Altın bakteriyel etkilere karşı inert bir metal olmasına rağmen, bazı tip cevherlerden altın elde edilmesinde bakteriler kullanılmaktadır. Refrakter altın cevherlerindeki altın tanecikleri siyanür tarafından kolay çözümlenemeyecek şekilde sülfür mineralleri, özellikle pirit ve arsenopirit içerisinde hapsolmuş durumdadır. Bakteriler; sülfürlü minerallerin kafes yapıları içerisinde bulunan altının siyanür ile temasını mümkün kılmak için, bu mineralleri oksitleyip kafes yapılarının parçalanmasına yardımcı olmaktadır (Rawlings, 2003). Biyomadencilik avantajları; cevherdeki metal tenörünün çok düşük olması durumunda bile yöntemin ekonomik olarak uygulanabilmesi, yöntemin basınçlı oksidasyon gibi yüksek sıcaklık ve basınç gereksinim duyulan ekipmanlara ihtiyaç duymaması, çoğu fizikokimyasal metal kazanım proseslerinden daha çevre dostu bir yöntem olması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması, bakteriyel proseslerin sonunda oluşan atıkların çok daha az oranda asidik maden drenajına sebep olmasıdır (Çelik, 2009).

Tablo 5.5. Biyomadencilik uygulamalarının karşılaştırılması.

Biyomadencilik Uygulamalarının Karşılaştırılması	
Tank Liçi	Liç süresinin kısa olması sebebi ile karıştırmalı tank liçi biyomadencilikte tercih edilmektedir.
Karıştırmalı Tank Liçi	Katı madde miktarı %20 ile sınırlıdır, katı konsantrasyon oranındaki bu sınırlama ve ilave olarak yığın liçinden daha yüksek olan işletme ve yatırım maliyetleri, karıştırmalı tank biyoliçinin kullanımını yüksek tenörlü cevher veya konsantreler ile sınırlandırmaktadır. Düşük karıştırma hızı, potansiyel oksijen gereksinimi, uzun liç süresi ve soğutma işlemine olan gereksinimden dolayı enerji tüketimi yüksektir. İşletme ve yatırım maliyeti yönünden avantajlıdır. Harici bir ısıtma işlemine gereksinim duyulmadan sıcaklığın yığın içerisinde istenilen değerlerde sağlanabildiği durumlarla sınırlıdır. Yığın geçirgenliği ve yığında çözeltinin dağıtımından kaynaklanan nedenlerle tepkime zamanının aşırı uzun olması, cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması, işlemi olumsuz etkilemektedir.
Yığın Liçi	

Biyomadencilik uygulamaları işlenecek olan ham cevherin özelliklerine bağlı olarak atık (dump) liçi, tank (vat) liçi, karıştırmalı tank (stirred-tank) liçi, yerinde (in situ) liç veya yığın (heap) liçi şeklinde uygulanmaktadır. İşletme ölçeğinde kullanılan biyoliç uygulamaları atık liçi, yığın liçi ve karıştırmalı tank biyooksidasyonudur (Dresher, 2004). Atık (dump) liçi uygulamasında, maden işletmesinden çıkartılan atık cevherler, düşük tenörlü cevher veya konsantre içeren atıklar depolandıkları yerde biyoliçe maruz bırakılıp, içerdikleri birtakım değerli metaller kazanılabilmektedir. Liç periyodunun birkaç gün olduğu karıştırmalı tank teknolojisinde, tank içindeki katı madde miktarı %20 ile sınırlı olmaktadır. Bu orandan daha yüksek pülp yoğunluklarında fiziksel ve mikrobiyolojik problemler oluşmaktadır. Tank içindeki süspansiyon, gaz transferini engelleyecek ölçüde çok kalın olmakta ve karıştırıcıların oluşturduğu makaslama gücü bakteri hücrelerini fiziksel zarara uğratmaktadır. Tank içindeki katı konsantrasyon oranındaki bu sınırlama ve ilave olarak yığın liçinden daha yüksek olan işletme ve yatırım maliyetleri, karıştırmalı tank biyoliçinin kullanımını yüksek tenörlü cevher veya konsantreler ile sınırlandırmaktadır (Williams, Hunter ve Arnall, 2007). Karıştırmalı tank teknolojisinde bir diğer çözülmesi gereken problem düşük karıştırma hızı, potansiyel oksijen gereksinimi, uzun liç süresi ve soğutma işlemine olan gereksinimden dolayı enerji tüketiminin yüksek olmasıdır (Harvey, 2005). Yığın liçi işlemi işletme ve yatırım maliyeti yönünden avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması; harici bir ısıtma işlemine gereksinim duyulmadan sıcaklığın yığın

içersinde istenilen değerlerde sağlanabildiği durumlarla sınırlıdır. Aynı zamanda, başlıca yığın geçirgenliği ve yığında çözeltinin dağıtımından kaynaklanan nedenlerle tepkime zamanının aşırı uzun olması, cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması, işlemleri olumsuz etkilemektedir (Sampson, Von der Merwe, Harvey ve Bath, 2005). Geleneksel yığın liçi işlemleri çok düşük tenörlü cevherlere uygulandığından dolayı, birim yığın hacmindeki mineral konsantrasyonu düşük olmaktadır ve bunun sonucu olarak yöntem düşük ısı oluşturma oranına sahiptir. Yığın içersindeki zayıf çözelti ve hava dağılımı ve minerallerin daha büyük taneler içinde kapanım halinde bulunması, etkili ısı üretimine daha fazla engel olmaktadır (Petersen ve Dixon, 2002). GeoBiotics, LLC (Colorado, ABD) Şirketi tarafından geliştirilip patenti alınmış olan yığın biyooksidasyon prosesinde öğütülmüş mineral konsantresi, göreceli olarak daha iri olan inert veya düşük tenörlü cevher parçalarının üzerine püskürtmeyle kaplanmakta ve daha sonra bu kaplanmış malzemeler biyo-yığın liçine maruz bırakılmaktadır. Böylelikle yığın liçi işleminin avantajlarından olan düşük işletme ve yatırım maliyetinden yararlanılmakta ve yukarıda değinilen cevherin tamamının yığın liçi işlemine tabi tutulması durumunda karşılaşılan uzun liç zamanı ve yığın içersinde oluşan ısının düşük olması gibi dezavantajların önüne geçilmiş olmaktadır (Petersen, Dixon, 2002; Çelik, 2009). Biyomadencilik uygulamalarının karşılaştırılması Tablo 5.5.'te verilmiştir.

## 5.2. Sonuç

1. Siyanüre alternatif bir kimyasal madde için günümüze kadar yapılan araştırmalar henüz bir sonuca ulaşamamıştır. Siyanüre ikame, en büyük rakip olarak görülen tiyoüre ( $CS(NH_2)_2$ ) endüstriyel uygulamada alternatif olamamıştır.
2. Metal kazanım verimi yönünden yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, en yüksek verim karıştırmalı tank liç yönteminden elde edilmekte olup, 24 saat içinde %90'lık bir verime ulaşılabilir.
3. Karıştırmalı tank liçini, tank liçi takip etmekte olup, 3-6 günlük bir zaman zarfında, %85'lik bir verim elde edilmektedir.
4. Yığın liçi ise diğer yöntemlerin yanında en yavaş işleyen bir yöntem olup, 6-7 haftalık bir devrenin sonunda ancak %60-70'lik bir randıman verebilmektedir.



5. Yıgın liçinin işletme maliyeti, tank liçine göre %55 ve yatırım maliyeti %75 daha düşüktür.
6. Yerinde yıgın liçi yapılarak, yıgın liçi maliyeti %50-60 oranında azaltılabilmektedir.
7. Mikron sıyırma yöntemi ile elde edilen sıyırma çözeltilerindeki altın konsantrasyonu Zadra ve AARL proseslerine göre daha yüksek olduğu için elektroliz işlemine alternatif olarak altın kimyasal çöktürme ile kazanılmaktadır.
8. CIC prosesi katı-sıvı ayırımını gerektiren karıştırmalı liç yönteminde tercih edilmemektedir. Yıgın liçi uygulamalarında kullanılmaktadır.
9. CIL prosesi katı-sıvı ayırımı gerektirmemesi işletme maliyetini düşürmektedir.
10. CIP prosesi siyanürleme kinetiği hızlı veya çözünen altının, katı artık tarafından yeniden soğurulması sakıncalı bulunan cevherlere uygulanmaktadır.
11. Karıştırmalı tank biyoliçinin kullanımını yüksek tenörlü cevher veya konsantreler ile sınırlandırmaktadır. Düşük karıştırma hızı, potansiyel oksijen gereksinimi, uzun liç süresi ve soğutma işlemine olan gereksinimden dolayı enerji tüketimi yüksektir.
12. Yıgın liçi biyoliçi işletme ve yatırım maliyeti yönünden avantajlıdır.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, B.S. ve Yarar, B. (1989). Natural Hydrophobicity Of Native Gold Flakes And Their Flotation Under Different Conditions. *Processing Of Complex Ores. Edited By G. S. Dobby, S. R. Rao.*
- Bath, M. D. (1973). Some Factors Influence Gold Recovery by Gravity Concentration, *J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, 363-384.*
- Bayraktar, İ. ve Yarar, B. (1985, Mayıs), Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu. *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi. TMMOB Maden Müh. Odası Yayını.*
- Bhappu, R.B. ve Milton F. L. (1974). Leaching Of Low Grade Gold Ores, Economic Evaluation Of Available Processes. *AIME Annual Meeting Dallas-Texas.*
- Brierley, L.C. (1995). Bacterial oxidation: master key to unlock refractory gold ores?”, *Engineering & Mining Journal.*
- Bulatovic, S.M. (1993). Evaluation of New HD Collectors in Flotation of Pyretic Copper-Gold Ores from B.C. Canada, Internal R&D Report LR029.
- Cameron Carbon Incorporated, *Activated Carbon Manufacture, Structure and Properties, Activated Carbon Related Technologies* (2006).
- Cankurtaran, M. (2016). *Kaymaz Altın Tesisi Atıklarından Flotasyon Yöntemi İle Altının Geri Kazanımı*, Hacettepe Üniversitesi.
- Çelik, H. (1998), Behaviour of Certain Heavy Metals in Alkaline Cyanide Solution. *Madencilik Dergisi, 37.*
- Çelik, H. (2004). *Cevher Mineralojisine Göre Altın Üretim Yöntemlerinin Tayini.*
- Çelik, H. (2009). *Yığın Biyooksidasyon Teknolojisinin Refrakter Altın Konsantrelerine Uygulanması.*
- Chryssoulis, S.L., Venter, D. ve Dimov, S.S. (2003). *On The Floatability Of Gold Grains. In: 35th CMP Proceedings, Ottawa. Canadian Institute Of Mining, Metallurgy And Petroleum, Montreal, 455–472.*
- Dresher, W.H., “Copper Applications in Mining and Extraction”, <http://www.copper.org/innovations/2004/05/>

- Erkan, E. (2015). *Altın Yığın Liçi Projesinde Farklı Kırma Boylarının Verimlilik ve Geçirimsizlik Performansının İncelenmesi*.
- Fell, R., Miller, S. ve Ambrosis, L. (1993). Seepage and Contamination From Mine Waste, *Proceedings of the Geotechnical Management of Waste and Contamination*, Rotterdam. 253-311.
- Fernandez, R.R. ve Sohn, H.Y. (2000). Levier K.M., Process for Treating Refractory Gold Ores by Roasting Under Oxidizing Conditions. *Minerals and Metallurgical Processing*, 1-6.
- Fleming, C. A. ve Nicol, M. J. (1984). The Adsorption Of Gold Cyanide Onto Activated Carbon. *III. Factors Influencing The Rate Of Loading And The Equilibrium Capacity. J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 84, 4. 85-93.
- Girginc, İ. (1989, Mart). Düşük Tenörlü Cevherlerden Yığın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı, *Madencilik Dergisi*.
- Gray, D. E. (1999). *Aquantitative Study Into Carbon-In-Pulp Adsorption Operations*. Digital Knowledge, Cape Peninsula University of Technology.
- Habashi F. ve Baş A.D. (2013). Altın Metalurjisinde Yeni Gelişmeler. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, 52, 1, 3-17.
- Habashi, F. (1967). Kinetics And Mechanism Of Gold And Silver Dissolution In Cyanide Solution. *Bulletin 59, Montana Bureau Of Mines*. Butte, Montana.
- Hacıfazlıoğlu, H. (2007). Alternatif Flotasyon Yöntemlerinin Tanıtılması. *Madencilik Dergisi*, Cilt 46. 23-41.
- Hampton, A. P. (2002). Zinc Cementation-the Meril Crowe Process, Mineral Processing Plant Design, Practise and Control Proceeding Society for Mining, *Metallurgy and Exploration*. 1663-1679.
- Haque, K.E. (1992). The Role of Oxygen in Cyanide Leaching of Gold Ore (Vol. 85, No. 963). 31-38.
- Harvey, T. (2005). "It's a bug's life", World Mining Equipment, March.
- Hausen, D. M., Petruk W. ve Hagni R.D. (1997). *Global Exploitation Of Heap Leachable Gold Deposits*. The Minerals.
- Heinen, H. J., Peterson, D. G. ve Lindstrom, R. E. (1978). *Processing Gold Ores Using Heap Leach – Carbon Adsorption Methods*, U.S. Breau of Mines.
- Henley, K.J. (1975). *Gold-ore Mineralogy and Its Relation to Metallurgical Treatment*, Vol 7, 289-312.

- House, J. E. (1997). *Principles of Chemical Kinetics*, Wm C. Brown Publishers, Dubuque, USA, 117-118.
- John, L. ve Fast, P.E. (1989). Carbon Stripping The Practical Alternatives. <http://www.denvermineral.com/carbon-stripping/>
- Jones, K. ve Staunton, W. (1991), Basic Cyanide Chemistry, Fate of Cyanide in the Environment Near Mine Tailings. AMIRA Project P277, Final Report-1.
- Kappes, D. W. (2005). Heap Leaching of Gold and Silver Ores, *Advances in Gold Ore Processing*, 456-478.
- Kappes, D. W., *Precious Metal Heap Leach Design and Practice*. Cassidy & Associates, Reno, Nevada. [http://www.ore-max.com/pdfs/resources/precious\\_metal\\_heap\\_leach\\_design\\_and\\_practice](http://www.ore-max.com/pdfs/resources/precious_metal_heap_leach_design_and_practice).
- Kaya, M., Kurama, H. ve Öz, D. (1996). Comparison of the Current Cyanide Destruction Methods. *The First International Symposium on Mine Environmental Engineering*, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 275-282.
- La Brooy, S.R., Linge, H.G. ve Walker, G.S. (1994). *Review of Gold Extraction From Ores. Min. Engineering* (Vol.7 No.10), 1213-1241.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K. ve Mudder, T. I. (2001). Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi. *International Council On Metals And The Environment*.
- Lunt, D. ve Briggs, N. (2005). *Refractory Sulfide Ore – Case Studies, Advances in Gold Ore Processing*. 920-937.
- Marsden, J. O. ve House, I. (1992). *The Chemistry of Gold Extraction*. Ellis Horwood, 379-385-508.
- Marsden, J. O. ve House, I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction*. 19-25.
- McClelland, G. E., Pool, D. L. ve Eisele, J. A. (1983). *Agglomeration Heap Leaching Operations in The Precious Metals Industry*.
- McClelland, G.E. ve Hill, S.D. (1981). Silver and Gold Recovery From Low Grade Resources, *Mining Congress Journal*, 17-41.
- Mussati, D., Hager, J. ve Martin, G.P. (1997), *Electrochemical Aspects Of The Dissolution Of Gold In Cyanide Electrolytes Containing Lead, In Aqueous Electrotechnologies*. D. Dreisinger (Ed). TMSAIME, Warrendale, Pennsylvania, 247-265.
- Ndlovu, S. (2007), “*Biohydrometallurgy for Sustainable Development in the African Minerals Industry*”, *Hydrometallurgy*, Article in Press.

- Nsimba, E. B. (2009). Cyanide and Cyanide Complexes in the Goldmine Polluted Land in the East and Central Rand Goldfields, South Africa. Johannesburg. <wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle>.
- Oygür, V.ve Zambak, C. (2002). Ovacık Altın Madenindeki Atık Depolama Tesislerinin Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi. *Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Uygun Çevre ve Katı Atık Yönetimi ve Teknolojileri Kongresi*.
- Özbayoğlu, G. (1989). Düşük Tenörlü Altın Madenlerine Uygulanan Liç Yöntemi. *Madencilik Dergisi*, 6.
- Petersen, J. and Dixon, D.G. (2002). “Thermophilic Heap Leaching of a Chalcopyrite Concentrate”, *Minerals Engineering*, 15:777-785.
- Pizarro, R.S., Pato, V.V. ve Ricafart, L.R. (1987). Masbate Gold Operation is Site of First Commercial Heap Leaching Plant in Phillippines, *Mining Engineering*, 39 (7), 853-856.
- Rawlings, D.E., Dew, D. And Plessis, C.D. (2003). “Biomining of Metal Containing Ores And Concentrates, Trends In Biotechnology”, V.21, 1:38-44, January.
- Sampson, M.I., Van der Merwe, J.W., Harvey, T.J. and Bath, M.D. (2005). “Testing the Ability of a Low Grade Sphalerite Concentrate to Achieve Autothermality During Biooxidation Heap Leaching”, *Minerals Engineering*, 18:42-437.
- Sayiner, B. (2012). *Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Elementlerin Etkisinin Araştırılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Sever, E. (2006). *İskenderun Demir Çelik Fabrikası Atıklarına Biyoliç Uygulaması*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Smit, A. ve Mudder, T. (1991). *The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes*. Mining Journal Books Ltd., England.
- Taggart, A.F. (1927). Flotation Of Gold And Silver. In: *Handbook Of Mineral Dressing*, Section 12. Wiley, New York, 866–868.
- Url-1 <<http://www.mining.com/heap-leach-minings-breakthrough-technology/>>, erişim tarihi 13.04.2019
- Url-2 <<https://www.911metallurgist.com/blog/effect-of-oxygen-on-gold-leaching/>>, erişim tarihi 13.04.2019
- Url-3 <<https://www.slideshare.net/Rosemont-Copper/heap-leach-facilities>>, erişim tarihi 13.04.2019
- Ünal, İ. H., Tuncel, S., Yoleri, B. ve Arslan, M. (2016, Temmuz). *Türkiye ve Dünyada Altın*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

- Williams, T., Hunter, C. and Arnall, B. (2007). "Pacific Ore Technology's Bacterial Leaching of Chalcopyrite". [http://www.pacificore.com.au/uploads/media/POT\\_Copper\\_paper.pdf](http://www.pacificore.com.au/uploads/media/POT_Copper_paper.pdf)
- Yamak, Z., Somppi, M. ve Drozd, M. (2017, Ocak). Economic Evaluation Of Activated Carbon For Gold Milling Circuits. *49th Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference*, Ottawa, Ontario.
- Yüce, E. A., Önal, G. ve Tarkan M. H. (2002). Altın Tesisinin Güncel Verileri Siyanürleme ve Çevresel Etkileri Hakkındaki Herşeyi Açıklıyor. *Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Uygun Çevre ve Katı Atık Yönetimi ve Teknolojileri Kongresi*.



## ÖZGEÇMİŞ

Elmas DİLBAZ, 10.03.1990'da Kayseri'de doğdu. İlk eğitimini Yozgat, orta ve lise eğitimini Kayseri'de tamamladı. 2008 yılında Sami Yangın Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Koza Altın İşletmeleri A.Ş. Himmetdede Altın Madeni'nde Satınalma Sorumlusu olarak çalışmaya başladı. 2016 yılında Satınalma Uzmanı olarak aynı yerde çalışmaya devam etti. Akabinde Metalurjist olarak çalışmaya başladı. Halen Himmetdede Altın Madeni'nde Metalurjist olarak görev yapmaktadır.