



Siyanirleme Yöntemiyle Altın Üretimi Ve Atıkların Çevresel Değerlendirilmesi

JEOLOJİ-
MÜHENDİSLERİ ODASI

1. SİYANÜRLEME YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ

Epiternal altın cevherlerinin karakteristik özelliği cevherin düşük tenörlü ve bünyesindeki altının ince taneli olmasıdır. Siyanürle özütlenme yöntemi, bu tür cevherlerden altın kazanımı için teknik ve ekonomik olarak uygulanabilecek tek prosedir. Bu nedenle siyanürleme yöntemi bütün Dünya'da yaygın biçimde kullanılmaktadır (Şekil 1). Uygulanan teknik, altının içinde bulunduğu tüm kayacın kütleli olarak işletilmesine olanak tanıdığından yataktaki açık işletme yapılabilmektedir. Böylece işletme rezervi son derece büyürken, işletme tenörü de 0.7 gr/t'a kadar düşmektedir. ABD'de 1989 yılında üretilen % 86'sı siyanürle özütlenme yöntemiyle, % 11.5'i baz metallerden çinko amalgamasyonu ve doğrudan ekstrezyon yöntemiyle kazanılmıştır.

Siyanür içerisinde altının çözünürlüğü uzun zamandır bilinmektedir. Bu yöntem ilk kez 1867'de altın ve gümüşlü cevherlerin işlenmesi için ABD'de akıyan bir patent ile ortaya çıkmıştır. Ancak, yöntem 1891 yılında "G. Afrika'daki altın madeninde uygulanmış ve maliyetinin yüksek olması nedeniyle kullanılmayacağına karar verilmiştir. 1950 yılında U.S. Bureau of Mines, aktif karbonla soğurma (adsorption) "birlikte siyanürle özütlenme yönteminin düşük tenörlü altın cevherlerinde ekonomik olarak kullanılabilirliğini belirtmiştir.

1970'lerin sonlarında, yığın özütlenme (heap leaching) tekniğinin geliştirilmesiyle birlikte siyanürleme yöntemi etkin bir biçimde düşük tenörlü epiternal altın cevherlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Değerli metal madenciliğini etkileyen bu

"devrim" son yıllardaki iki çağatış gelişiminin sonucudur:

1) Özütlenme havuzlarının yer altı barajlarının tabanlarına yayılan plastik örtüler (geomembrane) artık çok ucuza ve kolayca temin edilebilmektedir.

2) Klasik çinko ile çöktürme yöntemi yerine, altın ve gümüşün çözüldükten sonra kısa zamanda alınmasını sağlayan aktif karbon tanelerinin kullanılması günümüzde mümkün olmuştur.

2. SİYANÜRLEME ÖZÜTLENME TEKNİĞİ

Siyanürleme yönteminde, altının "CN" iyonu ile anyonik bileşik yapıda sıvı faza özütlenmesi esas alınmaktadır. Altının tane boyuna, cevherin tenörüne ve mineralojik özelliklerine göre siyanürleme ya yığın özütlenme tekniği ya da tank içinde karıştırmalı özütlenme tekniği biçiminde uygulanmaktadır.

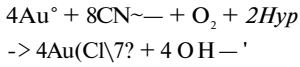
Karıştırmalı Özütlenmede (agitation leaching), cevher genellikle 200 mesh (0,075 mm) altında öğütülerek bir tank içinde siyanürle çözeltiyle karıştırılmaktadır. Karıştırma süresi 24-48 saat arasında değişir ve proses verimi en az % 90'dır.

Yığın özütlenmede Cheap leaching) cevher 75 mm'nin altına kırılarak geçirgen olmayan bir zemin üzerine yığılır. Cevherli kayanın kırılma boyutu geçirgenliğine bağlıdır. Yığının tabanında geçirimsizliği sağlamak amacıyla, kil, asfalt, çimento ve plastik örtü gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bu geçirimsiz zemin üzerine, 10-20 cm kalınlığında bir ince çakıl düzeyi serilir. Böylece, yığın haline getirilmiş cevherli kaya üzerine püskürtülen siyanürlü çözeltinin oluşturduğu proses suyu ön-toplama havuzun-

ÇEVİE

dan alınır. Yeterli bir akaçlama oluşması için zemine 1°-6°'lik bir eğim verilir. Tepkimenin süresi ve verimi. siyanür çözeltisinin içerisinde "süzülmeğine izin verecek biçimde yığının geçirgenliğine bağlıdır. Yığının yüksekliğinin belirlenmesinde, cevherli malzemenin kırılma boyu ve gözenekliliği belirleyici etkindir. Yıkama süresi genelde 40 üe 60 gün sürer ve ilk 19 gün sonunda altının % 50'si çözeltiliye al.ia.ir. Yıkama süresi sonunda verini en çok % 70'dir.

Siyanürleme yönteminde cevher, seyreltilmiş bir alkalın siyanür çözeltisi (genelde NaCN) ile işleme sokulur. Cevher içindeki altın ve gümüş, oksijen varlığında şu denkleme göre çözeltiliye geçer:



Kullanılan NaCN çözeltisinin derişinü cevher tipine göre değişim göstermekle birlikte % 0.01-0.1 arasındadır, Siyanür - tükeümüyse 1-10 kg/ton cevher 'dolayında olmaktadır,

Siyanürleme yöntemi her cevher türünde başarılı olmamaktadır. Olumlu bir sonuç alınması için cevherin şu özellikleri; taşınması gerekir;

1- Altın ve gümüşü tutan karbon, bojulu malzeme içermemesi;
2- Bakır, arsenik ve antımuansülfürleri gibi, yüksek derecede siyanür tüketen bileşenlere sahip olmaması;

3- Kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması;

4- Yığın, içerisinde siyanür çözeltisinin akmasını; engelleyecek kil benzeri çok ince malzemedenden oluşmaması;

5- Mekaniksel olarak altın demir oksitlerini örtecek olan demir oksit

şumuna elverişli malzeme içermemesi.

Yığın veya karıştırmalı tanktan gelen altınli siyanür çözeltisindeki altın, çinko ile çöktürme, aktif karbona yüzey soğurma veya iyon değiştirme proseslerinden birisiyle çözeltiden alınır, Günümüzde, gerek zaman, gerekse ekonomik nedenlerle aktif karbon yöntemi fazlaca kullanılmak üzere havuza alınır. Altın ise, metalli çözeltiden daha sonra elektrokürnyasal yöntemlerle kazanılır.

3, ŞİTANÜRÜN.

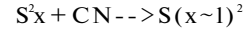
ÖZEJLÜKİJEİİ

Siyanür, diğer birçok zehire benzemeyen bir biçimde, organizmalarda birikmeyen geçici bir zehirdir. Stratosferde ve kuzey yarım kürenin troposferinde 150-170 ppb (mg/m³) düzeyinde mevcuttur. Güneş ışınlarının etkisiyle ve atmosferdeki OH ve O³ ile oluşan, henüz çözümlenmemiş; tepkimeler yardımıyla HCN parçalanır. Bitkiler ve bakteriler tarafından biyolojik olarak da bozuntu*. Yaşam ve sağlık için tehlike sınırı 60 mg/m³; deriyed doğrudan temas veya soluma sınırı 8' saatlik işgünü, boyunca 10 mg/m³; içme suyunda bulunma sınırı ise 0.05 mg/lt toplam CN'dir.

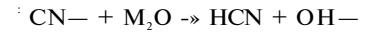
Fe(CN)₃ ve serbest (CN⁻) biçimindeki siyanür sũ ve toprakta çok hareketlidir. buna karşın KCN az hareketlidir. Yüksek pH, serbest CaCO₃ varlığı, düşük kil içeriği ve montmorillonit varlığı siyanürlerin hareketliliğini, artırmaktadır.

Molekülün yüksek hareketliliği nedeniyle, serbest siyanüre doğada çok ender rastlanılmaktadır. Siyanürler ortamda ya diğer bileşiklerle birleşir ya da metallerle güçlü bileşikler yapıp tutularak zehirsiz formlar oluşturur, Ortamda kalan çok az miktar

, daki serbest siyanür ise çeşitli sülfür biçimleriyle tepkimeye girerek zehirsiz bir tür olan tiosiyanat yapar:



Serbest siyanür sulu çözeltilerde siyanür iyonu (CN⁻) olarak bulunur. Çözeltideki siyanür, asit ortamda hidrolize uğradığında yüksek buhar basma nedeniyle kolayca buharlaşır ve gaz biçiminde atmosfere karışarak büyük bir tehlike oluşturur,



CN⁻ ve HCN arasındaki denge ortamın pH'sına bağlıdır. Çözeltinin pH'sı 11 olduğunda siyanürün tamamı CN⁻ olarak kalmakta ve HCN oluşmamaktadır. pH 9-36 noktasında CN⁻ ve HCN dengededir; buraya kadar HCN uzun bir sürede oluşmaktadır ve bu noktanın altına inildiğinde ortamda HCN derişimi çok hızlı bir biçimde artmaktadır. pH'nın 7 olması durumundaysa, tüm siyanür hemen HCN'e dönüşmektedir.

4. SİYANÖLÜ ATIKLARIN ÇEYHESEL İTKİİ

DİGEİULENDİRMEİİ

Siyanürleme yöntemiyle çalışan tesislerde uygulanan prosese göre farklı aşamalarda ayrı olarak veya bulamaç (pulp) halinde bir arada sistemden çıkan altını, alınmış katı ve sıvı artıklar % 0.1-0.01 (1000-100 ppm) dolayında toplanmış siyanür içermektedir. Bu atıklarda serbest siyanür ile birlikte Zn, Hg, Cd, Cu, Ni ve Fe'nin metalik, siyanür bileşikleri ve tiosiyanatı siyanat ve amonyak gibi tepkime ürünleri de bulunmaktadır. Atıklardaki metal bileşiklerinin zaman içindeki davranışları bilinmemektedir. Ortamın pH'sına bağlı olarak çözeltideki siyanür iyonlarının HCN gazına dönüşümü önem arz etmektedir. pH'nın tehlike

sınırına düşmemesi ve 11 civarında kalması için, çözeltiliye kireç veya sodyum hidrosit katılarak ortam sürekli bazik yapılmaktadır.

Sistemdeki siyanürün, yağın ha- yozundan veya atık toplama barajın- dan (gölet) çevreye sızması ve ye- raltı suyunu kirletmesi tehlikesi var- dır. Sızdırmazlığı sağlamak amacı- la, havuz ve barajlarda zemin kil ta- bakasıyla kaplanmakta ve bunun üzeri de plastik örtüyle (geomemb- rane) örtülerek çift geçirimsiz: zon oluşturulmaktadır. Bu şekilde atık- • Hardan çevreye herhangi bir akıntı- nın veya sızmanın önlenmesi "zero volume discharge" olarak adlandırıl- maktadır.

Maden işletmesi şuasında kaldı- rılan örtü toprağı (dekapap veya madenin geliştirilmesi sırasında çı- karılan malzeme, bu geçirimsiz zo- nun inşasında kullanılamaz. Bu tür malzeme suya doygun değildir, bu nedenle içinde yeteri kadar sülfür minerali bulunması ve yeterli nem olması halinde asit sızıntıları oluşur. Bu sakıncayı önlemek üzere üstteki toprak alınarak başka bir yerde de- polanır ve işletme sona erdikten sonra tekrar atıkların üzerine serile- rek arazi eski haline getirilir.

Siyanürleme yönteminin zararlı çevresel etkilerinin önlenmesinde "doğal bozunma" (gölet/baraj), gi- derilmesindeyse "kimyasal bozun- durma" yöntemlerinden yararlanıl- makadır. Atıklardaki siyanürlerin geri kazanılarak proseste yeniden kullanılmasını esas alan "geri ka- zanın" ise yeni bir seçenek oluşturu- maktadır. Bu yöntemlerden hangisi- nin uygulanacağına karar verme aşamasında, bölgede egemen olan iklim koşulları ve jeolojik özellikler belirleyici etken olmaktadır.

4.1. Doğal Bozunma

(Gölet Yöntemi)

Proses sonucunda çıkan katı ve sıvı atıkların, tabanı geçirimsizleştiril- miş gölet türü depolama alanlarında çevreye zarar vermeden muhafaza altında tutulması ve içerdiği siyanü- rün doğal yollarla CO² ve N₂'ye bo- zunması yöntemin esasını oluşturu- maktadır. Avustralya'da yapılan göz- lemlere göre, siyanürün % .80-90'ının atık yığının yüzeyinden itibaren ilk 4 nide biriktiği saptanmıştır. Dolayısı- la bu yöntemde buharlaşma serbest siyanürün yok edilmesi için en önemli mekanizmadır.

Uygulanabilirliği arazinin jeolojik ve coğrafik koşullarına bağlı olan doğal bozunma yönteminde, yağışın buharlaşmadan yüksek olması sonu- cunda aşırı seyrelme veya havadan CO₂ soğurulması gibi etkenlerle ba- rajlardaki pH dengesi bozulmakta ve HCN-gazı ani ve fazla miktarda bu- harlaşarak atmosfere karışmaktadır. Bunun yanı sıra, yine aşırı yağış so- nucunda barajda, fırtına tehlikesi de olmaktadır. ABD'de yatakların bu- lunduğu batı bölgesinde buharlaş- manın yağıştan yüksek olması nede- niyle "zero discharge" koşulunun do- ğal olarak sağlandığı kabul edilmek- tedir.- Kanada'da ise, yıllık yağış mik- tarının 200-300 mm olması ve yağışın buharlaşmadan yüksek olması nede- niyle "zero discharged olanaksız ol- duğu görüşüyle "zehirli kirleticilerin gerçekten safdışı bırakılması" teknik- leri uygulanmaktadır. Avustralya'nın kurak iklimi, atıkların depolanması için-elverişli koşullar oluşturmaktadı- r. Güney Afrika'daysa iklim büyük ölçüde oksidasyona yol açtığından,, güneş ışınlarının radyasyon etkisiyle siyanür bozunmaktadır.

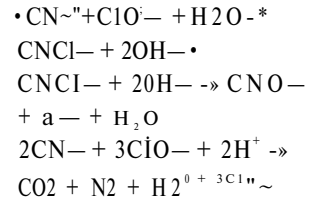
Doğal bozunma veya hidroliz yo- luyla ortamdaki siyanürün uzaklaş-

ma oranı ve hızı, ortamın siyanür derişimine, cevherin, yapısından ge- len Fe, Cu, Zn, As, S gibi siyanürle bileşik yapıcı elementlerin miktarı- na, ortamın asillik (pH) derecesine, sıcaklığa, yağış ve rüzgar rejimine, göletin yüzey alanı, derinlik ve devi- nim gibi özelliklerine bağlı olarak de- ğişmektedir. •

4.2. Kimyasal

Bozunma

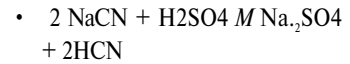
Jeolojik ve coğrafik şartlar nede- niyle doğal bozunmanın uygun ol- madığı işletmelerde zorunlu olarak uygulanan kimyasal yöntemdir. Katı ve sıvı atıklar O², NaOCl, H₂O₂, SO₂ gibi yükseltgen madde- ler ile işleme sokularak serbest ve bileşik haldeki siyanürler çok kısa zamanda bozundurulur. Böylece, si- yanür düzeyleri standartlarda öngö- rülen sınır değerlere düşürülerek, ağır metallerin tehlike oluşturmasını önlemek üzere muhafaza altındaki atık alanlarına verilir, •



4.3* Siyanür Geri

Kazanımı • , •

Avustralya'da başarıyla uygula- nan CRP (Cyanide Recycling Pro- cess) yöntemiyle, altının alımıaaii- dan soma çözeltilde kalan siyanürün % 95'i yeniden kazanılmaktadır. Si- yanürlü çözeltiler, kapak bir sistemde, asitle tepkimeye sokularak siyanür gazına dönüştürülür..



Çözeltiler berraklaştırılır, özel bir sistem içerisinde siyanür gazı çözel- tiden ayrılır ve tekrar sodyum siya-



ÇEVRE

o üre döndürülerek sisteme verilir:



• 5. SONUÇLAR

Siyanürleme yöntemi, düşük tırlü epidermal cevherlerden altın kazanımı için, teknik ve ekonomik olarak uygulanabilecek tek yöntemdir. Bu teknik, Dünya altın madenciliğinde yaygın ve başarılı bir biçimde uygulanmaktadır. Siyanürün güçlü bir zehir olması, nedeniyle yöntem tepki çekmektedir. Ancak, alınacak önlemlerle siyanürün yıkıcı etkisi denetim altına alınabilmektedir.

Siyanürleme yönteminin çevreye olan etkisini önlemek için doğal bözünme veya kimyasal bozundurma yönteminden hangisinin uygulanacağına karar verebilmek için yörenin yağış/buharlaştırma ortamı ve jeolojik özellikleri dikkate alınmalıdır.

İşletmelerde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar en iyi uygulanabilir teknoloji kullanılarak, çevre bilinci geliştirilerek ve uyulması zorunlu koşullar getirilerek en aza indirilebilir ve hatta tümüyle bertaraf edilebilir. Bu amaçla dikkate alınacak asgari standartlar şunlardır:

1) Tesisler, geçmiş yıllardaki yağış durumu ve bu yağışın en yüksek olduğu düzeyin 24 saat kesintisiz sürdüğü düşünülerek planlanmalıdır.

2) Projenin, uygulamaya konulmasından önce, kurulacak gözlem, istasyonlarından yöredeki toprağın, yüzey ve yeraltı suyunun ve atmosferin niteliği saptanmalıdır. Tesisin çalışmaya başlamasından sonra, çevreye olabilecek bir sızıntıyı zamanında belirleyebilmek amacıyla aynı istasyonlardan belirli sürelerle denetim yapılmalıdır. Bu gözlemlerin işletme sonrasında da bir süre sürdürülmesi ge-

reklidir.

3) Sızdırmazlık açısından, tesislerin oturacağı yerin jeolojik özellikleri önem kazanmaktadır. En risksiz inşaat yerini seçimi amacıyla yöredeki aktif fayların saptanması, kayaların litolojik özelliklerinin belirlenmesi, zemin etüdülerinin yapılması, şev duraylılığı ve süreksizlik analizi, heyelan tehlikelerinin belirlenmesi gereklidir.

4) Baraj ve havuz inşaatı sırasında kullanılacak malzemelerin taban ve duvarlardaki yalıtım perdesinin, sistemin emiyeti açısından uygun nitelikte olması önemlidir.

5) Madencilik çalışmaları sırasında yapılara zarar verebilecek yüzey hareketleri en aza indirilmelidir.

6) Kurulacak tank, havuz ve barajlar; ani taşmaları önlemek üzere fazla miktarda katı ve sıvı malzeme içine alabilecek boyutla olmalıdır.

7) Doğal ortamlarında sülfürlü mineraller halinde dengede bulunan Cu, Pb, Zn, Cd, As, Sb, Hg vb. ağır metaller;

a) Siyanürleme sonucunda siyanürlü bileşikler oluştururlar. Yapay ya da doğal koşullarda siyanürün etkisi ortadan kalktığında ağır metal iyonları serbest kalırlar ve sularla taşınmaları kolaylaşır.

b) Madencilik faaliyetleri sürecinde ve sonrasında minerallerin oluştuğu doğal ortamın, hızla oksitleyici ortama dönüşmesi nedeniyle sülfürlü mineraller halinde dengeli durumdaki ağır metaller, iyonik faza geçip sularla kolayca taşınabilir.

iyonik faza geçen ağır metallerin çevreyi elunusuz etkileyecek konsantrasyonlara ulaşmaması için önlemler alınmalıdır.

8) Faaliyetleri sırasında ve faaliyetler sonrasında ilgili disiplinlerce etkin denetim sağlanması baş koşuldur.

Şekil 1: Siyanürleme Yöntemiyle Altın Üretimi Genel Akım Şeması

