

## Altın madenciliğinde siyanür kullanımı

### *Cyanide usage at gold mining*

Vedat OYGÜR

#### ÖZ

Altın madenciliğinde uygulanan teknikler, diğer metal madenlerde uygulananlardan farklı değildir. Madenden kazı işlemleriyle çıkarılan cevher, serbestleştirmeden sonra içindeki altın metalinin alınması işlemlerine tabi tutulur. Bu aşamada, altının mineralojik özelliklerine göre siyanürleme, flotasyon veya gravitasyon uygulanır. Siyanürleme yöntemi, günümüzde, dünya altın üretiminde % 83'lük bir paya sahiptir. Sanayileşmiş batı ülkeleri, dünya altın üretiminin % 70'ini karşılamaktadır.

Siyanür (CN), günlük hayatta sürekli olarak karşılaştığımız karbon ve azotun basit bir bileşiğidir. Çeşitli bitkiler tarafından üretilen siyanür doğal ortamda da bulunmaktadır. Siyanür, çevre açısından tehlike arz eden diğer pek çok kimyasallara benzemeyen bir biçimde canlı organizmalarda birikmeyen, mutajen ya da kanserojen olmadığı bilinen bir maddedir. Güneş ışığı, bakteriler ve bitkiler tarafından doğal olarak bozundurulur ve bileşenlerine ayrılır.

Çeşitli siyanür bileşikleri metal işleme ve kaplama, galvaniz, madencilik, plastik, boya, elektronik, tarım kimyasalları ve ilaç imalinde kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe kullanılan sodyum siyanür miktarı toplam siyanür talebinin % 20'sinden daha azdır. Ülkemizde, sanayi sektörlerinde kullanılmak üzere son yıllarda 2500 ton siyanür ithal edilmektedir.

Madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında alınan önlemlerle siyanürün çevreye zarar vermesi başarıyla önlenmektedir. Kimyasal bozundurma yöntemiyle çözeltildeki siyanür derişimi, atık depolama standartlarına uygun olarak 1 ppm (1mg/l) seviyesine düşürülmektedir. Bu malzeme daha sonra, atık havuzlarına yayılarak güneş ışınlarının etkisiyle tümüyle bozundurulmaktadır. Atık havuzu, taban ve yanlardan çevreye sızmayı önleyecek biçimde kil ve jeomembran (özel plastik örtü) ile takviye edilmektedir. Pratikte, bu iki malzemenin üstüste serilmesi halinde "sıfır geçirimsizlik" sağlandığı kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda, atık havuzuna verilen proses suyunun, siyanür derişimine bağlı olarak 5 ile 12 ay arasında tümüyle bozunduğu görülmüştür. Çeşitli yayınlarda, altın madenciliğinde siyanür kullanımına bağlı olarak ölümle sonuçlanan bir kaza olmadığı açıkça belirtilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Altın madenciliği, Siyanür,

**EXTENDED ABSTRACT**

*The techniques used in the gold mining are not different from the ones used in the other metallic ores. Following the liberalisation, the ore excavated from the mine is subjected to the extraction process for the gold. According to the mineralogy of the ore, cyanidation, floatation or gravitation is applied at this stage. Cyanidation has a share of 83 % in the world gold production at present. Developed countries provide 70 % of the world gold production.*

*Cyanide (CN), is a simple compound of carbon and nitrogen continuously met through the daily life. Cyanide produced by the different plants is present in the natural environment as well. Cyanide, not resembling to the other chemicals dangerous for the environment, is known as a material not accumulating in the living organisms and non-carcinogenic or -mutagenic. It is naturally degraded and decomposes to its elements by sunlight, bacteria and plants.*

*Various cyanide complexes are used in the metal processing and electroplating, mining, plastics, paint, electronics, agricultural chemicals and medicines. Sodium cyanide used in the mining sector is less than 20 % of the total demand for cyanide. The cyanide import of Turkey is 2500 tons in the previous year to use in the industry.*

*Sodium cyanide has been used safely and effectively in the gold mining for 100 years. But it is a dangerous chemical that must always be used with caution. The adverse effect of cyanide to the environment is successfully prevented by the measures taken during and after the mining activities. Cyanide concentration of the solution is lowered by the chemical destruction method to 1 ppm ( 1 mg/l) level fitting with the standards for the waste deposition. Then, this material spreading at the tailings pond is destructed completely by the effect of sunlight. Tailings pond is reinforced from the bottom and the flanks with clay and geomembrane in order to prevent the leakage into the environment. Practically, it is accepted that lining these two materials in succession provides the "zero permeability". It is known from the researches that the process water discharged to the tailings pond is completely destructed between 5 and 12 months according to the cyanide concentration. It is clearly indicated in the various publications that due to the cyanide use in the gold mining there has been any accident resulted in death till today.*

**Key words:** Gold mining, Cyanide

**ALTIN MADENCİLİĞİNİN GELİŞİMİ**

Yüksek altın kurlarının üretimi zorlamasıyla birlikte, düşük tenörlü epidermal tip cevherlerin işlenmesine olanak veren siyanürlenme yönteminin katkısıyla, 70'li yıllardan itibaren altın madenciliği hızlı bir yükselme dönemine girdi. Bunun sonucunda Amerika, Avustralya ve Pasifik'teki çok sayıda altın madeni üretime geçmiştir. Son 20 yılda dünya altın üretimi, 1189 tondan 2304 tona, iki katına yakın artmıştır (World Metal Statistics, 1999). Güney Afrika ve Rusya gibi geleneksel altın üreticisi ülkelerin dünya altın üretimindeki payları düşerken, diğerlerinin ki hızla artmıştır. Dünya altın üretiminin % 60'ı dört sanayileşmiş ülke ABD, Kanada, Avustralya ve Güney Afrika tarafından yapılmaktadır. Diğer sanayi-

leşmiş batı ülkeleri dikkate alındığında, bu oran % 70'e yükselmektedir (Wellmer, 1995). Bu dört ülkenin ardından Çin, BDT, Endonezya, Rusya Federasyonu, Brezilya ve Papua Yeni Gine gelmektedir. Çin ve Endonezya, büyük bir gelişme göstererek, son on yılda üretimlerini sıfırdan, sırasıyla, 160 ve 109 tona çıkartmışlardır.

Avrupa Birliği üyesi ülkelerden Fransa, İspanya, Yunanistan ve İtalya'da siyanürlenme yöntemiyle altın üretilmektedir (Mining Jour.Res.Service,1994; Mining Jour., 1997a). Avrupa Birliği dışındaki ülkelere İsveç, Finlandiya ve Yugoslavya'da da altın üretimi yapılmaktadır. Ayrıca Romanya ve Bulgaristan'da kayıtlara geçmemiş üretim vardır.

Son yıllarda madencilik sektöründe büyük bir durgunluk yaşanırken, yakın geçmişteki bu olumlu gelişmeler sonucunda gerek projeler ve gerekse yatırımlar bazında altın madenciliğine hızlı bir yönelim olmuştur. Diğer metallere oranla altın madenciliğinin yatırımlar bazındaki payı 1975'te % 4' ten 1985'te % 12'ye ve geliştirme projeleri bazındaysa, yine aynı dönemler için, % 12'den % 48'e yükselmiştir (Boisson, 1987). 1996 yılında dünya çapındaki arama bütçelerinin (toplam 3.52 milyar dolar) % 60.9'u altın madenciliğine ayrılmıştır (Metals Economics Group, 1996). 1994 yılı içinse aynı oran % 56.4 (toplam arama bütçesi 2.05 milyar dolar) ve 1995'de % 58.5'dur (toplam arama bütçesi 2.69 milyar dolar) (Metals Economics Group, 1995). Ocak 1995 ile Eylül 1996 tarihleri arasında geliştirilen projelere göre, 63 tane si K. Amerika ve 12 tane si Avrupa'da olmak üzere 1996-1999 döneminde 208 adet yeni altın madeninin işletmeye alınması planlanmıştır (Madencilik Bül., 1997).

Cevherin çıkarılmasında ve işlenmesinde yeni teknolojilerin kullanılması ve tekniklerin iyileştirilmesi maliyetleri düşürmüştür ve böylece düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilebilmesi yolunu açmıştır. Ayrıca, bazı metallere uzun süredir görülen durgunluk, büyük madencilik şirketlerinin altın aramacılığına yönelmelerine neden olmuştur. Altın madenciliğinin gözde oluşunun bir başka nedeni de diğer metallere oranla yarattığı yüksek katma değerdir. Ocak ağzında altının yarattığı katma değer % 98-99 iken, diğer metallere ocak ağzındaki katma değer alüminyum için % 7, krom % 34, çinko % 49, kurşun % 56 ve bakır için % 68'dir (Wellmer, 1995).

## CEVHERDEN ALTININ KAZANILMASI TEKNİKLERİ

Altın madenciliğinde uygulanan teknikler, diğer metal madenlerde uygulananlardan farklı değildir. Yer kabuğundan açık ocak veya yeraltı kazılarıyla çıkarılan cevher, serbestleştirmeden sonra içindeki altın metalinin alınması işlemlerine tabi tutulur.

Cevherden metalin kazanılmasında uygulanan teknikler, altının tane boyuna ve cevherin mineralo-

jik bileşimine göre belirlenmektedir (Çizelge 1). Yani, altının kazanılması için uygulanacak tekniği seçme şansımız yoktur.

Çizelge 1. Altının metal olarak elde edilmesi yöntemleri

Yöntem	Uygulanan cevher tipi	Dünya altın üretiminde payı
Siyanürleme	Altın tane si 10 mikrondan küçük ise	% 83
Gravitasyon	Altın tane si iri ve serbest ise	% 10
Flotasyon	Cevher bakır ve piritti ise	% 4
DiĐerleri	Refrakter cevherler	% 3

Kaynak: Marsden ve House, 1993

### Gravitasyon

Dere kumu ve çakılları arasındaki serbest altının kazanılması, tüm mineral işlenmesi süreçlerinin en eskisidir. Bu yöntemin uygulanmasında, cevheri oluşturan altın ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkından yararlanır. Günümüzdeki uygulamada, suya ince ferrosilikon karıştırılarak bir ağır ortam (yaklaşık 2.9 gr/litre) hazırlanır. Bu sıvıdan ağır olan taneler dibe çökerken hafifler yüzer. Ortamdaki akışkanlığa bağlı olarak, tane boyunun 6 mm ile 0.5 mm arasında olması gerektiğinden sadece kaba taneli altın için uygulanabilir.

### Flotasyon

Sülfürlü minerallerle birlikte bulunan altın için uygulanır. Sülfürlü minerallerin ince öğütülmesi ve bazı kimyasalların ilavesiyle, çözeltide oluşan kabarcıklar sülfürlü mineralleri tutar ve suyun yüzeyinde toplanırlar. Sülfürlü minerallerle birlikte bulunan altın, flotasyon yoluyla gangından ayrılır. Ancak, altının kazanılması için altın sülfid konsantresinin daha sonra siyanürlemeye tabi tutulması gerekir.

### Siyanürleme

Siyanür çözeltisi içerisinde altının çözünürlüğü uzun zamandır bilinmektedir. Madencilik dünyası bu yöntemle ilk kez 1867'de altın ve gümüşlü cevherlerin işlenmesi için ABD'de alınan bir patent aracılığıyla tanışmıştır (Eveleth, 1978). Bu yöntem , ancak,

1891 yılında Güney Afrika'daki bir altın madeninde uygulamaya sokulmuş ve maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle uygulanamayacağına karar verilmiştir. 1950 yılında, U.S. Bureau of Mines yayımladığı bir raporla, aktif karbona soğurma (adsorbsiyon) tekniğiyle siyanürlemenin düşük tenörlü altın cevherlerinde ekonomik olarak uygulanabileceğini belirtmiştir (Zadra, 1950). 1970'lerin sonlarında, yığın yıkama (heap leaching) tekniğinin geliştirilmesiyle birlikte siyanürleme yöntemi etkin bir biçimde düşük tenörlü epitermal altın cevherlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Siyanür liçi yöntemi, düşük tenörlü ve ince taneli altın cevherlerinden altın kazanımı için teknik ve ekonomik olarak uygulanabilecek tek prodestir. Bu nedenle siyanürleme yöntemi bütün dünyada yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu teknik, altının içinde bulunduğu tüm kayacın kütleli olarak işlenmesine olanak tanıdığından işletme rezervi son derece bürken, işletme tenörü de düşmektedir.

Siyanürleme yöntemi her cevher türünde başarılı olmamaktadır. İyi bir sonuç alınması için cevherin şu özellikleri taşıması gerekir (Eveleth, 1978; Stewart, 1989):

\* 80 mikrondan büyük taneciklerin siyanür çözeltisi içinde yavaş çözünmeleri nedeniyle altın atığa geçtiğinden tane boyunun küçük olması

\* Altın ve gümüşü tutan karbonlu malzeme içermemesi

\* Bakır, arsenik ve antimuan sülfürleri gibi fazla miktarda siyanür tüketen bileşenlere sahip olmaması

\* Kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması

\* Altın tanelerini sararak siyanürün etkilemesine engel olan demir oksit oluşumuna elverişli malzeme ve killi malzeme içermemesi

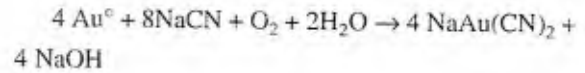
Siyanürlemeyle altının kazanılmasında başlıca iki teknik uygulanır: Yığın liçi ve karıştırmalı liçi.

Yığın liçi, düşük tenörlü cevherlere uygulanır. Cevherli malzeme, geçirgenliğine bağlı olarak iri bir

boyuta (-25 mm) kırılarak geçirimsizliği sağlanmış bir zemin üzerine yığılır. Seyreltilmiş alkalin siyanür çözeltisi (genelde sodyum siyanür) bu yığının üzerinden fiskelemeyle püskürtülür. Tepkimenin süresi ve verimi, siyanür çözeltisinin içerisinden süzülmesine izin verecek biçimde yığının geçirgenliğine bağlıdır.

Karıştırmalı liçi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. İnce öğütülmüş cevher (4 mm'nin altında), çevreden yalıtılmış çelik tanklar içerisinde mekanik karıştırıcılarla siyanürlü çözeltiyle karıştırılır.

Altın ve gümüş, oksijen varlığında, siyanür çözeltisi içerisinde Elsner denklemine göre çözünür (Heinen ve diğ., 1978):



Kullanılan NaCN çözeltisinin derişimi cevher tipine göre değişim göstermekle birlikte % 0.01 - 0.1 arasındadır. Siyanür tüketimiye, yine cevherin mineralojik ve kimyasal yapısına göre ton başına 1 -10 kg dolayındadır. Altının çözünme hızı NaCN derişimine ve en uygun pH'nın 10.3 olduğu çözeltinin asitlik derecesine bağlıdır.

### Diğer Yöntemler

Altının kazanılması için birçok başka yöntemler de denenmekte, fakat bunlar henüz sanayi boyutunda uygulanamamaktadır. Bakteri liçi (biyo-oksidasyon), pirit ve arsenopiritle içiçe geçmiş refrakter cevherlerdeki altının liçi sürecine daha iyi maruz kalabilmesi için sülfürlerin yok edilmesi amacıyla bakterileri kullanmaktadır (Stewart, 1984). Kuzey Amerika'da, refrakter cevherlerin işlenmesi için basınçlı oksidasyon veya kavurma tercih edilmektedir (Mining Mag., 1996).

Tiyöüre liçi, asit koşullarda altını çözer. Bakır, arsenik veya antimona karşı duyarlı olmadığından bu mineralleri içeren cevherlerde siyanürlemeye tercih edilebilir (Stewart, 1984). Siyanür ve tiyöüre liçi yöntemlerini karşılaştırmak üzere İzmir Dokuz Eylül

Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde bir araştırma yürütülmüştür (İpekoğlu ve diğ., 1996). Yöntemin bazı dezavantajları vardır (Bayraktar, 1996):

1. Çok düşük ve dar pH (1.4-1.6) aralığında çalıştırdığından sürekli asidik ortam oluşmaktadır.
2. Asidik ortamda çözülecek olan ağır metaller çözeltiye geçerek çevre açısından problem teşkil etmektedir.
3. Liç ortamında tiyoürenin oksitlenmesini engellemek için yardımcı kimyasal maddelere gerek vardır.
4. Nitrite dönüşümü mümkün olduğundan kanserojen olma riski vardır.

## SIYANÜR

### Doğada Bulunuşu

Siyanür, günlük hayatta sürekli karşılaştığımız karbon ( C ) ve azotun ( N ) basit bir bileşimidir. Stratosferde ve kuzey yarım kürenin troposferinde 150 ile 170 ppb (  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ) düzeyinde mevcuttur (US EPA, 1990).

En çok rastlanılan siyanür üreten doğal kaynaklardan birisi bitkilerdir (Fuller, 1988). 70 ile 80 kadar bitki ailesine ait 800'den fazla tür siyanojenik glikosidleri sentezler. Manyok, keten, süpürge darısı, yonca, şeftali, badem ve baklagiller, siyanojeniz süreci sonucunda hidrojen siyanür salarak önemli miktarda siyanojenik bileşenler üretirler (Rouse, 1990). Siyanürler, mantarları, bakterileri, aktinomisitleri ve algleri kapsayan çok sayıdaki toprak mikro organizmaları tarafından da üretilirler.

Çeşitli ülkelerden Almanya'ya ithal edilen acı bademlerin işlenmemiş durumdaki 100 gramında 290 ile 310 mg arasında HCN mevcuttur ve Türkiye'den gelen bademlerde bu değer 296.8-301.3 düzeyindedir (Strum ve Hanssen, 1967). 60 adet acı badem, vücut ağırlığı göz önüne alınmaksızın öldürücü olarak nitelendirilmektedir.

Meyva, sebze ve hububatlarında görülen ota, mantara ve böceklere karşı tarım sektöründe yoğun biçimde kullanılan haşere ilaçları (pestisidler) siyanür kökleri içermektedir (Fuller, 1988). Tarımda geniş alanlar üzerinde düzenli bir biçimde kullanılmasına rağmen siyanürler toprakta birikmez. Toprakta 200 ppm'e kadar bulunan siyanür, biyolojik olarak bozunur ve zararsız maddelere dönüşür (Fuller ve diğ., 1950).

ABD Sağlık, Eğitim ve Refah Dairesi'nin raporuna göre, toplumun maruz kaldığı siyanürün en önemli günlük kaynağı sigaradır. Yapılan bir deneyde, sigara dumanının on nefesi bir litre artırmış suya verilmiş ve analizler sonucunda 0.1 mg/l toplam siyanür içerdiği belirlenmiştir (Rouse, 1990). ABD'de çevreye bırakılan siyanür miktarları incelendiğinde (Mudder ve Smith, 1994; Hagelstein ve Mudder, 1997), madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanür miktarının ihmal edilecek oranda olduğu görülmektedir (Çizelge 2). ABD'deki tehlikeli atıkların bulunduğu yerlerle ilgili Ulusal Öncelikler Listesi'nde 1416 tehlikeli atık yeri tesbit edilmiştir (Mudder ve Smith, 1994). Bu listedeki toplam sayının 53 tanesi madencilik faaliyetiyle ve bunlardan ise sadece 3 tanesi siyanürle ilgilidir.

### Kimyasal Özellikleri

Siyanürler, kimyasal bileşimleri bakımından dört ana grupta sınıflandırılırlar (Huiatt ve diğ., 1983; Fuller, 1988).

**1. Serbest siyanürler:** Moleküler hidrojen siyanür (HCN) ve siyanür iyonunun (CN<sup>-</sup>) toplamıdır. Hidrosiyanik asit, siyanidik asit veya siyanür gazı olarak da bilinen HCN zayıf bir asittir. Sulu çözeltilerdeki serbest siyanür, 200C'de asit ortamda hidrolize uğradığında HCN gazı biçiminde atmosfere karışır. Ancak, bu tepkime ortamın pH'sına bağlıdır (Huiatt ve diğ., 1983); CN ve HCN, pH 9.31 iken dengededir.

Serbest siyanüre doğada çok ender rastlanmaktadır (Huiatt ve diğ., 1983). Siyanidler ortamda ya diğer bileşiklerle birleşir ya da eser metallerle güçlü bi-

Çizelge 2. ABD'de Çevreye Bırakılan Siyanür

ÇEVRESEL ORTAM	TOPLAM SİYANÜR (ton/yıl)	HCN (ton/yıl)	KAYNAK	ÖLÇÜLEN SİYANÜR SEVİYELERİ
HAVA	22.000	1.060	- % 90'ı (20.000 t) otomobil eksoz gazları - Demir-çelik üretimi, kömür yakma petrol rafinerisi, katı atık yakma tesisleri, plastiklerin yanması, sigara dumanı, tarım ilaçları	- Eksoz gazı 7-9 mg/km - Yangın emisyonu 2.8 ppm - Sigara dumanı 0.3 ppm
YÜZEY SUYU	15.000 (1.000) 2-20	2	- % 90'ı belediyelere ait atıksu arıtma tesisleri - Yollara dökülen tuzlar - Madencilik faaliyetleri	
TOPRAK			- Toprak dolgu biçimindeki atıklarda siyanür konsantrasyonu	- 0.005 – 14 mg/l

leşikler yaparak tutulur. Ortama salınan çok az miktardaki siyanür de çeşitli sülfür biçimleriyle tepkimeye girerek zehirsiz bir tür olan tiyosiyanat yapar:

**2. Basit Siyanürler:** Bir baz (sodyum, potasyum, amonyum) veya metal ile siyanür iyonundan oluşur. Alkali siyanürler, siyanür iyonları salarak çözünürler (Huiatt ve diğ., 1983). Basit siyanürlerin çözünürlüğü de pH ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir.

**3. Kompleks Siyanürler:** Bünyesinde, baz ve metali bir arada barındıran bileşiklerdir. Kompleks siyanürler, CN iyonları değil de kök veya kompleks metal iyonu vererek çözünürler. Kompleks metal iyonları, orijinal bileşenden daha duraylıdır ve dolaşısıyla daha sonraki çözünme oldukça az miktardadır (Huiatt ve diğ., 1983).

Bir metalosiyandır kompleksi, başka metal iyonları içeren bir çözelti içerisine girdiğinde metaller arasında yer değiştirme meydana gelir (Huiatt ve diğ., 1983). Bu olay sonunda kompleks metal, çözünmez siyanür, hidroksit veya karbonat olarak çöker. Bu tepkimelerden yararlanarak, nikel ve bakır iyonları kullanarak atıklardaki serbest veya kompleks siyanürler bertaraf edilmektedir (Huiatt ve diğ., 1983).

Atıklardaki CN kompleksleri, bileşen minerallerin yüzeyine sıkıca bağlanarak sabit hale gelirler (US

EPA, 1976). Bu nedenle, kompleks siyanürler, özellikle flotasyon atıklarına bağlı olanlar, serbest siyanürden daha az zehirlidirler ve bazen zehirsiz olarak kabul edilirler (Huiatt ve diğ., 1983; Fuller, 1988).

Çinko, kadmiyum, gümüş ve nikel gibi güçsüz bağlara sahip bileşikler suda çözünerek kolayca serbest siyanür iyonları oluştururlar. Bunlar da, kimyasal bozundurma yoluyla bertaraf edilirler. Demir ve bakır gibi güçlü bileşikler ise serbest siyanür iyonu salıvermediklerinden sulu atıklar için önemli bir sorun oluşturmazlar (Huiatt ve diğ., 1983).

**4. Organik Siyanürler:** Siyanojenik (nitriller) glikosidler ile temsil edilirler. Glikosidler, seyreltik mineral asitleriyle veya enzimlerle hidrolize olduğunda bir (veya daha çok) şeker ve bir (veya daha çok) başka bileşen (örn. Aglikon) ve HCN verirler (Fuller, 1988).

#### Canlılara Etkisi

Siyanürün, kısa süreli öldürücü doz (LD 50) açısından güçlü bir zehir olması nedeniyle siyanürleme yöntemi tepki çekmektedir. Ancak, alınacak önlemlerle siyanürün etkisi denetim altına alınabilmektedir. ABD Milli Parklar Dairesi, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Mineral Policy Center adına ha-

zırlanan raporlarda belirtildiği gibi siyanür, organizmalarda birikmeyen, maruz kaldığında o anlık öldürücü etkisi olan bir zehirdir (Stanton ve diğ., 1985; US EPA, 1990; Hocker, 1989). Kanser yapıcı etkisi yoktur, kanserojen olmayan D Grubu bileşenleri arasındadır (Özdemir, 1994). Güneş ışığı, bitkiler ve bakteriler tarafından doğal olarak bozundurulur ve bileşenlerine ayrılır (US EPA, 1990; Hocker, 1989).

Tek ve kısa süreli bir siyanür dozunun, yaşam ve sağlık için tehlike sınırı  $60 \text{ mg/m}^3$ ; sürekli olarak siyanürle ilişkili bir işte çalışanlar için 8 saatlik işgünü boyunca deriye doğrudan temas veya soluma sınırı  $11 \text{ mg/m}^3$  tür (US EPA, 1990). Yetişkin bir insan için ağızdan alınan serbest siyanürün RfD (etkisi gözlenmeyen referans doz) değeri  $0.05 \text{ mg/kg}$  vücut ağırlığı/gündür (ATSDR, 1997).

Dünya Sağlık Örgütü ile Avrupa Birliği içme suyu standardı  $0.05 \text{ mg/lt}$  siyanürdür. Ülkemizde de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre 1. sınıf içme suyu  $0.01 \text{ mg/lt}$ , 2. sınıf ise  $0.05 \text{ mg/lt}$  ve kullanma suyu  $0.1 \text{ mg/lt}$  siyanür içerebilir. Çevre Bakanlığı tarafından yayımlanmış olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre siyanürlü atıkların düzenli depolanma kriteri  $1 \text{ mg/lt}$  dir.

### Siyanürün Kullanıldığı Yerler

Çeşitli siyanür bileşikleri metal işleme ve kaplama, galvaniz, sentetik polimerlerin (ipekli, pamuklu, poliüretan, poliyester, vb.) imali, değerli metal madenciliği, mücevhercilik, fotoğrafçılık, tarım kimyasalları, ilaç, boya ve elektronik olmak üzere sanayide yaygın biçimde kullanılmaktadır (Encyclopedia of Chemical Technology, 1992). Hatta, bazı demirli siyanür bileşikleri yiyecek katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. ABD Yiyecek ve İçecek İdaresi (U.S. Food and Drug Administration) tuz tabletinde  $13 \text{ mg/lt}$  demirli sodyum siyanür bulunabileceğini belirtir (Huiatt ve diğ., 1983). Tıpta kullanılan acı badem suyu (Aqua amygdalarum amararum)  $0.1 \text{ mg/l}$  HCN içermektedir (Strum ve Hanssen, 1967).

Siyanürün dünyadaki üretimi HCN ve NaCN biçimindedir (Smith ve Mudder, 1995). HCN üretimi-

nin yaklaşık % 80'i plastiklerin imalinde ve NaCN üretiminin % 85'i madencilikte kullanılmaktadır. Madencilik sanayisinde kullanılan siyanürün miktarı toplam siyanür talebinin % 20'si kadardır. Dünya HCN üretimi 1.5 milyon ton civarındadır (Mudder ve Smith, 1994). Bu HCN'in 300 bin tonu, 625 bin ton sodyum siyanür üretiminde kullanılmaktadır.

Ülkemizde de siyanür bileşikleri, benzer sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Dış Ticaret Müsteşarlığı İthalat Genel Müdürlüğü ve DİE verilerine göre, 1994 yılında 1911 ton olan çeşitli siyanür bileşikleri ithalatı 1996 yılında 2441 ton ve 1997 yılında 2588 ton olmuştur. 1998 yılı geçici rakamlarına göre 1882 tondur. Sodyum siyanür ve oksisyanür, ithalatta büyük bölümü oluşturmaktadır. İthalatın yaklaşık 1200 tonu, sodyum siyanür olarak Etibank'ın Kütahya Gümüşköy'deki 100. Yıl Gümüş İşletmesi'nde kullanılmaktadır.

İthalat, büyüklük sırasına göre, Güney Kore, Almanya, İngiltere, Hollanda, Çin, Bulgaristan, İtalya ve ABD'den yapılmıştır.

Kullanım yerleri açısından önem taşıması nedeniyle ithalatçı firmalar arasında Etibank, Aselsan, tarım-veteriner ilaçları üreticisi, metal sanayicileri, tekstilciler, kauçuk sanayicileri, kimyasal madde üreticileri, elektronik sanayicileri, ilaç-ecza üreticileri yer almaktadır.

## SIYANÜRLEME PROSESİNİN DENETİMİ

### Siyanürün Denetim Altına Alınması

Siyanürleme prosesi sırasında siyanürlü çözeltinin yeraltına sızarak veya barajdan taşarak toprağı ve yeraltısuyla ile yüzey suyunu kirletmesi veya buharlaşma yoluyla HCN biçiminde atmosfere karışması çevre ve insan sağlığı açısından bir risk oluşturmaktadır. Ancak, madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında alınan önlemlerle siyanürün çevreye zarar vermesi engellenebilmektedir. Atıklardaki siyanürün bertaraf edilmesi amacıyla üç temel bozundurma işlemi uygulanmaktadır: Doğal, kimyasal ve biyolojik bozundurma yöntemleri Siyanürün neden olabileceği

tehlikeler doğrudan faaliyetin yapıldığı yerin iklimine bağlı olduğundan ABD, Kanada, Avustralya ve G. Afrika gibi gerek altın madenciliğinde önde gelen, gerekse sanayileşmiş ülkelerde konuyla ilgili kamu kurumları siyanürün hangi yolla bertaraf edileceğini iklime göre belirlemektedir (Smith ve diğ., 1985; Stanton ve diğ., 1985; Sparrow ve Woodcock, 1988; Kilborn Inc., 1991).

**Doğal Bozundurma.** Siyanürün güneş ışınlarının ultraviyole etkisiyle bozunarak kolayca karbon ve azota ayrışmasından yola çıkarak buharlaşmanın yağıştan yüksek olduğu iklime sahip olan ABD'de 100. meridyenin batısındaki bölgede, Avustralya ve G. Afrika'da doğal bozundurma yöntemi uygulanır. Bu yöntemde malzeme, atık havuzlarına yayılarak güneş ışınlarının etkisiyle bozunmaya terk edilir. Atık havuzu, tabanı ve yanlarından çevreye sızmayı önleyecek şekilde kil ve jeomembran ile takviye edilir. Mutlak bir güvenlik için, kil tabakası üzerine jeomembran serilmektedir. Sıkıştırılmış kilin geçirimsizlik katsayısı 10-8 cm/sn ve jeomembranın 10-10 cm/sn seviyesindedir (Vick, 1990). Bu değerler, pratikte, çevreye hiçbir sızma olmadığı anlamına gelmektedir.

Kanada'da Atıksu Teknoloji Merkezi'nde (Wastewater Technology Center) çeşitli altın madenlerindeki atık havuzlarındaki siyanürün doğal parçalanmasını incelemek üzere bir dizi araştırma yürütülmüştür (Çizelge 3) (Smith ve Mudder, 1991; Higgs, 1995). Ontario'daki Dome madeni atık havuzundaki

siyanür derişimi 15 haftada 68.7 mg/litreden 0.008 mg/litreye düşmüştür. Atıksuyun toplam derişimi 0.05 mg/l olduğunda yakındaki dereye boşaltılmaktadır. Keewatin'deki Cullaton madeninde, Mayıs'tan Eylül ayına kadar geçen sürede atık havuzunun ortalama siyanür derişimi 0.1 mg/l düzeyinin altına inmiştir. Bir üçüncü araştırma, Yellowknife yakınındaki Lupin madeninde yürütülmüştür. Ortalama siyanür derişimi 223 mg/l olan atıklar 1985 sonbaharının sonlarında havuza verilmeye başlanmış ve 1986'da serbest bırakılan atıksudaki siyanür derişimi 0.22 mg/l olmuştur.

Avustralya'da yapılan araştırmalarda başlangıç derişimi 100 ppm siyanür olan proses suyu atık havuzuna verilmiş ve % 85'i 18 ay sonra, tamamı 4 yıl sonra tümüyle bozunmuştur (Sparrow ve Woodcock, 1988). Bu atıkdaki siyanürün % 90'ı ilk 4 metrede birikmiş, dördüncü metreden sonra siyanür derişimi 5 ppm'in altına düşmüş ve 16. metrede sıfır olmuştur.

Güney Afrika'da Witwatersrand havzasında siyanür içeren atık barajlarında yürütülen bir çalışmada atıklar, yüzey suları ve yeraltuları örneklenmiştir (Smith ve diğ., 1985). Tesislerden 20 mg/l ve üzerinde siyanür içeren proses suyu atıklara verildiği halde, siyanür düzeyi atıklardaki boşluk suyunda 1 mg/l ve yüzeye yakın yeraltusuyunda 0.03 mg/l olarak ölçülmüştür (Çizelge 4). Siyanürün tümü, güneş ışınlarının UV radyasyonu etkisiyle bozunmuştur.

Ülkemizde, MTA Genel Müdürlüğü'ndeki al-

Çizelge 3. Doğal bozundurma sistemlerini kullanan Kanada'daki altın madenlerinin sıvı atık niteliği

Maden	Yeri	Tesis Giriş (mg/l)		Nihai Sıvı Atık (mg/l)	
		CN <sub>T</sub> *	CN <sub>W</sub> **	CN <sub>T</sub> *	CN <sub>W</sub> **
Dome madeni	Porcupine, Ontario	100	98.6 (1983)	0.04	0.02 (1983)
Lupin madeni	Contwoyto, NWT	223	186	0.2	0.02 (Eylül/84)
Cullaton Gölü (iki havuz)	Keewatin	800	140 (1982)	-	<0.1 (Eylül/84)

\*CN<sub>T</sub> - Toplam siyanür; serbest CN, CN<sub>W</sub> ve Fe-kompleksleri içerisindeki siyanür içerir.

\*\*CN<sub>W</sub> - WAD siyanür (zayıf asitte çözünür siyanür); serbest CN ve Zn, Ni, Cu-kompleksleri içerisindeki siyanür içerir.

Kaynak: Smith ve Mudder, 1991



Çizelge 4., Witwatersrand havzasında (G.Afrika) atıklarda-ki ve yeraltısulandaki siyanür düzeyleri (ng/l)

Barajın. Özelliği.	Atık	Yeraltısuyu...
1. Çalışan (5 yaşında)	0,25	<0,01
2. Çalışan (10 yaşında)	<0,01	<0,01
3. Yeni durmuş (20 yaşında)	1,3	0,08
4. Terk edilmiş (> 20 yaş) <sup>1</sup>	0,1	0,04

Kaynak: Smith ve diğ., 1985

fin pilot tesisinde, proses atıklarında siyanürün doğal bozunma, kimyasal bozundurma ve yeniden kazanımı süreçlerini incelemek üzere bir dizi araştırma yürütülmüştür (Gönen ve diğ., i 996). Altın pilot tesisinden alınan 392.2 ppm siyanür içeren 400 litre artık pulp örneğinin siyanür derişimi 2 aylık doğal bozunma süreci sonunda 10 ppm düzeyine düşmüştür. Toplanı siyanür miktarı, pH'nın 11.6-10.3 seviyesinde tutulmasıyla 76 günde % 99.8 ve pH'nın 12.1-11.6 olması durumunda 97 günde % 99. i oranında azalmıştır.. Aynı kapsamda yapılan kimyasal bozundurma sürecine ilişkin ilk çalışmada 4,50 ppm siyanür içeren pulp örneğinin siyanür derişimi, sodyum hipoklorit (NaOCI) kullanılarak 20 saat sonunda 2.6 ppm düzeyinin (MTA Laboratuvarı deteksiyon limiti) altına inmiştir.. İkinci çalışmada,, 270 ppm siyanür içeren örnek, hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) kullanılarak 2,5 saat sonunda 2.6 ppm siyanür düzeyine düşmüştür (Şekil 1).

**Kimyasal Bozundurma.** Yağışın buharlaşmadan yüksek olduğu iklimlerde,, ABD'de 100. meridyenin doğusundaki bölgede ve Kanada'da kimyasal bozundurma yöntemi uygulanır. Siyanürlü çözelti, çevreden yalıtılmış bir kapalı ortamda çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilerek bozundurulur. Başlıca kimyasal bozundurma çeşitleri hidrojen, peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), INCO (SO<sub>2</sub>- Hava) ve alkali klorlamadır (Smith ve Mudder, 1991; Higgs, 199,5; Cambazoğlu, 1996). Böylece, arıtma tesisinde siyanür 1 ppm (1 ng/l) seviyesine indirildikten sonra alıcı ortama, deşarj edilir. Ülkemizdeki tek. örnek olan Ovacık Altın Madeni'nde yse kimyasal bozundurma sonrasında, atık çözelti deşarj edilmemekte ve sızdırmazlığı sağlanmış atık havuzunda depolanmaktadır.

Kimyasal bozundurma yöntemlerinden alkali klorlama'da, serbest siyanür hızla -oksitlenir ve karbondioksit, ile azot vererek bozunur. Çözeltideki serbest. CN miktarı 1 ppm'in altına düşer, Yüksek reaktif tüketimi nedeniyle bulamaç halindeki atıklara uygulanamaz Bu yöntem sonucunda, zehirli, kloro-organik. bileşikler oluşmaktadır.. Ayrıca demir siyanür bileşikleri uzaklaştırılmaz ve atık çamurundaki siyanür parçalanmamaktadır. Hidrojen peroksit yöntemi,, karbonat ve amonyak üreterek serbest siyanürü oksitler, En. önemli avantajlarından birisi, proses sırasında ortama diğer kimyasalların ilave edilmemesi ve zehirli ara ürünlerin oluşmamasıdır. Serbest siyanür düzeyi 1 ppm'in altına düşer. Kükürt dioksit ve hava (INCO) yöntemiyle serbest siyanür hızla yok edilir. Bu proses sırasında metal siyanür kompleksleri zehirsiz olan siyanatlara dönüştürülür., Bir saatlik, uygulama sonunda çözeltideki serbest, siyanür miktarı 0.1-1 ppm'e düşürülür..

**Biyolojik Bozundurma.** İlave bir ısı kaynağı temin edildiği takdirde düşük siyanür derişimlerine uygulanır. (Higgs, 1995). Sadece metal taşımayan, proses suyunun ve atık havuzu, tahliye suyunun temizlenmesinde etkili olmaktadır (Smith ve Mudder, 1991).. Homestake Madencilik, Güney Dakota'daki (ABD) Lead, madeninde,, iki aşamalı biyolojik bozundurma prosesi uygulayarak atık havuzundaki tortu üzerinde biriken suyu ve madendeki suyu işlem den, geçirmektedir.

### Siyanürleme işlemiyle İlgili Kazalar

Altın madencilğinde siyanür kullanımına bağlı olarak,, bugüne kadar, ölümle sonuçlanan bir kaza olmadığı, belirtilmektedir (Hocker,, 1989; Korte ve Colston, 1995),. Buna rağmen,, konuyla ilgili tartışmalarda sıkça gündeme^ gelen ve. çevreye sınırlı ölçüde de olsa. zarar veren Omai, Ok Tedi, Summitville ve Lefke'deki kazaları ve ülkemizde siyanür kullanan Eübank-Günmişköy madenini incelemek yararlı olacaktır.,

**OmaL** 19 Ağustos 199.5 tarihinde Guyana"da (G.Amerika) Ornai altın madenindeki atık. barajı ka-



zası madencilik çevresini derinden sarstı (Mining Journal, 1995; Ipekoğlu,1995). Omai'de altın üretimi 1896 yılından beri yapılmaktadır. 1993'den beri 13000 t/gün cevher işlenmekte ve 70-100 ppmı serbest siyanür içeren sulu atıklar barajda depolanmaktadır. Atık barajı gövdesinde, oluşan sızıntı hızla büyüyerek, yaklaşık 100 saat boyunca 25-30 mg/l CN içeren 2.9 .milyon m<sup>3</sup> çamur<sup>1</sup> ömai deresine karıştı., Kazanın meydana gelmesiyle birlikte, yoğun çabalar sonucunda 1.3 milyon m<sup>3</sup> atık açık ocağa depolandı. Hükümet, bölgeyi bir çevresel felaket sahası olarak ilan etti ve uluslararası yardım çağırdı, Kazanın nedenlerini araştırmak üzere hükümet tarafından kurulan bağımsız uzmanlar kurulunun raporuna göre,, çevre veya insan sağlığı için tehlikeli olabilecek boyutta herhangi bir ölçülebilir etkisi görülmemiştir (Vick, 1996),. Derenin yaklaşık 2 km uzağındaki Essequibo ırmağıyla birleştiği yerde yapılan ölçümlerde siyanür konsantrasyonunun 0.15 mg/litreyi aşmadığı görülmüştür.. Derede ölen balıkların ise. zehirlenmeden değil de çamurun solungaçlarını tıkasından ileri geldiği rapor edilmiştir. Kazaya uğrayan ömai atık barajı,, yeniden faaliyete geçmek üzere. onanılmamıştır. Madenin güvenli bir biçimde kapatılması için geride kalan atıklar İslah edilerek yeşillendirme çalışmaları yapılacaktır., Guyana hükümetinin, madenin yeniden, açılması hususundaki önerilerinin kabulü ve yeni atık havuzlarının ilk kademesinin inşasını takiben Omai-madeni 1996 Şubat ayının başında, yeniden faaliyete geçti. (Mining Environmental Management, 1996). Hükümet tarafından atanan inceleme komisyonu, yeni atık barajının inşasında uyulması gerekli çok sayıda çevresel koruma tedbirleri ve nehre verilmeden önce atık suyun arıtılmasını istedi., Kazanın yol açtığı maliyetin 11.3 milyon ABD doları olduğu, tahmin edilmektedir.

Ök TedL Papua Yeni Gine'de bulunan Ok Tedi bakır-altın madeni çok çetin bir doğal ortamda, yer almaktadır; yıllık ortalama yağış 8000 mm, dağ yamaçları dik,, heyelanlar olağan, maden sahasındaki akarsular hızlı ve bölge sismik olarak etkindir' (Mining Journal, 1990). Bu faktörler,, cevher atıkları ve paşanın işlenmesi ve depolanması için seçenekleri ciddi biçimde sınırlandırmaktadır. Ök Tedi Maden Şirketi ve PYG hükümeti arasında, çevresel yönetim

ve izleme programı hakkında uzun süreli bir anlaşma imzalanmıştır.. Ok Tedi'de sistemli çevresel izleme, 1000 km'lik bir mesafe boyunca 1981 yılında başlamıştır. Program nehirlerin 'hidrolojisini ve sediman proseslerini, su kimyası ve sediman jeokimyasını,, poptilasyon. karakteristikleri, ve suda yaşayan türlerin dağılımını izlemeyi kapsamaktadır. Cevher atıklarını biriktirmek, üzere, Ok Tedi ırmağının bir kolu üzerinde baraj projelendirilmiştir, inşa çalışmaları başladıktan sonra, 1984 yılı başında vuku bulan büyük, bir heyelan nedeniyle tesis temeli zarar görmüş ve inşaat terk edilmiştir. Şirket, ve hükümet arasındaki görüşmeler sonucunda bir geçici atık. planı uygulanması kabul edilmiştir;. Bu plan,, kimyasal, olarak arıtıldıktan sonra atıkların Ok Tedi ırmağına verilmesini, içermektedir. Bu geçici, atık. sistemiyle, madencilik ve cevher<sup>1</sup> işleme faaliyetleri 1984 yılında başlamıştır. 1986'da, atıklardan dolayı akar sulardaki gerçek etkileri kaydetmek üzere daha büyük bir çevresel inceleme anlaşması yapılmıştır. Üç yıl boyunca süren kapsamlı çalışma K. Amerika,, Avrupa ve. Avustralya'dan gelen, uluslararası danışmanlar tarafından yürütülmüştür., Bulgular, 1988 Aralık ayında hükümete takdim edilmiştir., Bu çalışma ve başka yaklaşımlar esas alınarak hükümet, balık ve diğer suda. yaşayan türleri korumak üzere, çevresel koşulları dikkate alan Kabul Edilebilir **Partikül** Düzeyi'ni kabul etti. Bu kabul. Ok Tedi.'deki faaliyetlerin bazı çevresel etkileri olacağı fakat bunların kabul edilebilir bir seviyeye sınırlı kalacağını kabul etmektedir. 1990 başında, yörede yaşayan halkın, yararına olmak üzere daha ileri bir program başlatılmıştır;. Ok Tedi projesinin, yörenin gelişimini etkilediği kabul edilerek, yöre halkının projeden, fayda sağlaması için Ok Tedi/Fly Irmağı Gelişim Emaneti kurulmuştur.. Şirket tarafından finanse edilen emanet, çok sayıda toplumsal (su temini ve taşıma tesisleri gibi) ve iş sahası geliştirme projelerini başlatmıştır.

**Stummitvüe.** ABD Colorado'daki Summitville altın madeni, madencilik faaliyetleri, sırasında olagelen çevresel, sorunlar nedeniyle 1992-1993 yıllarında kamuoyunun dikkatini çekmiştir (Plumlee, 1995). Maden,, 1984 yılında, yığın siyanür liçi yöntemiyle yıllar sonra yeniden işletilmeye başlanmıştır'.. Madenin işletmeye alınmasıyla birlikte, siyanür proses çö-

zekilerinin yığın liçi örtüsünün altına ve taşıma borularından sızması sonucunda çevresel sorunlar meydana gelmiştir. Yapılan araştırmalara göre çevresel sorunların, maden sahasını akaçlayan Alamosa ırmağında sudaki canlı yaşamını, çevredeki tarımsal üretimi ve yaban yaşamını tehdit ettiği rapor edilmiştir. Jeoloji Dairesi'nin ( U.S. Geological Survey) incelemeleri, sülfürlü minerallerden ileri gelen asidik maden sularının siyanür sızıntısından daha önemli olduğunu ortaya koymuştur (Gray ve dig., 1994). Maden işletmesinin durdurulmasıyla birlikte 1986-1992 döneminde, şirket, liç örtüsü altına sızan suları zaptetmiş ve anımiştir. EPA'nın incelemeleri sonucunda, sorunların ortadan kaldırılmasının maliyetinin 1.20 .milyon dolar olduğu ortaya çıkmış ve bunun üzerine, 1992 yılında işletmeci şirket iflasını istemiştir. EPA, Acil Durum Sorumluluk Fonu otoritesi olarak maden sahasını üzerine almış ve sorunlara çare bulma çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu kapsamda olmak üzere, sızan suları izlemeye, kontrol altında tutmaya ve arıtmaya olduğu kadar örtü üzerinde kalan siyanürü de etkisizleştirmeye devanı etmektedir. Bunun yanı sıra EPA, galerileri tıkayarak madende en büyük, sorunu oluşturan asidik suları bertaraf etmiştir. öte yandan, asidik suların bir bölümünü üreten pasa yığınları da açık ocak içerisine gömülmüştür.

Lefke, Siyanürleme yönteminin neden, olduğu çevre sorunlarını incelerken Kıbrıs Lefke'deki çevre felaketinden de söz etmek yerinde olacaktır. Resmi raporlara göre, Lefke'deki maden bakır için işletilmiştir (Bear, 1963; Fide, 1995), 1919 yılında üretime başlayan şirket, 1974 yılındaki Banş Harekatı nedeniyle madeni terk etmiştir. Bakırın elde edilmesinde, bütün dünyada flotasyon yöntemi uygulanır ve bu proste, piriti bastırmak için siyanür kullanılır. Dünya piyasalarında bakır fiyatlarının düşmesi üzerine bu madende J 933-1942 yıllarında altın üretimi de yapılmıştır. Maden "bugüne kadar korunmaya alınmadığı için harabe- haline gelmiş ve çevreye döküntüleri yayılmıştır. Maden işletmesinin neden olduğu çevre sorunlarını ele alan rapora göre, maden sahası üzerine bir gölet kurulması çevre kirliliğine neden olmuştur (Fide., 1995). Madendeki sülfürlü mineraller suyla temasa geçerek sülfürik asit drenajı oluşturmuşlardır. Söz konusu raporda açıkça ortaya konduğu gibi

maden işletmesinin neden olduğu çevre sorunu siyanürden ileri gelmemiş,, Gemikonağı göleti rezerv alanında meydan gelen asit drenajı ve metal, kirliliği çevreyi tehdit eder hale gelmiştir.,

Gümüşköy. Etibank'ın Kütahya, Gümüşköy'deki gümüş madeni, ülkemizde- halen faaliyette bulunan siyanürleme yöntemiyle değerli metal üretilen tek maden işletmesidir. 1986 yılında faaliyete geçen tesiste, cevher karıştırmalı liç yöntemiyle doğal ortamdan yalıtılmış çelik tanklar içerisinde siyanürle muamele edilmekte ve çözelti içerisinde gümüş sıyırıldıktan soera. siyanürlü atıklar havuzlara yayılarak doğal bozunmaya terk edilmektedir., DSİ tarafından açılmış olan. 2 adet sondaj kuyusundan yeraltı suyu drenajından ve baraj suyundan numuneler alınarak haftada bir p.H. ve siyanür analizi, yapılmaktadır. Havuz üstü atmosferinde siyanür gazı ölçümleri yapılmaktadır. Tesiste bugüne kadar, siyanürle ilgili hiç bir olumsuzlukla karşılaşmamıştır (Çiçek, 1994)., Anadolu. Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilini Dalı'nın 1993 yılında Kütahya İl Sağlık Müdürlüğüne verdiği rapora (Anadolu Üniv.Tıp Fak., 1993) atıfta, bulunularak, Gümüşköy tesislerinde kullanılan siyanür nedeniyle Dulkadir köyünde kanser olaylarının arttığı haberleri yazılmıştır. Halbuki,, biliyoruz ki çevre ve sağlık örgütleri, tarafından siyanür; kanserojen etkisi olduğu kabul, edilmeyen D grubu bileşen, olarak nitelendirilmektedir (Hocker, 1989; EPA, 1990). Ayrıca, söz konusu raporda böyle bir iddia olmadığı gibi, evlerin duvarlarında kullanılan sıvada. tesbit edilen kuvars kristallerinin kansere yol açmış olabileceği belirtilmiştir. Bunun dışında, köyün. 10 km uzağından getirilen ve doğal kaynak, olduğu belirtilen içme suyunun kaynağında güvenli eşikten yüksek miktarda (0.67 mg/l) .arsenik bulunduğu ve suya karışım nedeninin, belirlenmesi, gerektiği rapor edilmiştir. Bunun, üzerine,, Etibank, köye bir başka, kaynaktan su getirmiştir..

#### Ülkemizde' Faaliyetin Denetimi

Türkiye'de madencilik, çevresel etkisine; ilişkin mevzuat, Çevre Bakanlığı tarafından yürütülür ve denetlenir., Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönet-

neliğine göre, çevreye muhtemel etkisi olabilecek bir faaliyeti gerçekleştirmeyi planlayan gerçek ve tüzel kişiler her türlü teşvik, onay, izin ve ruhsat almadan önce ÇED Raporu hazırlayarak Çevre Bakanlığı'na vermekle yükümlüdür.. Bakanlıktan söz konusu proje hattında, olumlu görüş alınmadıkça bu faaliyete geçilemez, ÇED Raporunu incelemek ve değerlendirmek üzere Bakanlık tarafından bir İnceleme-Değerlendirme Komisyonu, oluşturulur. Komisyon, Bakanlıktan bir yetkilinin başkanlığında, faaliyetin, yapılacağı yerin özellikleri dikkate alınarak merkezi ve yerel kurum ve kuruluş temsilcileri,, faaliyet sahibi ile raporu hazırlayan kuruluş temsilcilerinden oluşur. Komisyon çalışmalarına üniversite, enstitü, araştırma ve ihtisas kuruluşları ve meslek odaları, temsilcileri ile gerçek ve tüzel kişiler de üye olarak çağrılabilir.. Komisyon, raporu 60 işgünü içerisinde inceler ve değerlendirir, görüşünü Bakanlığa bildirir,

İnceleme-Değerlendirme Komisyonu'nun ilk toplantısının ardından,, halkı proje hakkında bilgilendirmek, görüş ve önerilerini almak üzere ÇED sürecine halkın katılımını sağlayacak bir toplantı düzenlenir. Ayrıca,, ÇED raporunu incelemek isteyenler, inceleme ve değerlendirme dönemi içerisinde raporu inceleyerek faaliyet hakkında Bakanlığa yazılı görüş bildirebilirler. Görüşler,, Komisyon tarafından dikkate alınır. Faaliyet sahibi, faaliyet sırasında, komisyon tarafından kabul edilen ÇED Raporu ve eklerinde belirtilen hususlara uyacağını belirten taahhüt yazısı ile son şekli • verilen ÇED Raporunu ve işletme sonrasında maden sahasında yapmakla yükümlü olduğu rehabilitasyon çalışmalarını karşılayacak miktarda banka teminatını Bakanlığa verir. Bakanlık, Komisyon raporundaki kararını esas alarak ÇED olumlu görüşü ya da olumsuz görüşü verir.. Çevre Bakanlığı, taahhüt edilen hususların yerine getirilip getirilmediğini izleme ve denetleme görevini yerine getirirken gerekli gördüğü takdirde kamu ve özel kuruluşlar, ilgili meslek odaları, merkezi ve yerel yönetimlerle işbirliği yapar. Bu görevin yürütülmesi için faaliyetin yapıldığı ilde valinin başkanlığında,, bakanlıkların il ve bölge .müdürlükleri ile üniversite yetkililerinden, oluşan bir Mahalli İzleme- ve Denetleme Komisyonu kurulur.

Çevre Kanunu, gereğince, ayrıca,, her ilde valinin başkanlığında, bakanlıkların il temsilcileri, büyükşehir belediye başkanı, belediye başkanı, sanayi ve ziraat odaları başkanları ve Çevre Bakanlığı temsilcisinden oluşan. Mahalli Çevre Kurulları bulunur. O ilde bulunan tesis ve işletmelerin çevre kirliliği açısından yapılan denetlemelerine- ait raporları incelemek, değerlendirmek ve gerekli önlemleri almak bu Kurulun görevleri arasındadır;. Yönetmelik kapsamındaki faaliyetlerin, ÇED olumlu belgesini veya çevresel etkileri önemsizdir kararını belirten, belgeyi almadan başladığı belirlenirse faaliyet, mahallin en büyük, mülki idare .amiri tarafından durdurulur,

ÇED olumlu belgesi alınarak faaliyete başlamış olan tesiste Bakanlığa verilen beyan ve taahhütnameye uyulmadığının tespiti halinde, mahallin en büyük mülki idare amiri taahhüt sahibine taahhütlerini yerine getirmesi için bir defaya mahsus olmak üzere 30 günlük bir süre verir,. Verilen süre sonunda da yükümlülüğün yerine getirilmemesi, halinde faaliyetin, yürütülmesi durdurulur

## ÇEVRE VE SİYANÜR

Sanayide,, yanlış veya kontrolsüz kullanıldığı takdirde tehlikesi olmayan hiçbir madde veya süreç yoktur.. Ama esas olan, kullanım sırasında önlemler alarak ve çok sıkı denetimler yaparak olayların kontrol altında tutulmasıdır. Herhangi bir yatırımın projesi, sağlık ve çevre açısından risk taşıyorsa o projeyi red etmekten başka yol yok mudur? Çevre konusuna siyah-beyaz yaklaşım, yerine, uluslararası standartlar ve kriterler içerisinde kalmak şartıyla sanayi sektöründe üretim yapılması sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkesidir.. Bu bağlamda,, Çevre Kanunu'nun 1 inci maddesinde " çevrenin korunması amacıyla alınacak önlemler, ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleri ile uyumlu olarak belirlenir" ibaresine yer verilmiştir. Aynı Kanununun 3 üncü maddesinde de "arazi ve kaynak kullanım kararlarını veren, ve proje değerlendirmesi yapan yetkili kuruluşlar, kalkınma çabalarını olumsuz yönde etkilememeyi dikkate alarak çevrenin korunması ve kirlenmemesi hedefini gözetirler" denmiştir..

önlemleri alınarak siyanürün dikkatli bir biçimde kullanılması "sürdürülebilir kalkınma" felsefesiyle uyumludur. Sürdürülebilir kalkınma, bazı çevrelerin ileri sürdüğü gibi dokunulmaması gereken doğa ve ekosistemler değildir (Tilton, 1996). Brundtland Komisyonu olarak da adlandırılan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 tarihli "Ortak Geleceğimiz" raporunda da belirttiği gibi-sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama- larını tehlikeye sokmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınmadır (W.C.E.D., 1987). Yani, günümüzdeki tüketimin, gelecek nesillerin en az bugünkü kadar refah, içinde yaşamalarını engellememesi anlamını taşımaktadır, insanın yaşadığı çevrenin korunması ve iyileştirilmesi,, insanlığın geleceği düşünüldüğünde önem kazanmaktadır. Ancak, insanın yaşamını kolaylaştırılması ve refahının sürmesi için de sanayileşmeden vaz geçilemez, Şu halde, ne her ne pahasına olursa olsun sanayi, ne de her şeye rağmen çevre söylemi yerine çevre ve sanayiye akılcı bir yaklaşımla dengeleyerek çocuklarımız ve onların çocuklarına, yaşantımızın temeli olan ekonomik büyümeyi sağladığımız güvenli,, sağlıklı ve yaşanabilir bir dünyayı nasıl bırakacağımızı düşünmeliyiz..

Ülkemizin sadece zengin maden, kaynaklarına sahip olması yeterli değildir.. Bu madenlerin zaman geçirilmeksizin etkin bir biçimde işletilmesiyle yaratılan katma değerın ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Nitekim, gelişmiş ülkelerin bugünkü konumlarına gelmeleri,, sahip oldukları maden kaynaklarını işletmeleriyle mümkün olmuştur. Ülke ekonomisine kaynak sağlayacak olan maden üretiminin artırılmasında en önemli unsurlardan birisi de altın madencilikidir.. Siyanürün güçlü bir zehir olması nedeniyle, kamuoyu haklı olarak bir tedirginlik içerisindedir. Ancak, aynı yöntem,, yüz yıldır bütün dünyada yaygın ve başarılı bir biçimde uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan, kazanılmış tecrübelerle göre, alınacak önlemlerle siyanürün tehlikeli etkisi kontrol altına alınabilmektedir.

Siyanürleme yöntemi kontrol, altında tutulduğunda çevreye ve insan sağlığına zarar vermediği bilindiğinden, altın madencilikinde sadece ıssız çöllerde veya geri kalmış yörelerde- değil,, yerleşim, yerlerinin yakınlarında da yapılmaktadır.. Fransa'da Rouez kentindeki S art he madeni ve- Limoges kenti Lechard kasabasındaki LeBourneix madeni,, İspanya'da Sevilla kentindeki Rio Tinto madeni, Yeni Zelanda'da Waihi kasabasındaki Martha Hill madeni,, Kanada'nın Ontario eyaletinde Kirkland kentindeki Macassa, Malartic kentindeki East Malartic ve- Les Terrains. Aurifers, Virginiatown'daki Kerr Addison ile Quebec eyaletinde Val D'Or kentindeki Sigma altın madenleri, özellikle gelişmiş ülkelerdeki yerleşim yerlerinin içerisindedir veya hemen, yakınındaki (1 km'den daha az) sayısız örneklerden bazılarıdır.

Madencilik diğer sanayi sektörlerine- benzemeyen bir özelliği vardır. Bir fabrikayı,, en uygun yeri seçerek kurabilirsiniz-. Ancak, madencilikte böyle bir durum yoktur,, Maden işletmesini, ekonomik ve teknik nedenlerle cevherin bulunduğu yerde yapmak, zorunluğudur,, Tarım arazisi veya orman içindeyse ya da bir yerleşim yeri yakınıdaysa madeni, başka bir yere taşıma seçeneği yoktur,. Dünyanın birçok yöresinde örneğini gördüğümüz gibi işletmeyi çevreyle bütünleştirerek madencilik çalışmalarını denetimli bir biçimde yapmak yeterli olacaktır,. Bu nedenle, madencilik tarım arazileri, dışında yapılmasını önermek yerine, maden tesislerinin çalışma koşullarını ve getirilecek, sınırlamaları gerçekçi bir biçimde belirlemek ülke ekonomisi açısından daha yararlıdır.

Özetle söylemek, gerekirse,, sanayimiz için gerekli, hammaddelerin temini ve ekonomimiz için gerekli katma değerın yaratılması amacıyla madencilik faaliyetlerinin yoğun bir biçimde sürdürülmesi gerekmektedir, Ancak, bu faaliyetler sırasında çevrenin ve yöre halkının zarar görmemesi için bütün tedbirlerin alınması ile çalışmaların adım adım izleneceği ve gerekli müdahalelerin anında yapılacağı bir organizasyonun kurulması önem kazanmaktadır.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Anadolu Üniversitesi Tıp Fakültesi, 1993, **Dulkadir Köyü** sağlık taraması sonuçları; Göğüs Hastalıkları **Anabilim Dalı**, Rapor No **93-59**.
- ATSDR, 1997, Minimal Risk Levels (**MRLs**), Cyanide, CAS **000143-33-9**, US **DepL of Helath** and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Release,.
- Bayraktar, I., 1996, Çevre ve altın lıretimı; 21, Yüzyıla Girerken **Türkiye Madenciligi...**, **TMMOB Maden Mühendisleri Odası**, s.63-79.
- Bear, L.M., 1963, The mineral resources and mining industry of Cyprus; Rep., of Cyprus, **Geology Swv. Dept. Bull. Nol.**
- Boisson, P., 1987, Rôle croissant de For sur le marché des matières premières minérales; **Chron. Rech. Mio...**, No 488, s.,75-79.
- Çiçek,, F., 1994, **Gümüşköy'de** siyanür liçi ile gümüş üretimi; **Altın Madenciligi Semineri**, Yurt Madenciligini Geliştirme Vakfi,, s.60-65.
- Encyclopedia of Chemical technology (Rirk-Othmer), 1992, v.7, s. 765, 773,776, 779, 4,Baskı, Wiley, New York,.
- Eveleth**, R.W., 1978,, New methods of **working an old mine**; The **Future of Small-Scale Mining**, UNITAR, **Mexico**, s.333-339.
- Fide, E., 1995,, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde maden **işletmeciliğinin** yarattığı çevre sorunları; Türkçe Konuşan Ülkeler 2. Yerbilimleri ve Madencilik Konferansı,, MTA Gen. Miid., Ankara, s.264-268.
- Fuller» W.,, 1988,, Cyanides, and the environment **with particular attention to the soil**; D. van Zyl (ed.), Cyanide and. The Environment, **2.Baskı,v.1**, s. 19-44..
- Fuller, W., Caster,, A.B.. ve **McGeorge**, W.T, 1950, Behavior of **nitrogenous** fertilizers in alkaline calcareous soils; Univ. Arizona Tech. **Bull.**, no 120; s.451-467.
- Gönen,, N,,, Demir, E. ve **Özdü**, G., 1996,, Altın üretim prosesi artıklarında **siyanürün doğal bozunma**, kimyasal **bozundurma ve** geri kazanımı süreçlerinin **incelenmesi**; MTA Gen., Müd., Derleme Rapor No 9875, Ankara.
- Gray, **J.E.**, **Coolbaugh**, M.F., Plunlee, G.S. ve Atkinson, W.W.,, 1994,, Environmental geology of the **Summitville** mine, Colorado; **Econ. geol.**, v.89, S..2006-2014.
- Heinen**, HJ., Peterson, D.G.. ve **Linstrom**, R..E., 1978, Processing gold ores **using** heap lech- carbon **adsorption** methods; **U.S. Bureau of Mines**, Information. **Circular** 8770.
- Higgs**, T., 199,5, Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in Mining, British Columbia Technical, and Research **Committee on Reclamation - Cyanide Sub- Committee**, s. **I/I-17**.
- Hocker,, P.M.,, **1989**, Heaps of gold, pools of poison - **Cyanide** spring; Clementine, Autumn, s.6-11.
- Hoiatt, J,L.,, **Kerriga**, E., Olson,, F.A. ve Potter,, G.L., **1983**, Cyanide from mineral processing; Proceed... of Cyanide Workshop,, U.S. National Science Foundation and U.S. Bureau of Mines,, **Salt Lake City**, Utah.
- Ipekoglu**, G., 1995, Omai altın madeni baraj kazası **üzerine görüşler**; **Madencilik Bült**, Mo 44, s. 14-15.
- İpekoğlu, **G^ Çelik**, H. ve **Tükel**, Ç., 1996, **Ovacık altın** cevherinin **karşılaştırmalı** siyanür ve tiyoiire **liçi**; Madencilik,, v. XXXV, no 4, s.43-51.

- KiJboro Inc., 1991. Besi available pollution control technology; Ontario Ministry of The Environment, Metal Mining Sector.
- Korte, F. ve Collision, F., 1995, From single-substance to ecological process concept: The dilemma of processing gold with cyanide; Ecotoxicology and Environmental Sanitary, v.32, s.96-101.
- Madencilik Bülteni, 1997, Dünyada altın madenciliği, No 53, s3-2L,
- Marsden, J. ve House, L., 1993,, The Chemistry of Gold extraction, Ellis Horward, London..
- Metals Economics Group, 1995, Analysis of worldwide exploration expenditures; Strategic Report, v.8, no 5, 8,1-5.
- Metals Economics Group, 1996, Overview of worldwide exploration, expenditures; Strategic Report, V.9, no 5,, s.1-5.
- Mining Environmental. Management, 1996, Oniai reopens., March 1996, s.26.
- Mining: Journal, 1990, Ok Tedl monitoring; Mininnng Jour. Special Supplement, v..315, no 8085, s.23-24.
- Mining Journal, 1995, Dam failure at Omai; v.325, no8311,s.129.
- Mininig Journal, 1997a, Sardinian gold pour; September 26,, v.329, no 8448..
- Mining- Journal Research Service, 1994,, The use of cyanide technology in processing gold ores., European operations and regulations.
- Mining' Magazine, 1996, Refractory gold, technology, April, s. 213-234.
- Mudder, T. ve Smith,, A., 1994, An environmental, perspective on cyanide,; Mining' World News, v. 6, no 9.
- Özdemir, I,1994, Toksikoloji - Akut Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi; Nobel Tıp Kitapları, 2. Baskı, 357 s.
- Plumlee, G.S., 1995,, The Summitville mine and its downstream effects; U.S. Geological Survey, Open File Report 95-23.
- Rouse, J.V., 1990, Cyanide and The Environment; Mining Jour., Special, Supplement, v.315, no 8085, s. 18-19.
- Smith, A., Dehnnann, A, ve Puilen, R., 198.5, The effects of cyanide-bearing gold tailings on water quality in the Witwatersrand, S. Africa; Cyanide- and The Environment, D. van Zyl (ed.). Proceed, of Conference, Tucson, Arizona,, Publ. Colorado State Univ.,, s.221-229.
- Smith, A. ve Mudder, T., 1991, The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes,, Mining Journal Books Ltd.,, London, 345 s.
- Smith, A. ve Mudder, T., 1995, Cyanide - Dispelling the myths; Mining Environmental. Management, June 1,995, s.4-5..
- Sparrow, G., ve Woodcock, XX, 1988, Cyanide concentrations,, degradation,, and destruction in. mineral processing plants and effluents; CSIRO, Division of Mineral Products, Australia, MPC/M-035.
- Stanton, MB., Colbert, T.A. ve Trenholme, R.B., 1985, Environmental handbook for cyanide leaching projects; U.S. BepL. of Interior, National Park Service.
- Stewart,, A.L., 1984, Gold ore processing today - Part I; Intern. Mining, April, s.21-31.
- Stewart, A.L., 1989, Developments in gold processing; Intern. Mining, July, s.8-11...
- Strum, W., ve Hanssen, E.,, 1967, Über Cyanwassertoff in Prunoideen Samen und. Einigen Anderen Lebensnittel; Zeitschrift für Lebensmittel-Unterschung und. -Forschung, v.,135,no6, s.2498-259.
- Tilton, J.E., 1996, .Exhaustible resources and sustainable development; Res. Policy, v.22, s.91-97.



- US Environmental Protection Agency, 1976, The manufacture and use of selected inorganic cyanides; EPA/560/6-76-012.
- US Environmental Protection Agency, 1990, Summary review of health effects associated with hydrogen cyanide; EPA/600/8-90-002F.
- Vick, S.G., 1990, Planning, Design and Analysis of Tailings Dams; BiTech Pub. Ltd., Vancouver, 369s.
- Vick, S.G., 1996, Tailings dam failure at Omai in Guyana; *Mining Engng.*, v.48, no 11, s.34- 37.
- Wellmer, F.-W., 1995, Why gold ? *Natural Resources and Development*, v.41, s.36-49.
- World Commission on Environment and Development, 1987, *Our Common Future*; Oxford Univ. Press, Oxford.
- World Metal Statistics, 1999. *World Mine Production: Gold*, July, s. 79.
- Zadra, J.B., 1950, A process for the recovery of gold from activated carbon by leaching and electrolysis; U.S. Bureau of Mines, Rept. Investigation 4672.