

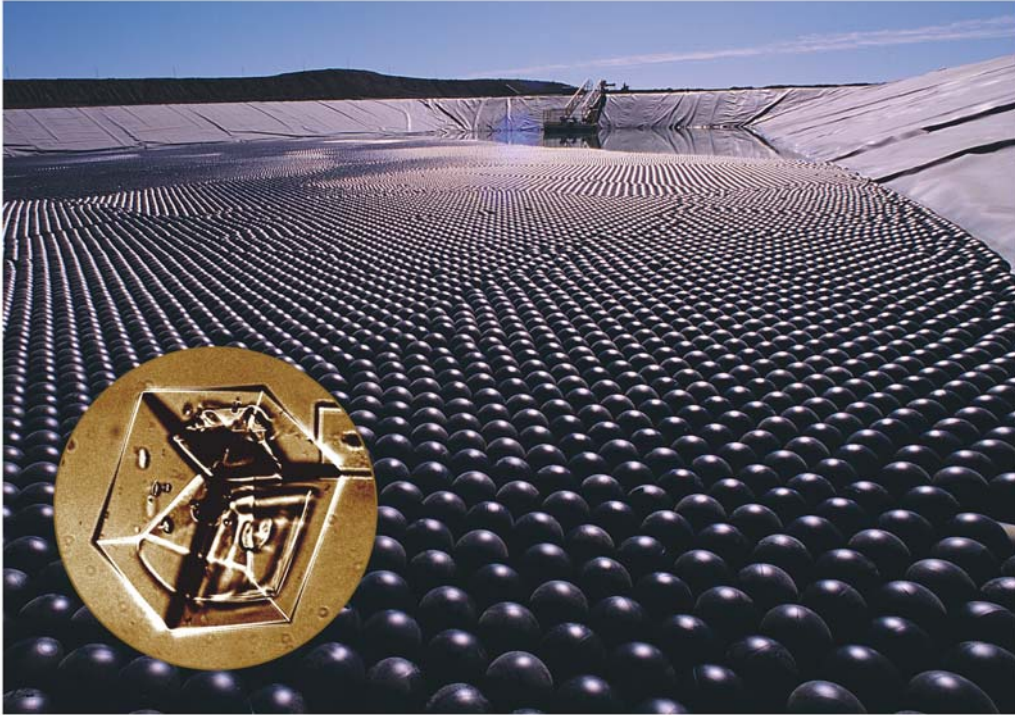
ALTIN ÜRETİMİNDE SİYANÜR YÖNETİMİ

Yazanlar

Mark J. Logsdon, MSc

Karen Hagelstein, PhD, CIH

Terry I. Mudder PhD



INTERNATIONAL COUNCIL ON
METALS AND THE ENVIRONMENT

Metaller ve Çevre Uluslararası Konseyi (International Council on Metals and the Environment-ICME) maden ve metallere sektörünü etkileyen çevre ve bununla ilgili sağlık konularında bilgi verme hususunda süregelen gayretlerinin bir parçası olarak bu dokümanı yayımlamış bulunmaktadır. ICME yayınlarının içeriği genel ve teknik bilgiden, politika ve mevzuat konularındaki tartışmalara kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. İncelenen konular sadece sanayinin değil, politika oluşturanlar, mevzuatı düzenleyenler, eğitimciler ve kamuoyu dahil herkesin ilgisini çekebilmektedir. ICME yayınlarının bazen anlaşılması zor ve karmaşık olan konulara açıklık getirmesi umulmaktadır.

Her ne kadar açıklanan görüşler yazarlarına ait ise de ICME yayınladığı belgelerdeki bilgi ve görüşler hakkındaki soru ve yorumlardan memnuniyet duymaktadır. ICME ayrıca, ilerideki yayınlarında ele alınması muhtemel, kamu oyunca önemli görülen konularla ilgili önerileri değerli bulmaktadır.

1991 yılında kurulmuş olan ICME, değerli metaller ile demir dışı metallerin üretimi, kullanımı, geri kazanılması ve bertaraf edilmesinde sağlam temellere oturtulmuş çevre ve sağlık politikaları ile uygulamaların geliştirilmesi ve yürürlüğe konulmasını destekleyen bir sivil toplum örgütüdür. Yayınlarına ilâve olarak ICME'nin yaygın enformasyon programı bir Web sitesini ve dünya çapında dağıtımı yapılan üç aylık bir haber bültenini içermektedir.

International Council on Metals and the Environment

294 Albert Street, Suite 506

Ottawa, Ontario

CANADA K1P 6E6

Tel (613) 235-4263

Fax (613) 235-2865

e-mail: info@icme.com

http://www.icme.com

Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi, yazarlar: Mark J. Logsdon, Karen Hagelstein ve Terry I. Mudder

Bu kitabın bütün yayın hakları, Türkçe de dahil, ICME'ye aittir. NORMANDY MADENCİLİK A.Ş., bu kitabın Türkçe yayınlanmasına ve ücretsiz olarak dağıtılmasına izin veren ICME'ye teşekkürlerini sunar. ICME, Türkçe çeviriden sorumlu değildir.

İngilizce Birinci Basım, Nisan 1999.

Türkçe Birinci Basım, Kasım 2001.

Kapak : ABD, Nevada'da Placer Dome ile Kennecott'un ortak yatırımı olan Cortez altın madeni atık havuzundaki yüzen toprak kuşların havuz yüzeyine inmesini önlemektedir (Placer Dome'un izinleriyle).

Küçük Resim : Sodyum siyanür kristallerinin oluşumu (DuPont'un izinleriyle)

ALTIN ÜRETİMİNDE SİYANÜR YÖNETİMİ

Yazanlar

Mark J. Logsdon, MSc
Karen Hagelstein, PhD, CIH
Terry I. Mudder, PhD



INTERNATIONAL COUNCIL ON
METALS AND THE ENVIRONMENT

-

İÇİNDEKİLER

Önsöz	iii
Yönetici Özeti	v
1. Siyanür Nedir ?	1
2. Siyanürün Doğada Bulunuşu	3
3. Siyanürün Sanayide Kullanımı	5
4. Altın Üretiminde Siyanür Kullanımı	7
• Süreç	8
5. Siyanürün Üretimi, Yükleme, Boşaltma ve Nakliyesi	11
6. Çözeltilerde Siyanür	15
• Serbest Siyanür	15
• Siyanür Bileşikleri	16
• Zayıf ve Kuvvetli Siyanür Bileşikleri	18
• Siyanürün Analizi ve İzlenmesi	18
7. Çevredeki Siyanür Konsantrasyonlarının Bertaraf Edilmesi	19
• Siyanürlü Çözeltinin Artırılması ve Yeniden Kullanılması	19
8. Siyanürün Risklerinin Ölçülmesi ve Yönetimi	25
• Siyanürün Sıhî ve Çevresel Etkileri	26
Siyanürün İnsanlar Üzerindeki Toksik Etkisi ve Marazları	26
İşçilerin Maruziyeti	27
Çevresel Toksikoloji ve Etkileri	28
9. Madencilik Sektöründe Siyanür İçin Risk Yönetimi	31
• Yönetim Sistemleri, Araştırma ve Geliştirme	31
• Ürün Yönetimi	32
• Muhafaza ve Geri Dönüşüm	33
• İşçi Güvenliği ve Halk Sağlığına Hitap Eden Mevzuat ve Gönüllü Programlar	34
10. Risk İletişimi	35
11. Kaynakça	37

ŞEKİLLER, ÇİZELGELER VE KUTULAR

Şekil 1	Dünya Siyanür Üretiminin Madencilikte Kullanılan Kısmı	5
Şekil 2	Altın Üretimi	7
Şekil 3	pH'ya Bağlı Olarak CN^-/HCN Dengesi	15
Şekil 4	Siyanür Döngüsü	20
Şekil 5	Sığ Bir Havuzda Siyanür Bozunmasına Örnek	21
Çizelge 1	Seçilmiş Bitkilerdeki Siyanür Konsantrasyonları	3
Çizelge 2	Yüksüz Çözeltilerin Analizi	17
Çizelge 3	Atık Havuzlarında Siyanürün Doğal Bozunması	21
Kutu 1	Madencilikte Siyanür Kullanımının Tarihçesi	10

Önsöz

Madencilik sektörü ve özellikle altın madenciliği sektörü üretim süreçlerinde siyanürü uzun yıllardır kullanı gelmiştir. Yaygın olarak öldürücü bir madde olarak algılanmasına karşın siyanür, çağdaş yaşamın vazgeçilemez ve son derece yaygın olarak kullanılan bir kimyasal maddesidir. Siyanürün güvenli kullanımı, sağlıklı yönetim uygulamalarının yürürlüğe konması ile mümkündür.

Halkın siyanürden endişe duyması haklı gerekçelere dayanıyor ve gerçekten de anlaşılabilir olmakla beraber, maden işletmelerinde siyanür kullanımı konusunda son zamanlarda medyanın hassasiyetinin ve kamuoyunun reaksiyonunun çoğu siyanürün doğası ile onun sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini anlayış noksanlığından kaynaklanmıştır. Siyanürü üreten, nakleden ve kullanan kesimlerin kullanımı için önemli miktarda teknik bilgi mevcut ise de konunun uzmanı olmayan kitleler için anlaşılması kolay bilgi henüz mevcut değildir. Bu durumu düzeltmek ve halkın altın üretiminde siyanür kullanımı hakkındaki endişelerini gidermek amacıyla Metaller ve Çevre Uluslararası Konseyi (ICME) mevcut belgeyi hazırlanmış bulunmaktadır.

Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi, altın eldesindeki kullanımına özel vurgu yaparak, siyanürün kullanımı ve risklerini genel olarak ele almaktadır. Kitap, siyanürün özellikleri ve sanayide kullanımının anlatımıyla başlamakta, daha sonra özellikle siyanürün üretimi, mineralin çıkarılmasında kullanımı, genel ve çevresel kimyasından oluşan madencilikteki yaşam döngüsünü ele almaktadır. Bu bilgiyi verdikten sonra kitap, altının eldesi sırasında siyanürün güvenli kullanımına risk değerlendirme, risk yönetimi ve risk iletişimi prensiplerinin nasıl katkıda bulunduğunu açıklamaktadır.

Tanımlı uzmanlar tarafından hazırlanmış olan bu eser, ister yerel ister küresel bakış açısından, madencilik işletmelerinde siyanürün varlığı konusunda karar vermeye katkısı olan herkes için faydalı bir referans olacaktır. Uluslararası mevzuat düzenleyiciler, politika üretenler, toplum önderleri ile madencilik ve metalurjide çalışanlar dahil ilgi duyan diğer okurların bu eseri, hem dengeli hem de bilgi verici bularak siyanürün özelliklerini ve altın eldesindeki rakipsiz rolünü daha iyi anlama imkanına ulaşacakları ümit edilmektedir.

Gary Nash
Genel Sekreter
ICME

Önsöz

iii

Yönetici Özeti

Siyanür, altın eldesinde tercihi zorunlu olan bir kimyasaldır.

Siyanür, sulu ortamda altını çözebilen çok az sayıdaki kimyasaldan birisidir. Oldukça düşük maliyetlerde kolayca bulunabilen sıradan bir sanayi kimyasalıdır. Gerek teknik gerek ekonomik nedenlerle siyanür, cevherden altının elde edilmesinde tercihi zorunlu olan kimyasaldır. Siyanür, 1887 yılından beri metallerin eldesinde kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de altın eldesinde tüm dünyada güvenli bir şekilde kullanılmakta ve yönetilmektedir. Altın madenciliğinde, genellikle %0,01 ila %0,05 siyanür içeren (milyonda 100 ilâ 500 kısım) sodyum siyanürün çok seyreltik çözeltileri kullanılmaktadır.

Üretilen siyanürün büyük bölümü kimya sanayiinde temel hammadde olarak kullanılmaktadır.

Siyanür, esas itibarıyla naylon ve akrilikler gibi geniş bir sınıai organik kimyasal ürün yelpazesinin sentezinde kullanılan az sayıdaki bileşenlerden biri olarak büyük miktarlarda (yılda yaklaşık 1,4 milyon ton) üretilmektedir. Altın üretiminde kullanılan siyanür miktarı dünya toplam siyanür üretiminin yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır.

Siyanür bazı mikroorganizmalar, böcekler ve bitkiler tarafından doğal olarak üretilmektedir.

Siyanür, karbon ve azottan oluşan doğal bir moleküldür. Dünyada hayat başlamadan önce mevcut olan siyanür, hayatın evriminde temel yapı taşlarından birini oluşturmuştur. Siyanür doğada, örneğin, pek çok böcekte ve çok çeşitli sebzeler, meyvalar ve kabuklu yemişler dahil pek çok bitkide zararlılara karşı koruma unsuru olarak düşük konsantrasyonlarda bulunur. Ayrıca, kışın yollara dökülen tuzda, otomobil egzoz gazında ve dengeleyici olarak sofraya tuzu gibi günlük hayatımızda maruz kaldığımız çevrede sık sık siyanür bulunmaktadır.

Siyanür kalıcı değildir.

Bazı sentetik kimyasallarla ilgili önemli sağlık ve çevresel endişelerden birisi bunların kolayca bozunmayıp yiyecek halkasında birikmesidir. Siyanür ise doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle daha az toksik başka kimyasallara dönüşür. Zira siyanür havaya veya diğer oksitleyicilere maruz kalınca oksitlenir, bozunur ve kalıcı olmaz. Yeterince yüksek dozda alındığında öldürücü bir zehir olmakla beraber, düşük konsantrasyonlarda alındığında kronik sağlık veya çevre sorunlarına yol açmamaktadır.

Siyanür konsantrasyonları doğal süreçlerle azaltılır.

Güneş ışınlarına maruziyet gibi doğal süreçler, zaman içinde çözümlerde bulunan toksik siyanür konsantrasyonlarını çok düşük değerlere azaltabilir.

Siyanürün üretim, kullanım ve bertarafı ile ilgili riskler kolayca yönetilebilir.

Gerek kimya sanayi ve gerekse madencilik sektöründeki sorumluluğunun bilincinde olan şirketler, siyanür kullanımından kaynaklanan zarar ve ziyamı önlemek için sıkı risk yönetimi sistemlerini kullanmaktadırlar. Madencilikle ilgili çözümlerdeki siyanür, içindeki altın alındıktan sonra ya tesise geri gönderilmekte ya da imha edilmektedir. Siyanürün ortama salıverilme ihtimalini azaltmak ve önlemek için siyanürün kullanımı ile ilgili risklerin yönetimi, uygun mühendislik, dikkatli izleme ve iyi yönetim uygulamalarını gerektirmektedir.

Siyanürle ilgili risklerin çalışanlara ve halka duyurulması sağlıklı yönetim uygulamalarının esasıdır.

Siyanürün çevresel akıbeti çok iyi incelenmiştir. Siyanür, mevzuatla sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmaktadır ve risk yönetimi ile ilgili etraflı bir literatür bulunmaktadır. Risk iletişimi, gerek tesis içinde, gerek dışarıdaki halka siyanür hakkında bilgi verir. Tesis çalışanlarına bilgi iletilmesi, riskin büyüklük ve doğasının genel olarak halka iletiliminin ilk kademesidir. Etkin iletişim ve acil durum planlama programları uygun yerel makamlarla da koordine edilmelidir.

BÖLÜM I

Siyanür Nedir ?

Siyanür, karbon ve azot ihtiva eden bir grup kimyasal maddeye verilen genel bir isimdir. Siyanür bileşikleri hem doğal olarak bulunan hem de insanlar tarafından üretilen (antropojenik) kimyasallardan oluşur. Eklem bacaklılar, böcekler, bakteriler, yosunlar, mantarlar ve daha üst yapıdaki bitkilerin çeşitli türleri dahil siyanürün iki binden fazla doğal kaynağı bulunmaktadır. Gaz halindeki hidrojen siyanür ile katı haldeki sodyum ve potasyum siyanür insanlar tarafından üretilen siyanürün başlıca biçimleridir. Kendine özgü özellikleri nedeniyle siyanür, metal parçalar ile plastikler, sentetik kumaşlar, gübreler, bitki zararlıları için ilaçlar, boyalar ve ilaçlar gibi çok sayıda genel organik ürünlerin imalinde kullanılır.

Siyanürün sanayide kullanımını hakkında halkın haklı bir endişesi bulunmaktadır. Siyanür toksik bir maddedir ve belirli miktarlarda yutulması veya solunması halinde ölümcül olabilir. Bu durum, benzin ve evlerde kullanılan temizlik malzemeleri gibi pek çok diğer kimyasal madde için de geçerlidir. Çağdaş sanayi süreçlerinde kullanılan binlerce diğer kimyasal madde için geçerli olduğu gibi, uygun yükleme boşaltma ve nakliye işlemleri ve sorumlu yaklaşım, siyanürün güvenli ve faydalı olarak kullanımı için esastır.

Önemli miktarda siyanür kullanan sanayi faaliyetlerinden birisi madenciliktir (dünya toplam üretiminin %18'i kadar). 1887'den beri, başka yöntemlerle işletilemeyen cevherlerden özellikle altın ve gümüşün eldesinde siyanür çözeltileri kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, siyanürün düşük konsantrasyonlu çözeltileri, kurşun, bakır ve çinko gibi demir dışı metallerin kazanılmasında yardımcı flotasyon kimyasalı olarak kullanılır.

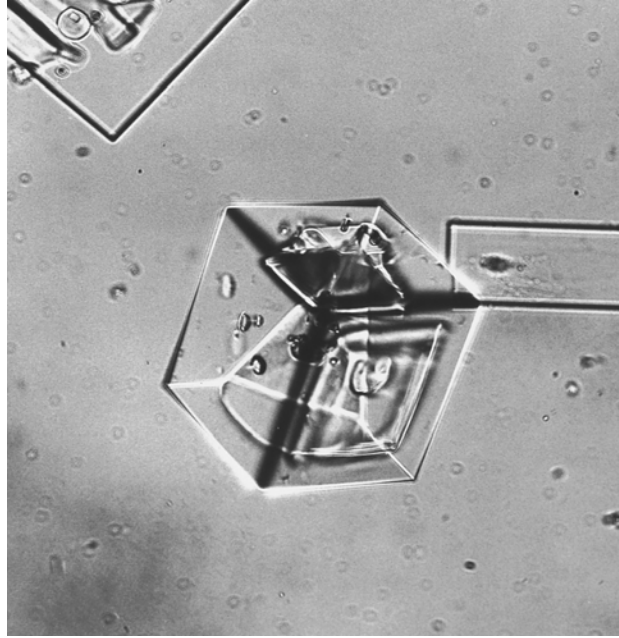


Foto: DuPont'un izinleriyle

Sodyum siyanür kristallerinin mikroskopik görünümü.

BÖLÜM 2

Siyanürün Doğada Bulunuşu

S iyanürü oluşturan karbon ve azot elementleri etrafımızı tamamiyle kuşatmıştır. İkisi birlikte, soluduğumuz havanın % 80'ini oluştururlar ve her türlü hayat şeklinin temelini oluşturan organik moleküllerde de bulunurlar. Hidrojen siyanür, dünyada hayatın başlamasına neden olan amino asitlerin öncüsü olarak gezegenimizin gelişiminin erken dönemlerinde oluşmuştur. Siyanür doğal olarak oluşur. Siyanür, kendilerinin cazip bir yiyecek kaynağı olmasını önleyecek koruyucu bir mekanizma olarak bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilmekte ve kullanılmaktadır. Pek çok organizma siyanürün mevcudiyetine uyum sağlamakta veya onu bozundurmaktadır.

Hidrojen siyanürün (HCN) doğal kaynağı amigdalin adı verilen şekerimsi bir bileşik olup, kayısı, fasulye filizi, mahun cevizi, kiraz, kestane, mısır, kuru fasulye, mercimek, nektarin, şeftali, yer fıstığı, pecan cevizi, antep fıstığı, patates, soya fasulyesi ve ceviz dahil pek çok meyve, sebze, çekirdek ve kabuklu yemişte bulunur. Acı bademin çekirdeğinde amigdalin şeklinde yaklaşık 1 mg HCN bulunur. Diğer birçok yiyecekte bulunan siyanür miktarları Çizelge 1'de görülmektedir.

ÇİZELGE 1. Seçilmiş Bitkilerdeki Siyanür Konsantrasyonları

Bitki Türü	Konsantrasyon (mg. kg ⁻¹)
Kassava (tatlı türleri)	
yaprakları	377 – 500
kökleri	158
kurutulmuş kökleri	46–<100
püresi	81
Bambu ucu	Azamî 8000
Lima fasulyesi (Burma)	2100
Badem (acı)	280–2500
Sorgum (filizi, tamamı)	Azamî 2500

Kaynak: Eisler'den (1991) alınmıştır.

Siyanür bileşikleri binlerce bitki türü ve diğer canlı hayat şekilleri tarafından üretilmektedir. Üretimde kullanımla ilişkilendirilmeleri halinde bazı bitkilerde “tehlikeli” olarak nitelendirilecek konsantrasyonlarda siyanür bulunur. Alfaalfa, sorgum ve kassava gibi bitkilerin, çiftlik hayvanlarının ve insanların siyanürden zehirlenmesine neden oldukları bilinmektedir.

Siyanürün doğal olarak bulunan bu şekillerine ilâve olarak, oto egzoz gazı, sigara dumanı, hattâ yollara dökülen tuz ile sofraya tuzu gibi hergün karşılaşılan yapay kaynaklarda da siyanür bileşikleri bulunmaktadır.

BÖLÜM 3

Siyanürün Sanayide Kullanımı

S iyanür, karbon ve azot gibi yaygın elementlerden oluşması ve diğer maddelerle kolayca reaksiyona girmesi nedeniyle kimya sanayisinin temel yapı taşlarından birisini oluşturur.

Yılda, toplam üretiminin %80'ini oluşturan, bir milyon tonu aşkın siyanür nitril, naylon ve akrilik plastikler gibi organik kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Sanayideki diğer önemli uygulamaları elektro kaplama, metal işleme, çelik sertleştirme, fotografik uygulamalar ve sentetik lastik üretimidir.

Demir siyanürler, buzlu yollara serpilmiş tuzun topaklaşmasını önlemek amacıyla kullanılır. Hidrojen siyanür buharı, kemirgenler ve büyük yırtıcı hayvanları imha etmede ve diğer haşere ilaçlarına bağımsızlık kazanmış olan böcek zararlılarını kontrol etmek için bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılır.

Ayrıca siyanür, leatril adı verilen kanser önleyici madde ile nitroprussid adı verilen yüksek kan basıncını düşüren madde olarak ilaç sanayisinde kullanılır. Siyanür bileşikleri aynı zamanda iyileştirici veya yara izini azaltıcı olarak cerrahide kullanılır.

Siyanürün geri kalan %20'si yükleme, boşaltma ve nakliyesi nisbeten kolay ve güvenli bir katı siyanür türü olan sodyum siyanürün imalatında kullanılır. Bunun da %90'ı (bir başka deyişle toplam üretimin %18'i), büyük çoğunluğu altın eldesinde olmak üzere, dünyanın dört bir yanında madencilikte kullanılmaktadır.

ŞEKİL 1. Dünya Siyanür Üretiminin Madencilikte Kullanılan Kısmı



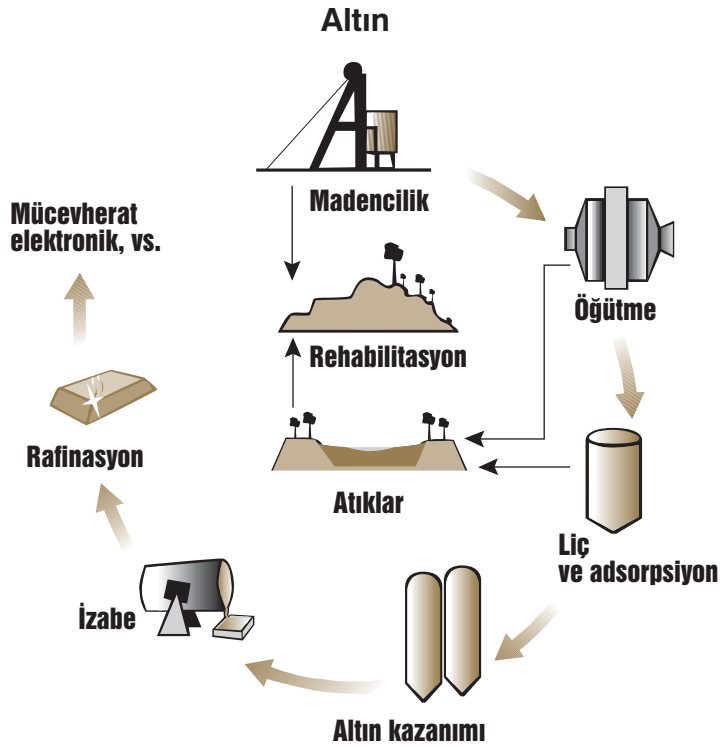
BÖLÜM 4

Altın Üretiminde Siyanür Kullanımı

Altına yüksek değer verilmesinin nedenlerinden birisi, kimyasalların hemen tamamının etkisine olan direncidir. İstisnalardan birisi, kıymetli metali çözüdüren siyanür veya daha doğru bir ifade ile siyanür içeren çözeltidir.

Siyanür, madencilikte, kırma ve graviteyle ayırma gibi basit fiziksel süreçlerde kolayca zenginleştirilemeyen ve özellikle düşük tenörlü cevherlerden altını (ve gümüşü) elde etmede kullanılır.

ŞEKİL 2. Altın Üretimi



Süreç

Su esaslı çözeltiler kullanılarak altın gibi metallerin çıkarılması ve kazanılması işlemine “hidrometalurji” denir. Altın madenciliği işlemlerinde, genellikle %0,01–%0,05 aralığında (milyonda 100–500 kısım) siyanür içeren çok seyreltik sodyum siyanür (NaCN) çözeltileri kullanılmaktadır. Metalin çözündürülmesi sürecine liç işlemi denir. Sodyum siyanür suda çözünür ve hafif oksitleyici bir ortamda cevherde bulunan altını çözer. Böylece oluşan altın içerikli çözeltiye “yükü çözelti” denir. Ardından yükü çözeltiye çinko metali veya aktif karbon ilave edilerek altının çözeltiden alınması sağlanır. Geriye kalan “yüksüz” çözelti (altın yükü alınmış çözelti) yeniden altın elde etmek üzere tesise geri gönderilebileceği gibi atık arıtma tesisine de gönderilebilir. Siyanürlü atık çözeltisinin arıtılması 7. Bölüm’de anlatılmaktadır.

Yeraltından çıkarılan cevherden siyanür kullanarak altın liçi için iki genel yaklaşım bulunmaktadır: Tank liçi ve yağm liçi.

Tank liçi, altın cevherinin kırılarak bir milimetreden küçük tane büyüklüğüne

Aktif karbon kullanılarak siyanür çözeltilerinden altın eldesi geleneksel yöntemdir. Bazı durumlarda altının bir kısmı, graviteyle ayırma teknikleri kullanılarak ince öğütülmüş bu malzemeden saf altın parçacıkları halinde elde edilebilir. Çoğu zaman, siyanür çözeltisi içinde altını çözmek için ince öğütülmüş cevher doğrudan tanklarda liç edilir. Bir geleneksel tesiste tank liçi yoluyla altın kazanıldığında, yüksüz çözelti katı atıkla birlikte bir atık havuzunda toplanır. Burada, çözeltinin bir kısmı çöken katı atıkların gözenekleri içinde kalırken bir kısmı katılardan ayrılarak berrak bir çözelti olarak atıkların üzerinde toplanır ve buradan tesise geri pompalanır. Bu çözeltilerde saf-

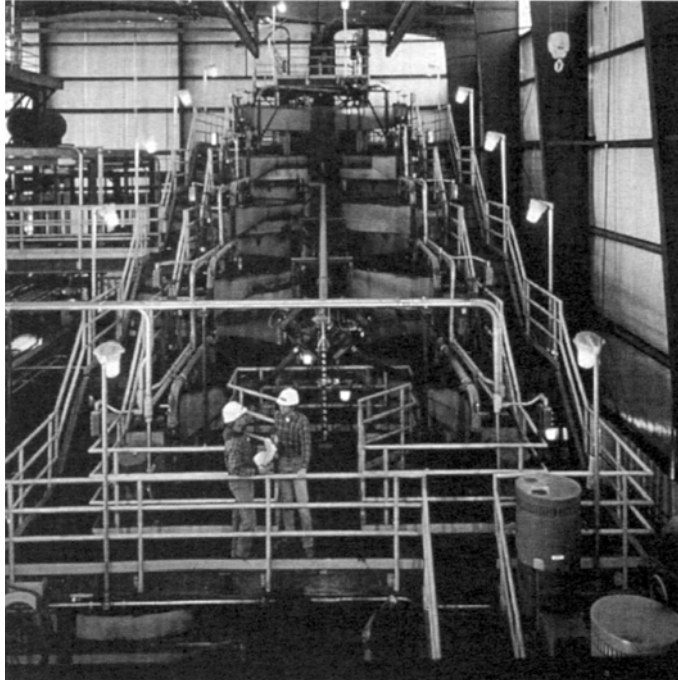


Foto: Minorco'nun izniyle



Foto: Minorco'nun iznleriyle

ABD, Colorado, Pikes Peak'de liç yastığının inşası

sızlıklar biriktiğinden, tesislerin çoğunda, siyanür içeren çözeltilerin bir kısmı bertaraf için arıtma sistemine gönderilir (Bkz. Bölüm 7).

Yakın zamanda meydana gelen teknik gelişmeler bazı altın cevherlerinin yığm liçine imkan vermektedir. Bu yöntemde cevher birkaç santimetre çapında kırıldıktan sonra büyük yığm veya kümeler oluşturulur. Ardından altını çözmek için siyanür çözeltisi damla damla yığm içinden geçirilir. Altını elde etmek için yığm liçi teknolojisi kullanıldığında yüksüz çözelti bir havuzda biriktirilir, genellikle siyanür ilavesi yapılarak liç sistemine geri gönderilir.

Çağdaş altın sektörü, altın liçi kimyasalı olarak hemen hemen istisnasız siyanür kullanmaktadır. Tiyoüre, klorürler ve diğer halojenler gibi bileşik yapıcı kimyasallar cevherlerden altını ayırmada kullanılmışsa da söz konusu kimyasallar genellikle düşük maliyetli olmadıkları gibi kendilerine özgü çevre ve sağlık problemleri bulunmaktadır.

Altın Üretiminde Siyanür Kullanımı

Siyanür bileşikleri daha duraylı ve etkin olup altın kazanımını sağlayacak ilâve agresif kimyasallara ihtiyaç göstermez. Siyanür, bir yüzyılı aşkın bir süredir madencilik sektöründe kullanılmaya gelmiştir (*Bkz. Kutu*). Çağdaş altın tesislerinde artık hiç kullanılmayan daha eski bir altın eldesi tekniği sıvı civa ile yapılan amalgamasyondur. Bazı gelişmekte olan ülkelerde, küçük maden işletmelerinde altınlı bileşikler oluşturmak için amatör madenciler halen sıvı civa kullanmaktadırlar. Bununla birlikte, hem sıvı civanın hem de civanın buharlaştırılması sonucu meydana gelen buharın kötü yönetimi amatör madenciler arasında ciddi sağlık sorunlarına yol açtığından bu uygulama önlenmeye çalışılmaktadır.

Kutu 1. Madencilikte Siyanür Kullanımının Tarihçesi

Her ne kadar siyanürün madencilik sektöründe kullanımına ilişkin çevresel endişeler geçen birkaç yılda kamuoyuna mal olmuşsa da, dünyada cevher zenginleştirme ve onunla ilişkili süreçlerde siyanür kullanımının çok uzun bir geçmişi vardır. 1704 yılında Dippel ve Diesbach "Prusya Mavisini"ni (ferrosiyanür) keşfetti. Altının siyanür çözeltilerindeki çözünürlüğünü konu edinen ilk ve çok iyi belgelenmiş bir çalışma Scheele'nin 1783'de İsveç'te yaptığı çalışmadır. Altın-siyanür kimyası 19 uncu yüzyılın ortalarında İngiltere (Faraday), Almanya, (Elsner) ve Rusya (Elkington ve Bagration)'da aktif bir şekilde çalışıldı. 1840'a gelindiğinde, Elkington, altın ve gümüş elektro kaplamasında potasyum siyanür çözeltilerinin kullanılması için bir patent almıştı. Elsner, siyanür çözeltileri kullanılarak altının çözündürülmesinde oksijenin rolünün belirlenmesinde öncülük etti ve siyanürle altın cevherlerinden altının çıkarılmasını anlatan "Elsner Denklemi" 1846 yılı itibarıyla artık biliniyordu.

McArthur ve Forrest kardeşler tarafından 1887 ve 1888'de alınan patentler, günümüzde kullanılan siyanür sürecini, yani siyanürle çözündürüp çinko ile çökeltme sürecini fiilen ihdas etmiş oldu. Bununla beraber, ABD'de anılan tarihten önce alınmış siyanür liçi (1869'da Rae) ve klorlu çözeltilerden odun kömürü kullanılarak geri kazanım (1880'de Davis) patentleri bulunuyordu. Ticarî ölçekte siyanürle çalışan ilk tesis 1889'da Yeni Zelanda'da Crown Madeninde çalışmaya başladı. 1904 yılına gelindiğinde siyanürleme süreçleri Güney Afrika, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika ve Fransa'da da kullanılıyordu. Bir başka deyişle, 20 nci yüzyılın başında düşük tenörlü cevherlerden altın ayrıştırma için siyanür kullanımı tam anlamıyla yerleşmiş bir zenginleştirme teknolojisi haline gelmiştir.

BÖLÜM 5

Siyanürün Üretimi, Yükleme, Boşaltma ve Nakliyesi

S iyanür, sanayide iki yoldan biriyle elde edilir: akrilik fiberler veya bazı plastiklerin üretimi sırasında yan ürün olarak veya hidrojen siyanür (HCN) üretmek üzere yüksek basınç ve sıcaklıkta doğal gaz ve amonyağın karıştırılması yoluyla. Daha sonra, hidrojen siyanür gazı sodyum hidroksit (NaOH) ile reaksiyona sokularak sodyum siyanür (NaCN) ve su (H₂O) elde edilebilir. Meydana gelen su, süzme ve kurutma yolu ile ayrılarak sodyum siyanür her biri 10 cm² civarında olan katı beyaz briketler haline getirilir.

Katı sodyum siyanür briketleri kontrol altında tutulan sıcaklık ve nemde saklanır. İmâl edildiği yerde briketler nemden ve kırılmaya karşı korunacak şekilde sızdırmaz kaplarda etiketlenmiş olarak ambalajlanır. Ambalajlar, iadesi gerekmeyen kontraplaktan mamul kutular, iadesi gerekmeyen çelik bidonlar veya iadesi gereken çelik sandıklar olabilir. Bazı hallerde, briketler çözündürülerek elde edilen siyanür çözeltisi özel olarak tasarlanmış kamyon tankerlerde sıvı halde nakledilebilir.

Her türlü sodyum siyanür sevkiyatı, sodyum siyanürün toksikliği ve kimyası, kaza halinde talimatlar; acil durumda veya ilave bilgi gerektiğinde imalatçıdan yardım istenecek telefon numaralarını da içeren Malzeme Güvenliği Bilgi Sayfaları (MGBS) ile birlikte yapılır. Tüm sevkiyatlar ambar sayımı esasına göre yapılarak, üreticiden sevk edilen malzeme miktarı teslimat kayıtları ile karşılaştırılarak sürekli olarak uygun bir gözetim sağlanır.

Katı, sıvı veya gaz halindeki siyanürün dünyada başlıca üç üreticisi vardır: Amerika Birleşik Devletleri'nde Dupont, İngiltere'de ICI ve Almanya'da Degussa Corporation. Yıllık toplam dünya üretimi yaklaşık 1,4 milyon ton HCN'dir.¹ Daha önce belirtildiği gibi, toplam HCN üretiminin %20'si sodyum siyanür (NaCN) eldesinde ve geri kalan %80'i kimyasal maddelerin üretimi gibi çok sayıda sanayi faaliyetinde kullanılmaktadır. Sodyum siyanür ABD'de FMC Corporation tarafından da üretilmektedir.

Sözü edilen önde gelen üç üretici, ürünleri için sorumluluklarının bilincinde olan önemli uluslararası kimyasal madde imalâtçılarıdır. Örneğin, resmî şirket politikaları, siyanürün, sadece işçilerini, halkı ve çevreyi koruma kabiliyeti ve kararlılığı olan

¹ 1996 rakamları. Geçen on yılda madencilik sektöründeki kullanımı esas itibarıyla sabit kalmıştır.



Foto: DuPont'un izniyle

Sodyum siyanür içeren bidonların istiflenmesi

firmalara satılmasını sağlamaktadır. Ayrıca imalatçılar, sadece kendi emniyet standartlarına eşdeğer nakliye güvenliği geçmiş olan nakliyeciler ile anlaşmaktadırlar. İmalâtçılar, eğitim, tesis tasarımı ve benzer güvenlik önlemleri hususlarında müşteriler ve diğerleriyle işbirliği yapmak üzere güvenlik ve nakliye uzmanları bulundurmaktadır.

Madencilik şirketleri siyanürü kuru, serin, karanlık ve havalandırması olan güvenli alanlarda depolamaktadırlar. Ambarlarda, siyanür kutuları orijinal ambalajında, genellikle betondan yapılmış su geçirmez ve ihtimal dışı olmakla beraber dökülme halinde yeterli derecede kontrol altında tutulacak şekilde tabana oturtulmuş paletler üzerinde muhafaza edilir. Tipi nasıl olursa olsun, boş kutular yıkanır ve yıkama suyu (kutularda kalmış olabilecek az miktardaki siyanürü değerlendirmek amacıyla) altın kazanma tesisinde kullanılır veya kontrol edilen ve izin verilen şartlarda ortama deşarj edilmeden önce atık su arıtma sisteminde arıtılır.

Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi

Madencilik şirketleri, siyanürle çalışan veya onun yakınında bulunan bütün personeli özel eğitim programlarına tâbi tutmaktadır. Şirketlerin ayrıca, kalifiye sanayi hijyen uzmanları tarafından hazırlanıp proje güvenlik görevlisi gözetiminde uygulanan malzeme yükleme, boşaltma ve nakliyesi ile güvenlik plânları da bulunmaktadır. Söz konusu sağlık ve güvenlik plânları, çalışanlara, maden sahasına gelişinden zenginleştirme süreci sonuna kadar siyanürün kullanımı ile yükleme, boşaltma ve nakliyesi hususlarında sorumluluk ve kontrol görevi yüklemektedir. Madenlerde siyanürle ilgili işlemlerin yapıldığı yerlerde saha gaz monitörleri, uygun koruyucu giysiler, kendi kendine yeterli nefes alma aparatı ile duş ve yüz yıkama imkânları ile donatılmış ilk yardım istasyonları kullanılmaktadır. Şirketlerin sanayi hijyen programları, işçi güvenliğini sağlamak üzere her yıl yapılan eğitim programlarını tüm MGBS'lere erişimi ve havanın izlenmesi ile tüm sağlık ve güvenlik bilgileri ve maden sahasındaki kazaları belgelendirmek için gerekli işlemleri kapsamaktadır.



Foto: Degussa Corporation'ın izniyle

Siyanür üreticileri, altın madenlerine işbaşında yardım ve güvenlik eğitimi sağlarlar.

Altın madenciliği işletmelerinde çağdaş sanayi hijyen programları, maden sahalarında kazara meydana gelen siyanür zehirlenmelerinin en aza indirilmesinde etkin olmuştur. Gerçekten de Avustralya, Kanada, Yeni Zelanda ve Amerika Birleşik Devletleri sanayi kaza kayıtlarının incelenmesi, geçen 100 yıl içinde siyanürden kaynaklanan kaza sonucu ölüm sayısının sadece üç olduğunu göstermektedir. Bunlardan birincisi doğrudan altın eldesi ile ilişkili değildir; ikincisi erişime kapalı bir alana girilmesinden –bir ölümcül hata– kaynaklanmış ve üçüncüsü ise kesin bir biçimde siyanüre bağlanmamıştır.²

² Her iki olay da Ontario Eyaleti Çalışma Bakanlığı'nın 107 yıllık ölüm veri tabanında tespit edilmiştir. 1952'de MacLeod-Cockshutt Altın Madeninde bir demirci ustası ergimiş siyanür patlaması sonucu siyanür zehirlenmesinden ölmüştü; demirci bir anahtar sertleştirmek için sodyum siyanür banyosu hazırlıyordu. 1961'de, Hallnor Madeni Zenginleştirme Tesisinde bir işçi, yanlışlıkla attığı siyanür pullarını çıkarmak için girdiği bir karıştırıcıda hidrosiyanik gazından zehirlenerek öldü. 1982'de, Arizona'da bir altın işletmesinde çalışan bir işçi işyerinde yığılıp kaldı ve beş gün sonra öldü. Siyanürden şüphelenildi ancak işçinin siyanüre nasıl maruz kaldığı konusu açıklık kazanamadı.

BÖLÜM 6

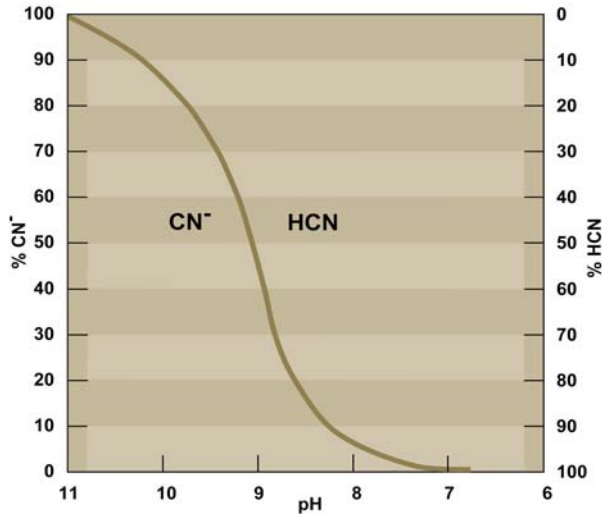
Çözeltilerde Siyanür

Hidrometalurjik süreçlerle altın elde edildikten sonra, atıksu veya proses çözeltisinde siyanür bileşikleri esas itibariyle üç şekilde bulunur: Serbest siyanür, zayıf siyanür bileşikleri ve kuvvetli siyanür bileşikleri. Siyanürün bu üç haldeki bileşikleri “toplam siyanürü” oluşturur. Bu üç tür siyanürün kimyasının kavranması, sağlık ve çevre bakımından nasıl davranacaklarını anlamayı sağlar.

Serbest Siyanür

“Serbest Siyanür”, hem proses suyunda çözünmüş olarak bulunan siyanür iyonunu (CN^-) hem de çözeltide oluşan hidrojen siyanürü (HCN) tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Katı sodyum siyanür briketleri suda çözünerek sodyum iyonu ile siyanür anyonu (CN^-) oluşturur. Siyanür anyonu daha sonra hidrojen iyonu ile birleşerek HCN molekülünü oluşturur. Proses suyundaki hidrojen iyonunun konsantrasyonu bilinen pH parametresi ile gösterilir.⁵ Bol miktarda hidrojen iyonu bulunduğu zaman (yani pH değeri 8 veya daha az) neredeyse tüm serbest siyanür HCN halinde bulunur. Bu HCN ise daha sonra buharlaşarak havaya karışabilir. pH değeri 10,5’den fazla olduğunda, çok az hidrojen iyonu bulunacağından serbest siyanürün hemen tamamı CN^- olarak bulunur. Normal sıcaklık ve basınç koşullarında HCN ve CN^- konsantrasyonları yaklaşık 9,4 pH değerinde birbirine eşit olur.

ŞEKİL 3. pH’ya bağlı olarak CN^-/HCN Dengesi

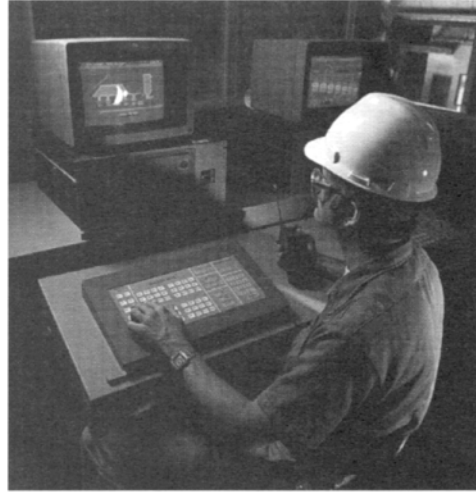


Kaynak: Scott ve Ingles, 1981.

⁵ Bir çözeltinin pH’sı 7 ise çözeltinin nötr olduğu söylenir. pH’sı 7’den az olan çözeltiler asidik, 7’den fazla olanlar alkali olarak tanımlanır.

Bu serbest siyanür şekilleri, en toksik siyanür olmaları nedeniyle önemlidir. Bununla beraber, gerek doğal azaltma mekanizmaları ve gerekse mühendislik sonucu oluşturulan arıtma süreçleri ile çözüldüğü kadar kolayca uzaklaştırılabilirler. Su, toprak ve havadaki siyanür konsantrasyonlarını etkileyen biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçler son yirmi yılda geniş bir biçimde etüdü edilmiş, dolayısıyla çevredeki davranışı oldukça iyi anlaşılmıştır.

Serbest siyanür konsantrasyonunu etkileyen en önemli reaksiyonlardan birisi HCN'nin buharlaşarak pek çok gazda rastlandığı gibi sudan ayrılarak havaya karışmasıdır. Yüzeysel sularının pH'sının genellikle 8 civarında olması nedeniyle HCN buharlaşarak dağıldığından serbest siyanür pek çok yüzeysel suda kalıcı değildir. HCN'nin buharlaşması ve ardından havada iyi huylu bileşiklere dönüşmesi, madenlerdeki atık ve proses sularında serbest siyanürün kontrolü için doğal bir mekanizma oluşturmaları nedeniyle önemlidir.



Barrick Gold Corporation

Doğal prosesler, tek başına, altın üretim tesislerindeki proses havuzları ve atık havuzları gibi atmosfere açık alanlarda bulunan çözümlerdeki serbest siyanür konsantrasyonunu çok düşük değerlere, genellikle mevzuatla belirlenen seviyelerin altına ve hatta tespit limitlerinin altına düşürebilir.

Bununla beraber işletmeciler, altın tesislerinde buharlaşmayı önlemek için çözeltinin pH'sını 10,5 dolayında tutarlar. Bu, altının kazanıldığı sistemde varlığına ihtiyaç duyulan siyanürü tutar ve aynı zamanda işçilerin, kapalı mekanlarda, yüksek HCN gazı konsantrasyonu solumaya maruz kalma riskini bertaraf eder.

Siyanür Bileşikleri

Her ne kadar siyanürlü çözümler altınla reaksiyona girdikleri için madencilikte kullanılıyorsa da, siyanür diğer metallerle de reaksiyona girer. Altın cevherleri, hemen daima, demir, bakır, çinko, nikel ve gümüş gibi başka metaller içerdiği gibi arsenik gibi diğer elementleri de içerir. Pek çok cevher yatağında diğer metallerin konsantrasyonu genellikle altın konsantrasyonunu birkaç misli aşar. Örneğin, siyanür içine elverişli düşük

ÇİZELGE 2. Yüksüz Çözeltilerin Analizi⁴

	KONSANTRASYON ARALIĞI litrede miligram ⁵ (mg.L ⁻¹)
Toplam Siyanür	50 – 2000
Arsenik	0 – 115
Bakır	0,1 – 300
Demir	0,1 – 100
Kurşun	0 – 0,1
Molibden	0 – 4,7
Nikel	0,3 – 35
Çinko	13 – 740

tenörlü altın cevheri tonda 0,5 ilâ 1 gram (milyonda 0,5 ilâ 1 kısım [ppm]) altın içerebilir; buna karşılık, yeryüzü kabuğunda ortalama demir konsantrasyonu yaklaşık % 3,5'tur (35 000 ppm). Bakır, çinko ve nikel gibi metaller ise milyonda on ilâ milyonda bin kısım olarak ifade edilen konsantrasyonlarda bulunabilirler. Diğer metalleri içeren cevherler siyanürlü çözeltilerle liç işlemine tâbi tutulduğunda bunların önemli miktarlarda çözünebileceği Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Elde edilen proses çözeltileri ve atık suyun kimyasal analizleri çözeltide bulunan siyanürün çoğunluğunun küçük miktarlardaki altın ve gümüş dışındaki metallerle kimyasal olarak bağlandığını göstermektedir. Elementlerin bir araya gelerek çözeltiler içinde çözünebilir türler oluşturmasını kimyagerler “bileşikler” olarak anıyorlar. Bileşiklerin bileşenleri arasında geniş bir kimyasal ve fiziksel etkileşim bulunmaktadır. Bazı bileşikler son derece duraylı iken bazıları kolayca imha edilebilmektedir. Analitik kimyacılar siyanürün farklı metallerle oluşturduğu bileşiklerin nispi duraylılığını büyük bir kesinlikle tanımlayabilmektedir. Siyanürün tipi ve miktarının tespit edilmesi her bir siyanür kullanımını için önemlidir. Özellikle etkin bir arıtma yönteminin seçimini gerçekleştirmek açısından farklı siyanür bileşikleri arasında doğruluk ve kesinlikle ayırım yapabilmek önemlidir.

4 Scott, J.S, *Status of Gold Mill Waste Effluent Treatment*, CANMET'e verilen rapor, Natural Resources Canada, Mart 1995.

5 Çevresel incelemelerde, çözeltilerdeki siyanür veya çözünen diğer maddelerin konsantrasyonları genellikle birim hacmin kütlesi veya bazen boyutsuz birim olarak “milyonda bir kısım” (ppm) olarak verilir. Litrede miligram (mg.L⁻¹) cinsinden konsantrasyon, metreküpde gram (g.m⁻³) eşdeğeridir ve bunların her ikisi de ppm cinsinden konsantrasyona eşittir (zira çözeltilerin yoğunluğu genellikle litrede bir kilogramdır [kg.L⁻¹]).

Zayıf ve Kuvvetli Siyanür Bileşikleri

Geleneksel olarak siyanür kimyagerleri “zayıf” ile “kuvvetli” siyanür bileşikleri arasında fark gözetirler. Genellikle “zayıf asitte çözünür” veya WAD siyanür olarak anılan zayıf siyanür bileşikleri, çözeltide ayrılarak çevresel açıdan önemli sayılacak serbest siyanür konsantrasyonları oluştururlar. Zayıf siyanür bileşikleri arasında kadmiyum, bakır, nikel, gümüş ve çinko siyanür bileşikleri belirtilebilir. Bu bileşiklerin ayrışma derecesi büyük ölçüde çözeltilinin pH’sına bağlıdır.

Oysa, normal kimyasal ve fiziksel şartlar altında, kuvvetli siyanür bileşikleri WAD siyanüre oranla çok daha yavaş çözünürler. Siyanürün altın, kobalt ve demir ile yaptığı bileşikler kuvvetli ve çözeltide duraylıdır. Altın siyanür bileşiğinin duraylı oluşu, cevherlerden altının eldesinde siyanür kullanılmasının ana sebebidir. Altın bir kez siyanüre bağlanmış olarak çözeltiye geçince, çözeltiden ayrılması amacıyla proses şartları değiştirilene kadar siyanürle bileşik halinde kalır. Kobalt eser miktarlarda bulunmasına karşın demir hemen hemen istisnasız tüm kayaçlarda bol miktarda bulunur. Dolayısıyla pek çok madencilik projelerinde kuvvetli siyanür bileşikleri esas itibarıyla demir siyanürlerdir.

Bileşiklerin ayrılarak çözeltiye serbest siyanür bırakması, siyanür bileşiğinin konsantrasyonu, sıcaklık, çözeltilinin pH’sı, başlangıçtaki gün ışığının özellikle mor ötesi radyasyonun şiddeti gibi diğer çeşitli faktörlere bağlıdır.

Siyanürün Analizi ve İzlenmesi

Siyanür genellikle iki analiz yönteminden birisi ile tayin edilir: Toplam siyanür veya WAD siyanür analizi. Birincisi, çözeltide serbest siyanür ile daha duraylı ve toksik olmayan demir siyanürler gibi metallere bağlı siyanürleri kapsayan toplam siyanürü tayin etmede kullanılır. WAD siyanürü tayin için kullanılan analitik yöntem, demir siyanür hariç serbest ve diğer siyanür bileşikleri için kullanılır. Daha eski, fakat WAD siyanür analizine alternatif olarak halen kullanılmakta olan yöntem “klorlamaya yatkın siyanür” yöntemidir.

Siyanür analizleri, işletmenin kontrolü, mevzuata uygunluğu ve toksiklik değerlendirmesi ile tehlikeli maddelerin yükleme, boşaltma ve nakliyesi hususlarında halka bilgi verilmesi için gereklidir. Altın eldesi işlemi sırasında ve sonrasında siyanürün izlenmesi sağlık ve çevrenin korunması ve iyi bir işletmecilik için şarttır. Karar verme için gerekli sağlıklı bilginin sağlanması için özenle hazırlanmış numune alma şartnameleri ve analiz prosedürleri gereklidir. Bu işe, iyi tasarlanmış ve iyi yönetilen sistemler ile çalışan, eğitilmiş insan gücünün mükemmel planlama ve performansını gerektirir.

BÖLÜM 7

Çevredeki Siyanür Konsantrasyonlarının Bertaraf Edilmesi

Bölüm 4’de açıklandığı gibi, altın elde edildikten sonra, çözeltide altın bulunmakla beraber bir miktar siyanür bulunur. İster doğal çevrede ister mühendislik sonucu kurulan tesislerde olsun çözeltide bulunan siyanür konsantrasyonunun düşürülmesine “bertaraf etme” denir. Serbest siyanürün çözeltideki konsantrasyonunun düşmesine neden olan HCN’nin buharlaşması en iyi bilinen doğal azaltma sürecidir. Şekil 4 siyanürün bulunuş şekilleri ile onları kontrol eden süreçler arasındaki ilişkiyi şematik olarak göstermektedir.

Geçen yirmi yıl zarfında, kimya ve madencilik sektörleri, atıkların halk sağlığına veya çereye zarar vermesini önleyecek biçimde siyanürlü atık çözeltilerin işlenmesinde önemli gelişmeler kaydettiler. İki teknoloji, genellikle birlikte kullanılmaktadır: Arıtma ve geri dönüştürme.

Siyanürlü Çözeltinin Arıtılması ve Yeniden Kullanılması

Arıtma: Siyanürlü çözeltinin arıtılmasının dört genel şekli vardır:

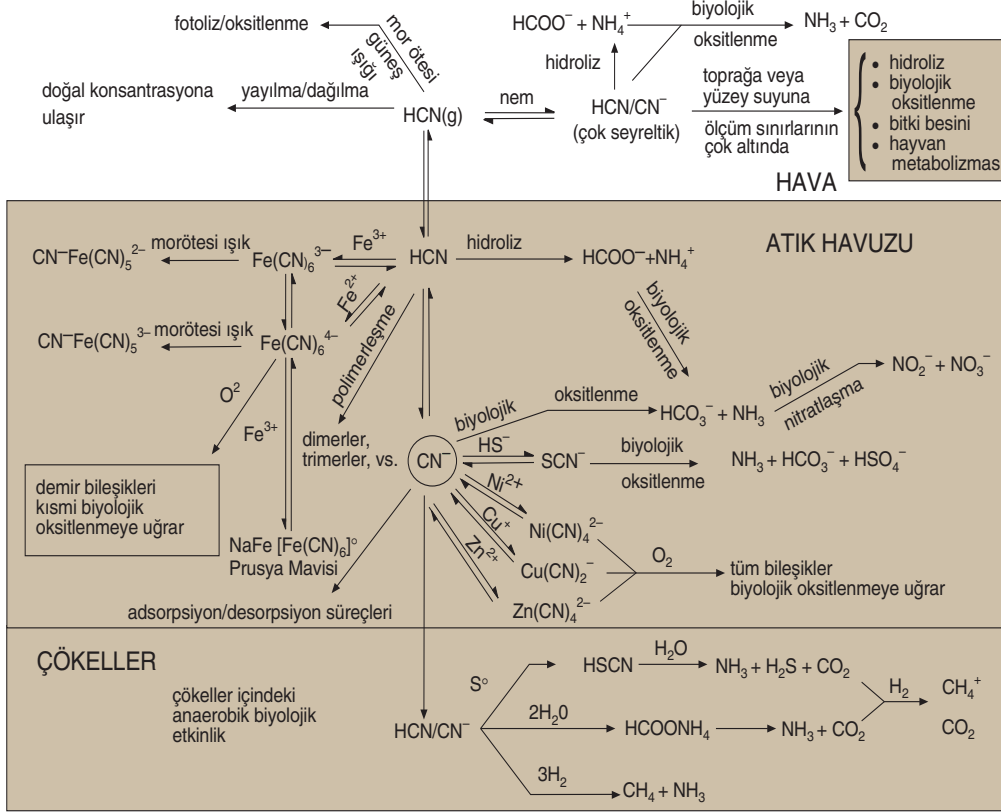
- Doğal bozunma
- Kimyasal oksidasyon
- Çökeltme
- Biyo bozunma

Ayrıca çeşitli teknolojiler, siyanürün geri dönüştürülerek yeniden kullanımına imkân tanımaktadır.

Doğal Bozunma: Temel doğal bozunma mekanizması buharlaşma ve ardından atmosferde daha az toksik kimyasal maddelere dönüşümlerdir. Biyolojik oksitlenme, çökeltme ve güneş ışınlarının etkileri gibi diğer faktörler de siyanürün bozunmasına katkıda bulunmaktadır.

Siyanür türleri, atık havuzu seddesindeki toprakta, kil astarda veya yeraltı suyu akış

ŞEKİL 4. Siyanür Döngüsü



Kaynak: Smith ve Mudder, 1991.

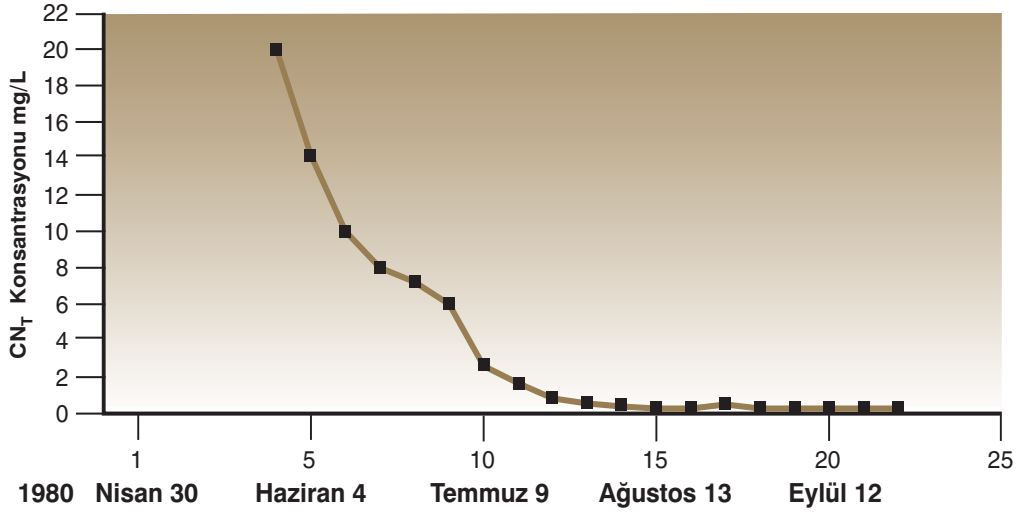
Environment Australia'nun izinleriyle

yolu boyunca bulunan organik karbon kırıntıları veya minerallerin yüzeylerine adsorbe olabilirler. Toprakta, çeşitli aerobik veya anaerobik reaksiyonlarla bakteriler siyanürü özümserler. Bazı hallerde, söz konusu doğal bozunma süreçlerinin kombinasyonu siyanür içeren çözeltilerin deşarjında mevzuatta öngörülen şartların karşılanması için yeterli olabilir.

Atık havuzlarında büyük yüzey alanı WAD siyanürün bozunmasını kolaylaştırır. Şekil 5, başlangıç konsantrasyonu litrede 20 miligram olan toplam siyanürün (CN_T) yarısının doğal olarak üç haftadan kısa bir zamanda bozunduğu tipik bir durumu göstermektedir. CN_T yaklaşık 100 gün zarfında hemen tamamen yok olmuştur.

Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi

ŞEKİL 5. Sığ Bir Havuzda Siyanür Bozunmasına Örnek



Kaynak: Schmidt ve diğ., 1981'den uyarlanmıştır.

Fiili bozunma hızları, o mevkide olması ihtimal dahilindeki çözeltilerini ve doğal bozunma süreçlerini olabildiğince taklit ederek her bir sahaya özgü olarak test çalışması ile tayin edilmelidir.

Çizelge 3, dünyanın çeşitli yerlerinden bazı altın madenlerindeki doğal bozunma sistemlerine ait verileri derlemektedir. Bu çizelgedeki değerler, doğal bozunmanın çözeltilerin siyanür konsantrasyonlarını düşürmedeki gücünü göstermektedir.

ÇİZELGE 3. Atık Havuzlarında Siyanürün Doğal Bozunması

MADEN	Atık sistemine giren CN konsantrasyonu (mg.L ⁻¹)	Atık sisteminden deşarj edilen CN konsantrasyonu (mg.L ⁻¹)
Lupin, NWT, Kanada ^(a)	184	0,17
Holt McDermott, Ontario, Kanada ^(a)	74,8	0,02
Cannon, Washington, ABD ^(b)	284	< 0,05
Ridgeway, South Carolina, ABD ^(c)	480	0,09
Golden Cross, Yeni Zelanda ^(d)	6,8 (WAD CN)	0,33 (WAD CN)

Kaynaklar: a) Scott, 1993; b) Smith, Moore ve Caldwell, 1985; c) Smith, 1987; d) Smith, 1994.

Çevredeki Siyanür Konsantrasyonlarının Azaltılması

Siyanürün arıtılması için **Kimyasal Oksitlenme** prosesleri, SO₂/HAVA (Kanada'nın INCO şirketi tarafından geliştirilmiş) ile H₂O₂ (hidrojen peroksit) (Degussa tarafından geliştirilmiş) gibi prosesleri içerirler. Kimyasal oksitlenmenin daha eski bir alternatifi olan alkali klorlama prosesi günümüzde nadiren kullanılmaktadır.

SO₂/HAVA prosesinde serbest ve WAD siyanür oksitlenir, demir siyanür çözünmeyen katı halinde çökler. Proses, çözeltilere veya çamurlara uygulanabilir ve reaksiyon çok süratlidir. Prosesi kullanmak için lisans alma zarureti, proses tesisini inşa etmenin maliyeti, sistemi optimize etmek için ampirik olarak deneme zorunluluğu ve siyanürün arayan ürünlerini oksitleyememesi prosesin potansiyel sınırlamalarıdır.

Kuvvetli bir oksitleyici olan hidrojen peroksit, serbest ve WAD siyanürü amonyak ve karbonata oksitler. Demir siyanürler peroksitlerle oksitlenmezler ancak suda çözünmeyen duraylı katı olarak çöklerler. Bazen, çevresel mevzuata uyum sağlamak için çözeltilerin bakır konsantrasyonunu kontrol etmek için kimyasal ilâvesi gerekebilir. Katıların bulunduğu ortamda hidrojen peroksit ihtiyacı düzensiz olduğundan peroksit sistemi çamurların artımına uygun değildir.

Her iki kimyasal oksitleme metodu da siyanür konsantrasyonlarını sıkı deşarj standartlarını karşılayacak seviyelere düşürecek kapasitededir. Her iki proses için de nihâî tesis tasarımından önce sahaya özgü malzemelerin temsili numunelerinin deneye tâbi tutulması zorunludur. Sülfürik asitle hidrojen peroksit karışımını kullanarak H₂SO₃ oluşturan Caro asiti de çözeltildeki siyanürü bozandıran bir oksitleyici olarak kullanılır.

Demir gibi bileşik yapıcılarının ilâvesiyle duraylı siyanürlerin **çökmesi** sağlanabilir. Bu işlem serbest siyanür konsantrasyonunu azalttığı gibi, ortamda bulunabilecek yüksek orandaki diğer metallerin kontrolünde etkindir. Demir siyanürler, çözeltildeki diğer kimyasal maddelerle reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir düzine tuzdan oluşan katı çökelti oluşturarak siyanürü çözeltilden uzaklaştırır. Proses çözeltilindeki siyanürün bir kısmı sistemdeki diğer kimyasal bileşiklerle reaksiyona girerek çok daha az toksik olan amonyak, nitrat ve karbon dioksit gibi bileşikler oluşturur.

Siyanürün **biyolojik bozunması** Amerika Birleşik Devletlerinde Homestake Madencilik Şirketi ve İngiltere'de ICI'nın Bioproducts Şirketinin kullandığı gibi su arıtma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Güney Dakota'da Lead'de Homestake Madeninde çevreye deşarj kriterlerini on yılı aşkın bir süredir yerine getiren bir biyolojik siyanür arıtma sistemi kullanılmaktadır. Anaerobik organizmalar siyanürü arıtmada litrede birkaç miligram konsantrasyona kadar etkin olmakla birlikte, siyanürün bozunması için aerobik şartlar anaerobik şartlara kıyasla çok daha uygundur. Uygulamada hem aktif hem de pasif biyolojik arıtma sistemleri inşa edilmiştir; bu sistemler aerobik veya anaerobik mikro organizmaları kullanarak siyanürü bertaraf etmektedirler.

Homestake’de, altın tesisinin yüksüz çözeltisi, içinde bakteri bulanak reaksiyon tanklarına gönderilir. Söz konusu bakteriler, havadan aldıkları oksijenle siyanür bileşiklerini bozundurarak nitratlar, bikarbonatlar ve sülfatlar oluştururlar. Bu mikrobiyal proses, WAD siyanür türleri ile siyanür oksitlenmesinin ara yan ürünlerini oksitleyecek kapasiteye sahiptir.

Biyolojik arıtma prosesinin avantajları, basit tasarımı ve işletme proses kontrolü, düşük kimyasal maliyeti ve her türlü siyanür ve onun yan ürününü arıtma kapasitesinin bulunmasıdır. Biyolojik arıtmanın olası kısıtları arasında düşük sıcaklıklarda ve çok yüksek siyanür konsantrasyonlarında performans düşüklüğü sayılabilir.

Geri Dönüşüm: Her ne kadar siyanür yönetimi teknolojileri tek geçişli sistemlerde siyanürün imhası üzerine yoğunlaşmışsa da siyanürün geri dönüşümü ve yeniden kullanımı mümkündür. Böylece kullanılan toplam siyanür miktarının en aza indirilmesi dolayısıyla bazı madenlerde işletme giderlerinin düşmesi söz konusudur. Geri dönüşüm, atık çözeltilerindeki siyanür konsantrasyonunu düşürmekte ve siyanür imhasının maliyetini azaltmaktadır.

Siyanürün geri dönüşümü ve geri kazanımı 1950’lerden beri özellikle Flin Flon (Manitoba, Kanada), Pachuca (Hidalgo, Meksika) ve Golconda Minerals (Tasmanya, Avustralya) madenlerinde uygulanagelmıştır. Temel proses üç kademededen oluşur: pH kontrolü, son derece sıkı kontrol edilen şartlarda buharlaşma ve salıverilmiş olan siyanürün geri kazanımı. Yakın geçmişte mühendislikte meydana gelen gelişmeler, geri dönüşüm hadisesini eskiye nazaran daha cazip bir hale getirmiş ve geçen on yıl zarfında siyanürün geri dönüşümünün patenti alınmış, Cyanisorb adı verilen bir ticarî prosesle pulplerin arıtılması uygulanmaya başlanmıştır. Söz konusu proses Golden Cross Madeni (Waikato, Yeni Zelanda) ve Delamar Gümüş Madeni (Idaho, ABD)’de uygulanmaktadır. Kısa bir süre önce, Brezilya ve Arjantin’de iki yeni Cyanisorb prosesini uygulayan tesis işletmeye alınmıştır.

Siyanür bileşiklerini çözeltiden ayırarak Vitrokele adı verilen polistiren reçine boncukları üzerine absorbe edildiği “Cyanosava Prosesi”nin arıtma yaklaşımının denenmesi de dahil olmak üzere, siyanürü geri kazanma amacıyla araştırmalar devam etmektedir. Bu prosesin değişik şekilleri çözeltilere veya pulplere uygulanarak siyanür ve metaller geri kazanılabilir. Geri kazanılan siyanür daha sonra kullanılmak üzere altın tesisine geri gönderilir. Söz konusu prosesin Kanada, Avustralya ve ABD’de başarılı denemeleri yapılmışsa da henüz ticarî bir tesis bulunmamakta, araştırma devam etmektedir.

BÖLÜM 8

Siyanürün Risklerinin Ölçülmesi ve Yönetimi

Riskin kapsamlı olarak ele alınması bazen örtüşen üç ana faaliyetten oluşur: Risk değerlendirme, risk yönetimi ve risk iletişimi. Risk değerlendirme ile başlanarak her üç faaliyet bu bölüm ve takip eden bölümlerde ele alınacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi, sodyum siyanür ve onun bazı türevlerinin zehirli ve siyanür bileşiklerinin genel olarak tehlikeli olarak sınıflandırıldığı bilinmektedir. Gerçekten modern toplum, ilgili risklerin değerlendirilmesi ve yönetilmesi becerisi sayesinde, potansiyel olarak tehlikeli olan pek çok maddeyi güvenli bir şekilde kullanmaktadır. 1970'lerden beri, tehlikeli prosesler ve malzemelerle ilgili risklerin sistematik bir "risk değerlendirme"si yaygın bir uygulama olmuştur. Risk değerlendirme ile ilgili kavramların çoğu sigorta sektörü tarafından geliştirilen, daha genel metodlardan kaynaklanmıştır. Bu kavramların teorik temeli ihtimaller hesabına ve matematiksel istatistiğe dayanmaktadır. Çevresel risk değerlendirmesine taşınan anahtar kavramlardan birisi tanımlanmış bir sonucun gerçekleşme ihtimali olarak yapılan temel risk tarifidir.

Risk değerlendirme dört kısımdan oluşur:

1. Tehlikenin tariflenmesi, kimyasal, fiziksel ve biyolojik etkenlerin doğalarındaki insanlara veya çevreye olumsuz etki yapma kapasitesinin veya potansiyelinin tayini olarak tanımlanır. Fiziksel tehlikelere yanma, patlama, tutuşma ve aşınma dahildir. Sağlık tehlikeleri akut (deri veya göz tahrişi, ölümcül etkiler, oksijensizlikten boğulma gibi) veya kronik (kansere sebebiyet, duyarlılık, üreme organları üzerine etkiler, sinir sistemi üzerine etkiler organlar üzerine etkiler gibi) sınıflara ayrılır. Ekolojik tehlikeler, temsilî türlerin ölümü (akut) ile üreme ve büyümenin gerilemesini (kronik) kapsar.

Tehlikenin tariflenmesi, risk değerlendirmesinin sadece ilk adımıdır. Risk yönetimi kararlarının dayandırılacağı uygun bir temel değildir. Bununla beraber, tehlike tarifi, genellikle kimyasallar ve diğer ürünler piyasaya sunulmadan önce uygulanan kritik bir adımdır. İnsan sağlığı ve çevre söz konusu olduğunda toksiklik/ekotoksiklik test sonuçları ile maraz verileri tehlikeyi tespit için kullanılır.

2. Doza tepkinin değerlendirilmesi, uygulanan veya bünyede mevcut dozun büyüklüğü ile spesifik bir biyolojik tepki arasındaki bağlantının tespit edilmesidir. Doz, standard laboratuvar şartlarında toksikoloji deneyleri için kullanılan bir organizmaya verilen veya

organizma tarafından ağız, solunum veya absorpsiyon yolu ile alınan maddenin toplam miktarıdır. Toksikliğin uç noktaları (veya doz tepkisi) ölçülen veya gözlemlenen olayla, denek gruplarından (veya topluluk) tepki gösterenlerin yüzdesi veya bir toplulukta tepki oluşumunun ihtimali ile ifade edilir.

3. Maruziyetin değerlendirilmesi tehlikenin duyarlı bir alıcıya ulaşabileceği yolların değerlendirilmesidir. Alıcı tek bir kişi, gerçek veya sanal bir topluluk veya balık veya yaban ördeği gibi ekolojik alıcılar olabilir. Maruziyet değerlendirme alıcının tehlikeye nasıl ve hangi şartlar altında maruz kalabileceğini tayin eder. Değerlendirme aynı zamanda tehlikeli maddenin miktarı ile maruziyet süresini de tespit edebilir.

4. Riskin nitelendirilmesi, karar vericilere, mevzuatı hazırlayanlara, medyaya ve halka faydalı olacak şekilde tehlikenin tespiti, doz-tepki değerlendirmesi ve maruziyet değerlendirmesinden elde edilen bilgilerin topyekûn risk sonucu olarak özetlenmesidir. Risk nitelendirmesi, belirli bir maruziyetin potansiyel tehlikelerinin nicel ve nitel anlatımını verir. Nicel risk nitelendirmesi, bir maddenin insanlara veya çevreye oluşturduğu riskin büyüklüğünün sayısal bir tahminini verir. Bu risk bireysel veya topluluk riski olarak ifade edilebilir. Nitel risk nitelendirmesi, bir maddeye maruziyetin olumsuz etkisi veya etkilerini sözel olarak aktarır ve bu etkilerin delillerine ait bazı ölçüler verir.⁶

Siyanürün Sıhî ve Çevresel Etkileri

Komple risk değerlendirmesi belirli bir sahaya özgü şartların ayrıntılı niteliklerini (spesifikasyon) gerektirir. Siyanürün kullanımı o kadar çok değişmektedir ki siyanür konusunda riskin anlamlı olarak değerlendirilmesi ancak belirli bir sahadaki özel işletme prosedürleri dikkate alındığında değerlendirilebilir. Bununla beraber siyanürün ve ona maruziyetin oluşturduğu tehlikelerin anlatılması mümkündür.

Siyanürün İnsanlar Üzerindeki Toksik Etkisi ve Marazları

Yeterince yüksek dozaja maruz bırakıldığında, siyanür bir şahsı birkaç dakika içinde öldürecek kapasitede hızla tesir edebilen bir zehirdir. İnsanlar siyanüre solunum, yutma veya deri yoluyla absorpsiyonla maruz kalabilirler. Siyanür, dokuda hipoksiya veya “syanosis” (derinin mavimsi renk alması) oluşturarak hücrelerin oksijen kullanımını önler. Solunum sistemi hücreleri oksijenle besleyemez ve tedbir alınmazsa hızlı ve derin solunumlar ve ardından katılma, şuur kaybı ve boğulma ile sonuçlanır. En yaygın antidotu amil nitrit olup ağızdan veya damardan alınabilir.

⁶ George M.Gray, Jeffery, N.G. ve Marchant G.E., *Risk Assessment and Risk Management of Non-Ferrous Metals: Realizing the Benefits and Managing the Risks*, International Council on Metals and the Environment, 1997.

Günlük yaşamda siyanüre maruziyetin pek çok kaynağı (otomobil egzoz gazı, tütün dumanı, yangınlar gibi) olmakla beraber bünye böylesi küçük miktarlardaki siyanürü daha az toksik bir bileşik olan tiyosyanata dönüştürüp ardından dışarı attığından siyanür dokularda birikmemektedir. Siyanürün kansere, kusurlu doğumlara veya olumsuz olarak etkilenmiş üremeye neden olduğu bilinmemektedir.

Siyanürün en toksik şekli HCN gazıdır. Amerikan Kamu Sanayi Hijyencileri Konferansı (American Conference of Governmental Industrial Hygienists ACGIH) HCN'nin tavan eşik değerini 4,7 ppm olarak vermektedir.⁷ HCN'nin havadaki 20 ilâ 40 ppm arasındaki konsantrasyonlarında birkaç saat sonra solunum zorlukları gözlemlenebilir. HCN'nin havadaki konsantrasyonunun yaklaşık 250 ppm'yi aşmasını müteakip birkaç dakika içinde ölüm meydana gelebilir.

Serbest siyanür için insanlar tarafından ağız veya solunum yolu ile alınacak ölümcül doz 50 ilâ 200 mg (vücudun beher kg için 1 ilâ 3 mg) arasında değişir. Deri yoluyla absorpsiyon halinde ölümcül doz çok daha fazla, vücudun beher kg için 100 mg civarındadır.

Modern madencilik işletmelerinde kullanılan HCN dedektörü



Foto: DuPont'un izinleriyle

İşçilerin Maruziyeti

Risk değerlendirmeleri sadece halka etkilere değil, aynı zamanda belirli bir sahadaki işçiler gibi tehlikeye maruz kalması en çok muhtemel kişilere etkilere de hitap eder. Sodyum siyanür briketlerinin tesise gelişi, boşaltılması, taşınması ve ambarlanması sırasında işçilerin siyanürle temas ihtimali bulunmaktadır.

Siyanürle liç prosesinde alkalinite yüksek düzeyde tutulursa (pH 10,5 veya daha fazla) proses çözeltilerinde serbest siyanürün hemen tamamı CN^- şeklinde bulunur. Bu şartlarda çözeltiden HCN buharlaşması düşük olur ve işçilerin solunum yolu ile maruz kaldıkları riskler üstesinden gelinebilir bir boyuttadır.⁸

7 1998 TLVs and BEIs–Kimyasal ve Fiziksel Maddeler için Limit Eşik Değerleri, ACGIH tarafından yayımlanmıştır.

8 (Her biri eğitilmiş ve güvenlik konularında bilgi sahibi olan) işçilerin ağız yoluyla proses çözeltisi alması her hangi bir kimsenin böylesi bir çözeltiyi içme olasılığı bulunmadığından muhtemel bir risk olarak görülmektedir.

İşçilerin, havadan gelmesi muhtemel tehlikelere karşı solunum koruyucu teçhizat kullanmaları zorunludur. Söz konusu teçhizatın uyarlanması, kullanımı ve denemesi şirket sağlık ve güvenlik prosedürleri içinde yer almaktadır. Modern maden işletmelerinde, HCN gazının bulunabileceği kapalı mekanlarda söz konusu gazın bulunması halinde alarm veren HCN gaz dedektörleri vardır. İnsanların çoğu, sağlık için tehlikeli olabilecek konsantrasyonların altındaki hidrojen siyanür gazının kokusunun (acı badem kokusunu andıran) farkına varabilmektedirler.

Çevresel Toksikoloji ve Etkileri

Zararlı maddeler sadece insanları değil ekolojik alıcıları da etkilerler. Madencilik ortamlarında üç ekolojik veya çevresel alıcı grubu kaygı konusudur: memeliler, sürüngenler ve amfibianlar; kuşlar (özellikle yaban ördeği); balıklar ve diğer sucul hayat.

Maden sahalarındaki siyanürün hayvanlar üzerindeki önemli olumsuz etkileri konusunda az sayıda rapor vardır. Sodyum siyanür ve siyanür içeren çözeltiler maden sahalarında kısıtlı alanlarda kullanılmaktadır. Yürüyen veya sürünen hayvanların bu alanlara erişimi duvarlar, beton platformlar, hendekler ve perdelerle önlenirken, tesislerdeki insan varlığı da hayvanların yaklaşmasında caydırıcı bir rol oynamaktadır. ABD’de hükümet yetkililerinin değerlendirmeleri, standard sınırlayıcı tasarımların ve iyi mühendislik kontrolünün memeli, sürüngen ve amfibianlara olabilecek tehditleri etkin bir şekilde azalttığını göstermiştir.⁹

Özellikle ABD’nin batısındaki gibi, nispeten kurak ve madencilikte siyanür kullanımının oldukça yaygın olduğu bölgelerde duyulan temel endişe her zaman, başta göçmen kuşları olmak üzere, kuşların açık havuzlardaki siyanüre maruz kalmalarıdır. Bu bağlamda, Nevada’da siyanürlü çözeltilere maruz kalmaları sonucu ölen kuş sayısı 1990’da yaklaşık 1300’den, 1995’de 220’ye düşerek %83 azalmıştır. Bu iyileşme daha ziyade açık havuzlarda WAD siyanür konsantrasyonunu 50 ppm altında tutmakla mümkün olmuştur. Bu konsantrasyondaki WAD siyanür, diğer yaban kuşları ve yaban hayatına oranla siyanüre çok daha duyarlı olduğu belirlenmiş olan ördekler için bile aşırı toksik değildir.

Etkin mevzuat ve madencilikte iyi yönetim uygulaması sonucu açık havuzlarda siyanür konsantrasyonunun ve yaban kuşlarının maruziyetinin daha da ileri derecede kısıtlanması için özgün adımlar atılmıştır. Küçük ebatlı havuzların ağla örtülmesi faydalı olmuşsa da büyük ölçekli atık barajlarının ağla örtülmesi, özellikle soğuk iklimlerde kar ve buz birikmesi sonucunda ağların ağırlıklarının artması ve yaban hayatının kazara ağa takılması gibi nedenler de dikkate alındığında sınırlanmıştır. Bununla beraber, proses gereği siyanür konsantrasyonlarının yüksek düzeylerde tutulması gereği bulunan havuzların üzeri günümüzde de ağla örtülmektedir.

9 Genel Muhasebe Ofisi (GAO), 1991.

Kuşları siyanür çözeltileri bulandıran havuzlardan uzak tutmak için kullanılan diğer yöntemler arasında hava topu, gürültü cihazları, küçük proses havuzlarının tüm yüzeyini kaplayan plastik toprak veya diğer yüzer aletler bulunmaktadır. Bu sonuncu yöntem, serbest siyanürün buharlaşma nedeniyle kaybını en aza indirmede yardımcı olmaktadır.

Gene, somon gibi soğuk su balıkları siyanüre en hassas sucul türlerden birisidir. Taş sineği, sayak sineği, mayıs sineği ve kınkanatlar gibi sucul böcekler siyanüre daha az duyarlıdır. Siyanürün zayıf asitte çözünür şekilleri “toksik bakımdan en önemli” olarak kabul edilmektedir. Laboratuvar ve saha incelemeleri, alabalık gibi en duyarlı türlerin bile düşük WAD siyanür seviyelerine dayanabildiklerini göstermektedir. Deşarj izinleri ve düzenleyici standartların çoğu WAD siyanür miktarını esas almaktadır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda’daki maden işletmelerinde sahaya özgü WAD siyanür standartları yürürlüğe girmiştir.



Foto: Placer Dome'un izinleriyle

ABD, Nevada'da Placer Dome ve Kennecott'un ortak yatırımı olan Cortez altın madeninde çözeltili yüzeyini örten yüzer “kuş toprakları”.

BÖLÜM 9

Madencilik Sektöründe Siyanür İçin Risk Yönetimi

Sahaya özgü planlar vasıtasıyla uygulanması gereken dört ana risk senaryosu vardır:

- İnsanların ve ekolojik alıcıların, nakliye sırasındaki kazalarda etrafa saçılan siyanüre maruziyeti.
- İşçilerin, kapalı mekanlarda özellikle HCN gazına maruziyeti.
- Yüzey veya yeraltı suyuna çözeltilerdeki siyanürün karışması sonucu ağızdan alınmak yoluyla insanların siyanüre maruziyeti.
- Kuşlar ve balıklar gibi ekolojik alıcıların siyanür içeren çözeltilere maruz kalması.

Nakliye kuralları ve dikkatle hazırlanmış güvenlik programları birinci senaryo ile ilgili riskleri sınırlamaktadır. Her ne kadar geçmişte siyanür çözeltilerinin salıverilmeleri sonucu olumsuz etkiler yaşanmışsa da ikinci senaryo için siyanür proseslerinin güvenli ve güvenilir işletilmesine izin veren bilimsel ve mühendislik uygulamaları bulunmaktadır. Üçüncü ve dördüncü senaryolarla ilgili olarak su kalitesini düzenleyici mevzuat çerçevesinde sahaya özgü standartlar belirlendiğinden insan sağlığı ve çevrenin korunması etkin olarak gerçekleştirilebilir.

Yönetim Sistemleri, Araştırma ve Geliştirme

Sağlık ve güvenlikten basiretli finansal işlemlere kadar her yönüyle risk yönetimi günümüz madencilik sektöründe şirket yönetiminin vazgeçilmez bir parçası ve sanayi/ticarî kuruluşun başarısı için kritik bir faktör olarak anlaşılmaktadır. Modern madencilik şirketleri, genelleştirilmiş “yönetim sistemleri” kavramını siyanürle ilgili programlarına uygulamaktadırlar. Bu metodoloji, diğer sektör faaliyetlerinde olduğu gibi, madencilikte de artan bir biçimde iyi bir yönetim şekli olarak görülmektedir. Etkin yönetim sistemleri dört temel basamaktan oluşur:

1. **Plan:** Siyanürün nakliyesi ve kabulü, ambarlanması, çözeltilisinin hazırlanması, zenginleştirme işlemleri ve atık yönetimi sırasında izlenecek süreçlerin ve kaza halinde

yapılacak müdahalenin ayrıntılarını veren yazılı planlar hazırlanır. Bu planlar, madencilik işletmelerinde etrafa saçılma ve kontrol altında tutma için gerekli süreçler ile şirket çalışanlarını siyanürün olası tehlikelerinden korumak için gerekli sağlık ve güvenlik süreçlerini içerir.

2. Uygulama: Bir programın etkin olabilmesi için, her işletmede, yazılı planların düzenli ve sürekli olarak uygulanması yönünde kararlılık olmalıdır. Ayrıca, planın öngördüğü eylemlerin uygulanması ve rapor edilmesi hususunda her bir çalışanın kişisel sorumlulukları ayrıntıları ile açıklanmalı ve açıkça tanımlanmalıdır.

3. Gözden geçirme ve raporlama: Yönetimin sorumluluklarından birisi de düzenli bir şekilde performansı denetlemektir. Performansı gözden geçirme ve raporlama sorumluluğu, işletme faaliyetlerinde doğrudan görev almayan ve üst düzey yönetimden sorumlu kişilere verilmelidir. Böylece sistemin performansının bağımsız değerlendirilmesi sağlanmış olur. Üst düzey yönetim, bunun üzerine, çeşitli sahalarda uygulanabilecek politika ve programları yürürlüğe koymak suretiyle potansiyel riskleri gözden geçirerek etkin bir şekilde yönetebilir.

4. Gerekliğinde düzeltici önlem almak: Risk yönetim programlarının günlük işletme sırasında ve prosede ortaya çıkacak kusurları olabilir. Bunlar gözden geçirme sürecinde tespit edilirse, uygun düzeltici eylemler alınmasına öncelik verilmeli ve bu eylemlerin etkileri bir sonraki denetim sırasında gözden geçirilerek rapor edilmelidir.

Ürün Yönetimi

İyi yönetilen bir sistemin en önemli unsuru siyanürle temas halinde olan insanların onun güvenli kullanımından sorumlu tutulması anlayışıdır.

Siyanür üreticileri müşterilerini ve nakliye sistemlerini denetlemektedir. Üreticiler aynı zamanda siyanürün nakliyesi için özel ambalaj tasarımı yapmaktadırlar. En büyük üç sanayi siyanür üreticisi, Degussa, Dupont ve ICI “sorumlu ihtimam” prensiplerini benimsemişlerdir.¹⁰ Kamyon, demiryolu ve mavnalı nakliyecileri çalışanlarını denetle-

10 Sorumlu İhtimam (Responsible Care®) 1985’de Kanada Kimyasal Üreticileri Birliği (CCPA: Canadian Chemical Producers’ Association) tarafından başlatılan ve dünyanın çeşitli bölgelerindeki 40 ülkeye yayılan, kimyasalların ömür döngüsü sürecince güvenli ve çevreye zarar vermeden yönetimi için yeni bir etik kuruldur. Bu yaklaşımda, CCPA ve dünyanın dört bir yanındaki kimya birliklerinin her üyesinin Yönetim Kurulu Başkanı veya en üst düzey yöneticinin Sorumlu İhtimam’ın yön gösterici prensip ve kurallarını birliğe girdikten sonraki üç yıl içinde uygulamayı taahhüt etmek ve bunun kamuoyuna açık olarak tespitini kabul etmek zorundadır. Sorumlu İhtimam üyeleri ve ortaklarının beklentileri üç uygulama prensibinde yer alan 151 yönetim uygulamasının hayata geçirilmesinin ötesinde önderlik grupları vasıtasıyla CEO (Genel Müdür veya Yönetim Kurulu Başkanları) düzeyinde bilgi ağlarının oluşturulması, ulusal danışma paneline halkın katılımı, en iyi uygulamaları paylaşarak karşılıklı yardımlaşma, uyum sürecinde üst düzeyde baskı uygulanması ve performans iyileştirme ölçümlerinin halka duyurulmasıdır.

mekte, ambalajların miktarını dikkatle tutmakta, yükleme ve boşaltma için sistem kurmakta ve bakımını yapmaktadır. Ürünler ulusal ve uluslararası kurallara uygun olarak ilgili sektörcü belirlenen protokollere göre yükleme, boşaltma ve nakliye işlemlerine tabi tutulmaktadır.

Madencilik şirketleri ambar kontrol sistemlerini oluşturmada, işçilerin eğitim ve sınıai sağlık programlarını yapmakta ve aynı zamanda siyanüre maruziyeti önleyecek veya azaltacak şekilde tasarlanmış proses çözümleri ve katı atık yönetim sistemlerini inşa etmek ve sürdürmektedirler. Her bir projeye özgü olarak, başarıya ulaşmak için iyi ürün yönetiminin her türlü risk yönetim bileşeni entegre edilmelidir.

Muhafaza ve Geri Dönüşüm

Siyanür ürünlerinin iyi yönetiminin diğer bir bileşeni atıkların en aza indirilmesi genel prensibidir. Bir maden sahasında bulunan siyanür miktarını azaltarak muhtemel maruziyet yolları, dolayısıyla toplam risk kaçınılmaz bir biçimde azaltılmaktadır. Bir işletmede, üretim hedeflerine ulaşmak için gerekli siyanür miktarı asgaride tutulursa hem maliyetler hem de riskler azalacaktır. Bu hedef, bir madencilik prosesinde kullanılan ve tüketilen toplam siyanür miktarının korunmasına yardımcı olacak mühendislik ekonomisi gibi

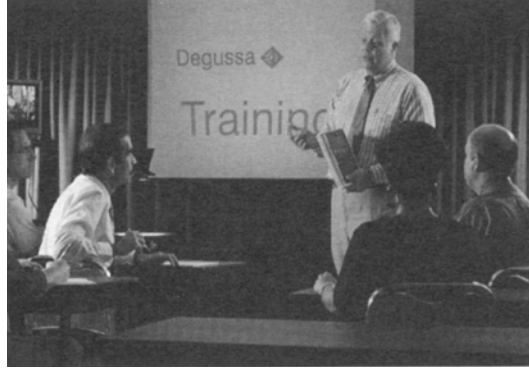


Foto: Degussa Corporation'un izniyle

Siyanür üreticileri sodyum siyanürün emniyetli nakliyesi, yükleme, boşaltma ve ambarlanmasını sağlayabilecek eğitim verirler.

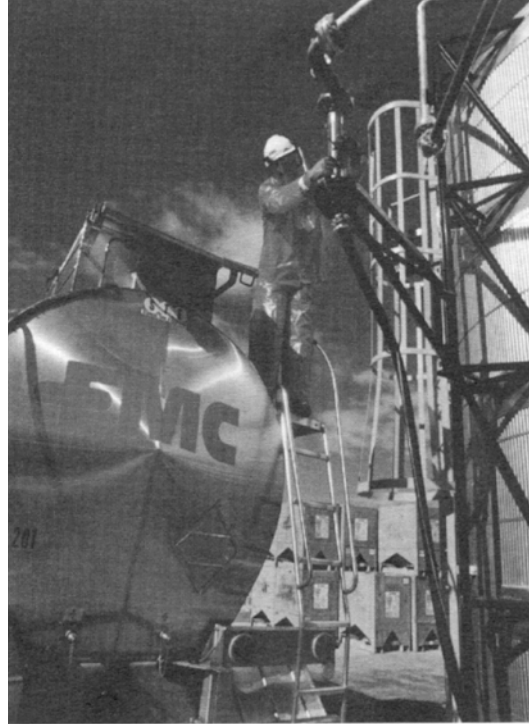


Foto: FMC Corporation'un izniyle

İyi yönetilen bir sistemin temellerinden birisi, siyanürle temas halinde olan insanların onun güvenli kullanımından sorumlu tutulmasıdır.

yaklaşımları gerektirir. Siyanürün geri dönüşüm süreçlerinin varlığı, madencilik projelerinde gereken toplam siyanür miktarının korunması hususunda alternatifler sunmaktadır.

İşçi Güvenliği ve Halk Sağlığına Yönelik Mevzuat ve Gönüllü Programlar

Genellikle hükümetler tarafından uygulamaya konan düzenlemeler risk yönetimini zorunlu tutmaktadır. Siyanürün ömür döngüsünde uygulanan düzenlemelere (a) ambalajlama ve nakliye standartlarının oluşturulması; (b) siyanürün havadaki konsantrasyonları ve işçi güvenliği ile ilgili sanayi sağlık standartlarının oluşturulması; (c) yerüstü ve yeraltı sularına atıksu deşarjı sınırlarının oluşturulması dahildir. Hükümetler, işçi sağlığı, halk sağlığı ve çevreyi koruyucu işlem ve standartların oluşturulması için araştırma-geliştirme sonuçları ile halkın politika oluşturma sürecine katılımı kullanmışlardır.

İnsan sağlığı ve çevreyi korumak amacıyla siyanür için oluşturulan düzenleyici standartlara bazı örnekler Bölüm 8'de verilmiştir. Mesela siyanürün en zehirli şekli olan hidrojen siyanür gazı ACGIH gibi sanai sağlık standartlarında havada 4,7 ppm ile sınırlandırılmıştır.

Dünya çapında insan sağlığını korumak için toplam siyanür sınırı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın içme suyu standardı olarak teklif ettiği 0,2 mg.L⁻¹ konsantrasyonu civarındadır. Aynı zamanda, mevcut teknik bilgilere dayanılarak göçmen kuşlar ile diğer su kuşlarını olumsuz etkilerden korumak için açık havuzlarda WAD siyanür konsantrasyonlarının 50 mg.L⁻¹ 'den aşağıda tutulması gerektiği konusunda uluslararası bir görüş birliği oluşmaktadır.

Risklerin yönetimi veya onun zorla uygulanması sadece hükümetler tarafından yapılmamaktadır ve böyle olması da gerekmemektedir. Gönüllü programlar yasal bir yaptırım olmaksızın düzenlemelerle aynı etkiyi yapabilir. Meselâ, siyanür bileşiklerinin önde gelen üreticileri sadece nihai kullanıcıları ve güvenli performans kayıtları olan nakliye firmalarını muhatap alma konusunda şirket içi karar almışlardır. Her üreticinin kullandığı yöntem farklı olmakla beraber, hepsi, halkı siyanürün tehlikelerinden korumak amacıyla özel performans kriterlerini talep etme şeklindeki piyasa mekanizmasını kullanarak aynı sonuca ulaşmışlardır.

BÖLÜM 10

Risk İletişimi

Madencilik ortamında siyanüre ilişkin riskleri uygun bir şekilde ele almak için yapılan kapsamlı herhangi bir programda risk iletişimi kilit bileşendir. İletişim hem işletme içinde hem de harici olarak halk ile yapılmalıdır. Sahada yönetici ve işçilerin hizmet içi öğretim ve eğitimi önemlidir. Bir maden veya sanayi tesisinde çalışanlar sahanın yakınında yaşayan halkın bir kısmını oluşturur. Şirket çalışanları, aileleri, arkadaşları ve komşuları, çevrede yaşayan herhangi biri gibi siyanürün güvenli kullanımı ve çevrenin korunması hususunda hemen tamamen aynı endişeleri taşımaktadırlar. Dolayısıyla siyanürle ilgili bilgilerin uygun bir şekilde şirket çalışanlarına iletilmesi, riskin doğası ve büyüklüğünün halka iletilmesinin ilk adımını oluşturur.



Foto: Placer Dome'in izniyle

Kanada, Quebec, Val d'Or'da bulunan Placer Dome'a ait Sigma Madeni

Resmî düzenlemelerin öngördüğü şartlara uymanın ötesinde, etkin risk iletişimi halkın bilgilendirilmesi ve katılımını da içermektedir. Bu, yerel yetkili makamlarla birlikte acil durum planlama programlarını koordine etmenin yanısıra, maden işletme proseslerinde ve envanterde kullanılan siyanür bileşiklerinin tipleri ve miktarları hakkındaki veriler ile izleme verilerine erişimin sağlanması demektir. Etkin halk iletişimi, halkın endişelerinin dile getirilmesini ve yönlendirilmesini teşvik ederek aynı zamanda iki yönlüdür.

Siyanürle ilgili maden yönetim uygulamaları kamuoyuna açık olmalı ve iyi birer iletişimci olan şirket temsilcileri tarafından yerel toplum temsilcilerine anlatılan programlar vasıtasıyla gerçekleştirilmelidir. Buna ilâve olarak, olumlu halkla ilişkiler programları, biçim kadar esas da içermeli ve genel olarak halka, siyanür ve diğer tehlikelerin toplumda güvenli bir şekilde ele alındığını göstermek için kullanılmalıdır. Günümüzde sayıları giderek artan madencilik şirketleri bu yaklaşımı benimsemiş, ilgili tüm tarafların yararına yerel topluluklarla iletişim kurmuşlardır.

BÖLÜM 11

Kaynakça

ASTM, 1985, *Annual Book of Standards*, Section D2036, Method-C, Weak Add Dissociable Cyanides, p.121.

Ballantyne, B. ve T.Marrs, 1987. *Clinical and Experimental Toxicology of Cyanides*, Wright Publishers, Bristol, United Kingdom.

Bureau of the Census, 1992. *The American Almanac for 1992-1993, 112th Ed.* Economics and Statistics Administration, the Bureau of the Census, the Reference Press Publishers, Austin, Texas, USA, September.

Clesceri, L.S., A.E. Greenberg ve R.R. Trussell (Editörler), 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (17th Edition)*, Part 4500-CN, Section I, Weak and Dissociable Cyanide, pp. 4-38, APHA-AWWA-WPCF.

Edelman, L. ve Walline, R., 1985. "Developing a Cooperative Approach to Environmental Regulation," *Natural Resources Lawyer*, Vol.XVI, No.3.

Eisler, R., 1991. "Cyanide Hazards to Fish, Wildlife and Invertebrates: A Synoptic Review." U.S. Fish and Wildlife Service, *Biological Reports* v.85 (1.23).

Environment Australia, 1998. *Cyanide Management*, a booklet in a series on Best Practice Environmental Management in Mining, Commonwealth of Australia.

General Accounting Office (GAO), 1991. *Increased Attention Being Given to Cyanide Operations*, a report to the Chairman of the Subcommittee on Mining and Natural Resources, June.

Glynn, p., 1983. "Cyanide Behavior in Groundwater Environments," yayımlanmamış bitirme tezi, Groundwater Research Institute, University of Waterloo, Canada.

Gold Institute, 1996. Cyanide. In *Gold Issues Briefing Book*, Chapter 4, pp. 1-12.

Gray, G.M., W.G. Jeffery ve G.E. Marchant, *Risk Assessment and Risk Management of Non-Ferrous Metals: Realizing the Benefits and Managing the Risks*, International Council on Metals and the Environment, 1997.

Griffith, A.W. ve G. Vickell, 1989. *Treatment of Gold Effluents with H₂O₂, Operating Experience and Costs*. Proceedings of 21st Canadian Mineral Processing Conference, Ottawa, Ontario, Canada.

Habashi, F., 1987. "One hundred years of cyanidation." *C.I.M. Bulletin*, vol. 80, pp. 108-114.

T.W. Higgs & Associates, 1992. *Technical Guide for Environmental Management of Cyanide in Mining*. Prepared for Mining Association of British Columbia, Canada, July.

Kilborn, Inc., 1991. *Best Available Pollution Control Technology*. Prepared for Ontario Ministry of Environment, Metal Mining Sector, December.

Lehninger, A., 1970. *Biochemistry*. Worth Publishers, New York, USA.

Logsdon, M.J. ve T.I. Mudder, 1995. "Geochemistry of Spent Ore and Water Treatment Issues," *Proceedings of the Tailings and Mine Waste 1995 Meeting and Summitville Forum*, Ft. Collins, Colorado, USA, January.

Marsden, J. ve I. House, 1992. *The Chemistry of Gold Extraction*. Ellis Howood Publishers, New York, USA.

McNulty, T., 1989. "A Metallurgical History of Gold." American Mining Congress, Sept. 20th, 1989. San Francisco, California, USA.

Mining Environmental Management Magazine, 1995. Special Issue on Cyanide. June, 1995.

Mudder, T.I. (Editor), 1998. *The Cyanide Monograph*, Mining Journal Books, The Mining Journal Ltd, London, United Kingdom.

Mudder, T.I. ve A. Goldstone, 1989. "The recovery of cyanide from slurries". In *Randol Conference, Gold and Silver Recovery Innovations Phase IV Workshop*, Sacramento, California, USA, November.

Mudder, T.I. ve A.C.S. Smith, 1994. "An Environmental Perspective on Cyanide." *Mining World News*, vol. 6, no.9. October.

Queensland Government, 1990. *Guidelines on Prevention of Water Pollution from Cyanide Use in Gold Ore Processing*. Department of Environment and Heritage, Department of Resource Industries, Water Resources Commission, January.

Schmidt, J.W., L. Simovic ve E. Shannon, 1981. *Development Studies for Suitable Technologies for the Removal of Cyanide and Heavy Metals from Gold Milling Effluents*. Proceedings 36th Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA, pp.831–849.

Scott, J.S., 1995. *Status of Gold Mill Waste Effluent Treatment*. Prepared for CANMET.

Scott, J.S. ve J.C. Ingles, 1987. *State of the Art Processes for the Treatment of Gold Mill Effluents*. Mining. Mineral and Metallurgical Process Division, Industrial Programs Branch, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada, March.

Scott, J.S. ve J.C.Ingles, 1981. "Removal of Cyanide from Gold Mill Effluents," *Canadian Mineral Processors, Thirteenth Annual Meeting*, Ottawa, Ontario, Canada, January 20–22, pp. 380–418.

Simovic, L. ve W.J. Snodgrass, 1989. "Tailings Pond Design for Cyanide Control at Gold Mills Using Natural Degradation." *Proceedings of Environment Canada's Gold Mining Effluent Treatment Seminar*, Mississauga, Ontario, Canada, March 22–23, pp. 57–81.

Smith, A.C.S., 1994. "The Geochemistry of Cyanide in Mill Tailings." In J.L.Jambor and D.W. Blowes (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Wastes*. Mineralogical Association of Canada Short-Course Handbook, Volume 22, pp.293–332.

Smith, A.C.S., 1987, Testimony to Department of Health and Environmental Control, South Carolina, Permit No.SC 0041378 Appeal Hearing, Columbia, South Carolina, USA, December.

Smith, A.C.S., A. Dehrman ve R.Pullen, 1985. "The Effects of Cyanide-Bearing Gold Tailings disposal to Water Quality in Witwatersrand, South Africa." In D.Van Zyl (Ed.), *Cyanide and the Environment*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, pp.221–229.

Smith, A.C.S., D.Moore ve J. Caldwell, 1985. "Prediction of Groundwater Impact of Tailings disposal." *Proceedings of 2nd Annual Can/Am Conference on Hydrogeology*, Banff, Alberta, Canada.

Smith, A.C.S. ve T.I.Mudder, 1991. *The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes*, Mining Journal Books, London, United Kingdom.

Stanley, G.G., 1987. *The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa*. South African Institute of Mining and Metallurgy, Monograph M7.

The Handbook of Chlorination, 1986. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

US EPA, 1985. "Basis for Listing Hazardous Waste," 40 CFR 261, App. VII, EPA, 1985.

US EPA, 1981. "An Exposure and Risk Assessment for Cyanide." Office of Water, EPA-440/4-85-008, Washington, DC, USA, December.

US Fish ve Wildlife Service, 1991. "Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: "A Synoptic Review," *Biological Report 85 (1.23)*, *Contaminant Hazard Reviews Report 223*, December.

Ulman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1987. Volume A8, Fifth Edition, VCH Publishers, New York, USA.

Unifield Engineering, Inc., Coeur d'Alene Mines Corp., TIMES Ltd., ve Coeur Gold N.Z. Ltd., 1994. "Recovery of Cyanide from Mill Tailings." *Proceedings, 100th Annual Northwest Mining Association Conference*, Spokane, Washington, USA.

Western Australia, Department of Minerals and Energy, 1992. *Cyanide Management Guideline*. Mining Engineering Division, July.

Whitlock, J.L. ve T.I.Mudder, 1986. "The Homestake Wastewater Treatment Process: Biological Removal of Toxic Parameters from Cyanidation Wastewaters and Bioassay Effluent Evaluation." In R.W. Lawrence (Ed.) *Fundamental and Applied Biohydrometallurgy*, pp.327-339.

Yazarlar Hakkında

Mark J. Logsdon, AB, MSc

Mark J. Logsdon halen ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Ojai'de yerleşik Geochimica, Inc. müşavirlik şirketinin başkanı ve jeokimyacıdır. Princeton Üniversitesi Jeoloji Bölümünden lisans derecesi, New Mexico Üniversitesinden ise yüksek jeoloji lisansı bulunmaktadır. Logsdon özellikle atık yönetimine yönelik olarak hidrojeokimya ve çevre jeokimyası üzerine uzmanlaşmıştır. Müşavirlik deneyimine ilâve olarak Logsdon'un otuz yıllık kariyeri araştırma ve akademik öğretim ile başta ABD Nükleer Mevzuat Komisyonu ve New Mexico Maden ve Mineral Kaynakları Bürosu olmak üzere kamu kesimi tecrübesi de içermektedir. Özel yetenek ve tecrübeleri arasında atık nitelendirilmesi, jeokimyası ve hidrolojisini konu edinen çok disiplinli yerbilimleri araştırmalarının tasarım ve uygulamaları bulunmaktadır. Geochimica'nın projeleri arasında asitli maden suyu drenajının hidrojeolojik ve hidrojeokimya etüdüleri, maden sahalarında siyanür jeokimyası ve bir sahanın su kalitesinin araştırılması bulunmaktadır.

Karen Hagelstein, BS, MS, PhD, CIH

Karen Hagelstein ABD'nin Montana Eyaletinde Bozeman'da yerleşik ve su ve atıksu mühendisliği, akuatik toksikoloji ve insan sağlığının değerlendirilmesi konularında uzmanlaşmış olan Times Limited Çevre Bilimi ve Mühendislik Şirketinin ortağı ve Kıdemli Çevre Bilimcisi'dir. Dr. Hagelstein sınaî hijyen sertifikası sahibi olup lisans diplomasını South Dakota Üniversitesinden, yüksek lisans derecesini Fizyoloji ve Biyofizik dalında Iowa Üniversitesinden almış, doktorasını Iowa Üniversitesinde İnşaat ve Çevre Mühendisliği'nde yapmıştır. Onbeş yılı aşan kariyeri sırasında bazı müşavirlik firmalarında Kıdemli Çevre Bilimci, Çevre Mühendisi ve Sağlık Memuru olarak çalışmış, Güney Dakota Madenler ve Teknoloji Okulunda altı yıl doçent olarak görev yapmıştır. Times Limited'de yapılan madencilikle ilgili projeler arasında çevresel tehlikelere maruziyetle ilgili insanlara yönelik toksiklik verileri ve riskleri, kirlenici konsantrasyonlarının tahmini için havada dağılım modellemesi ve biyolojik ve kimyasal su kalitesini izleme verilerinin özetlenmesi bulunmaktadır.

Terry I. Mudder, BS, MS, PhD

Terry I. Mudder, Times Limited'in ortaklarından birisidir. Organik ve analitik kimya dallarında lisans ve yüksek lisansı, çevre bilimleri ve mühendisliği dalında doktorası vardır. Dr. Mudder'in siyanür içeren atıkların kimyası, analizi, âkıbeti, akuatik toksikliği ve bertaraf edilmesi konularında yirmi yıllık araştırma tecrübesi bulunmaktadır. Dünyanın dörtbir yanındaki üniversitelerde misafir okutman, tez danışmanı ve profesör olarak görev yapmıştır. Altı kıtada yüzü aşkın metal ve demirdışı metalleri konu edinen madencilikle ilgili projelerde çalışmış, kırka yakın teknik makale yazmıştır. Siyanür konusunda çok sayıda konferans vermiş, kısa süreli kursların ve atölyelerin düzenlenmesine katılmıştır. Her ikisi de Mining Journal Books tarafından yayımlanmış olan *The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes* ve *The Cyanide Monograph* gibi ortaklaşa yazdığı kitapları ve çeşitli broşürleri vardır. Siyanür ve metallerle ilgili kimyasal, fiziksel ve biyolojik arıtma proseslerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında aracı olmuş, bunun sonucunda ulusal ve uluslararası ödüllere layık görülmüş ve dünya çapında geçerli patentlerin sahibi olmuştur. Dr. Mudder, British Columbia Çevre Bakanlığı, Environment Australia, Peru Çevre Servisi, ABD Çevre Koruma Ajansı, ABD'de mevzuatı düzenleyici kurumlar ile çeşitli sanayi kökenli teşkilatlara teknik müşavirlik yapmıştır.