

Türk altın madenciliğinde siyanürleme işleminin ilk olarak uygulanması ve bunun çevreye etkileri*

A. Akçıl**

Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilimdalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Öz

Türkiye tarihinde, altın çıkarmada siyanür ilk olarak Ovacık Altın Madeninde kullanılmıştır. Bir yıllık test dönemi süresince, karmaşık ve çok kapsamlı bir çevresel etki prosedüründen sonra, bu madende başarıyla altın çıkarılmaya ve işlenmeye başlanmıştır. Türkiye’de yılda yaklaşık 2500 ton, bu madende ise yılda yaklaşık 240 ton sodyum siyanür kullanılmaktadır. Test dönemi sırasında, INCO Prosesi kullanarak, siyanür bozundurulmasından sonra 0.06 ppm (en düşük) ve 1 ppm (en yüksek) arasında bir atık sıvı kalitesi (CN-Wad) elde edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Ayrıca işlem suyunun (atık havuzundan geri dönüş) arıtılmış atık sıvı değerlerinin (CN-wad) 0.04 ppm (en düşük) ve 0.59 ppm (en yüksek) arasında olduğu da gösterilmiştir. Bu makalede, Ovacık Altın Madenindeki siyanürleme ve siyanür imha işlemleri gözden geçirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Siyanürleme, Altın Cevherleri, Hidrometalürji, Çevresel

1. Giriş

Altın madenciliği ve galvanoplastik sanayi kolları, faaliyetleri sırasında büyük miktarlarda siyanür kullanırlar. Bazı durumlarda, belirli standartlara göre artıldıktan sonra, fazla miktardaki işlem çözeltisinin çevreye verilmesi zorunludur.

Siyanürleme işleminin keşfi, sadece erken dönemlerde simyacıların adi metalleri altına çevirme girişimlerine değil, “Mavi Asit” diye adlandırılan kimya yöntemine ve 18. Yüzyıl süresince bununla ilgili bileşimlere kadar uzanır. Siyanürleme işlemi, seyreltilmiş siyanür çözeltilerinin kıymetli metalleri cevherlerinden çözebildiklerinin keşfedilmesiyle doğmuştur (Habashi 1987, 1995). Siyanür, birçok başka bileşikle birleşir veya bunlara dönüşebilir. Emsalsiz özellikleri nedeniyle siyanür metal parçalarının ve sayısız organik ürünlerin imalatında kullanılır. Dünyada yılda yaklaşık 1.4 milyon ton hidrojen siyanür üretilir, bunun sadece %13’ü sodyum siyanüre çevrilerek altın ve gümüş madenlerinin çıkarılmasında kullanılır. Hidrojen siyanürün geri kalan % 87’si ise, çok sayıda ürünün imalatında kullanılır (Mudder, 2001; Mudder et al. 2001). İçme suyunda müsaade edilen siyanür standartları şöyledir: 0.2 ppm (ABD Çevre Koruma Kurumu), 0.07 ppm (Dünya Sağlık Teşkilatı), 0.05 ppm (Avrupa Birliği) ve 1 ppm (Türkiye Çevre Bakanlığı).

Yakın zaman önce, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından, bir Uluslararası Siyanür Yönetim Kuralı geliştirilmiştir. Bu gönüllü sanayi kuralı için, altın madeni işletmecileri, hükümetler, sivil toplum kuruluşları, işçi temsilcileri, siyanür üreticileri ve mali kuruluşlar ortak bir hedef için bir araya gelmişlerdir. Bu kural, sadece, altın madenlerinde siyanürün güvenli şekilde kullanımına yöneliktir. Kurala katılım gönüllülük esasına dayanır. Kuralı imzalayanlar, buradaki esaslara uyacakları ve uygulama standartlarını yerine getirecekleri konusunda uzlaşmışlardır. Doğrulama ve belgeleme işlemleri üç yılda bir bağımsız denetçiler tarafından yapılır. Denetçi, Kurala uyulduğu sonucuna varmışsa işlem belgelenir. Kurala uyumlu olduğu belgelenen faaliyetler özel bir sembol ile gösterilebilir. Denetçi, faaliyetin uzun zamandır Kuralla uyumlu olmadığını saptamışsa, faaliyet belgeleri geri alınır (UNEP, 2002).

Siyanürün asıl olarak madencilikte kullanıldığı ülkelerde, farklı çevre yönetmelik ve yasaları yürürlükte olmakla birlikte, ticari, ekonomik ve çevresel açıdan yeni bir alternatif bulunana kadar, siyanür bu işlemlerde kaçınılmaz olarak kullanılmaya devam edecektir. Bu makalede, Ovacık Altın Madenindeki siyanürleme ve siyanür imha işlemleri gözden geçirilmektedir.

* **Minerals Engineering**, 2002, v. 15, s. 695- 698’de yayımlanan makalenin Türkçe çevirisidir.

** Tel: 90.2462370428 Faks:-902462370434, E-mail ata@mmfsdu.edu.tr

2. Ovacık Altın Madeni

Ovacık Altın Madeni Türkiye'nin batı kıyılarına yakındır (Şekil 1). Her ne kadar bu cevher gövdesi 1989'da bulunmuş ise de, altın ve gümüş çıkarılma işlemine ancak Haziran 2001'de başlanılmıştır. Açık ocak yılda 200 ton ve yeraltı madeni ise yılda 100 ton üretim yapacaktır. Maden keşif programına 1989'da başlanılmıştır. 1989'dan bu yana, maden ruhsat alanında toplam 15.000 metre uzunlukta sondaj işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

Ovacık siyanürleme tesisinde, cevher önce kırılır ve sonra değirmenlerde ıslak olarak öğütülerek altın tanecikleri serbest hale getirilir. 0,038 milimetreye kadar öğütüldüğünde, cevherden serbestleşme ve dolayısıyla da altın elde etme oranı yükselir.

2.1. Siyanürleme işlemi

Dünyada, yılda yaklaşık 2.5 milyon ton siyanür üretilmektedir. Türkiyede yılda yaklaşık 2500 ton, bu işletmede ise 240 ton sodyum siyanür kullanılmaktadır. Türkiye tarihinde siyanürle altın çıkarılması ilk olarak Ovacık'ta gerçekleştirilmektedir. Bir deneme dönemi sırasında, uzun çevresel değerlendirme prosedüründen sonra, cevher başarıyla çıkarılmış ve işlenmiştir. Bir yıllık deneme süresinden sonra, Ovacık Altın Madeni sürekli işletme için mahkeme kararını beklemektedir.

2.2. Siyanür imha işlemi

Alternatif bir siyanür imha işlemi olarak INCO işlemi (kükürt dioksit ve hava) 1984'de patent almıştır (Borberly et al., 1984). Bu işlem, 18 yıl süresince, dünyada onlarca altın madeninde başarıyla uygulanmıştır. Bu işlem, kükürt dioksit ve hava karışımı ve bakır sülfat (CuSO₄) katalizörü kullanılarak, CNwad'nin siyanata dönüştürülmesine dayanır. Atık sulu çamurun arıtılmasında, INCO işlemi 1994'de siyanür imha işlemi olarak seçilmiştir.

Bu işlemde değişik reaktif formlarındaki kükürt dioksit ve hava kullanılır. Hava, çok hareketli bir kap kullanılarak çözelti içine püskürtülür. Normalde, SO₂/Hava işlemi, tek basamaklı bir daimi arıtma tesisi olarak tasarlanmıştır. Bu teknoloji güvenilir olup, toplam siyanürün detoksifikasyonu için seçicidir. Tipik olarak, 50-2000 mg/l mertebesinde toplam siyanür içeren beslemelerde, bu işlem toplam siyanürü 2 mg/l'den daha aza indirebilmektedir (Robbins et al., 2001).

İmha devresi, % 45-48 (% ağırlık olarak) katı içerikli bir atık akımı içinde, saatte 8,4 kg siyanürü imha edecek şekilde tasarlanmıştır. Günde 900 ton cevher işlendiği esas alınarak, sulu çamur ve siyanür akışları hesaplanmıştır (yaklaşık 180 ppm toplam CN) (Şekil 2).

Birçok ülkede, kimyasal arıtmadan sonra çıkan suyun, çevreye verilmeden önce sahip olması gereken atık sıvı limitleri vardır. Ovacık Altın Madeninde atık toplama havuzuna olan deşarjla ilgili atık sıvı limitleri varsa da, çevreye deşarj yoktur. Test sonuçlarına göre, Ovacık Altın Madeninde, arıtmadan sonra atık sıvı kalitesi, altın madenciliği ve siyanür işlemlerinde tecrübeli olan ABD ve Kanada'da elde edilenlerden daha yüksektir (Çizelge 2).

Tablo 1
Ovacık Altın Madeninin altın potansiyeli

Cevher rezervi	Cevher (milyon ton)	Tenör (g/ton)	Altın içeriği (ton)
Toplam (görünür-muhtemel-muhtemel)	4.19	7.6	31.87
Çıkarılabilir	2.4	10	24



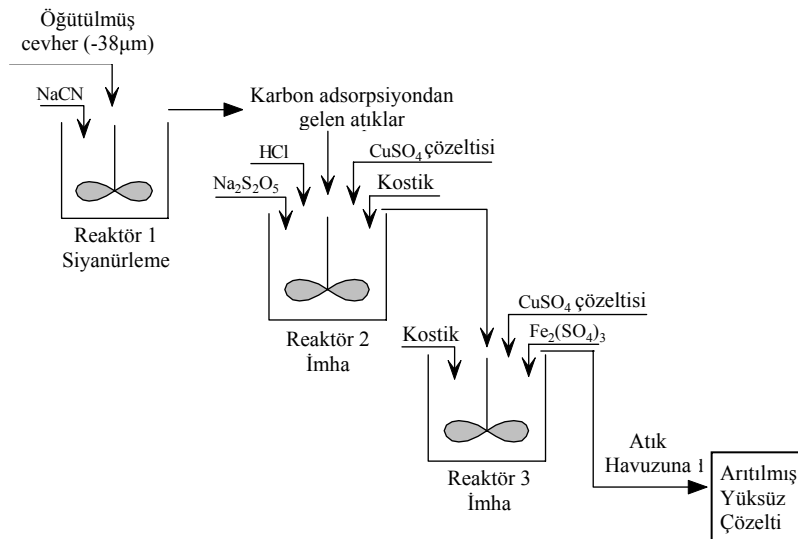
Şekil 1. Ovacık Altın Madeninin (Türkiye) genel görünüşü

Çizelge 2

Ovacık Altın Madeni atık sıvı limitlerinin uluslararası standartlar ile karşılaştırılması (Higgs 1995; US EPA, 1987, 1988, Dünya Bankası, 1994)

Element	Atık		T.C. Çevre Bakanlığı	Uluslararası Standartlar			
	İmha Öncesi	Deşarj Sonrası		Kanada Baraja*	World Bank		ABD Baraja*
					Baraja*	Çevreye	
CN _{Total}	144	<1	<1	1	2	1	0.2 CN _{WAD}
Cd	<0.01	<0.01	<0.01	1	0.01-0.1	0.1	0.05
Zn	1	<0.1	<0.1	5	0.2-1	1	0.75
Cu	6	0.42	0.42	5	0.05-0.3	0.1	0.15
Pb	<0.05	<0.05	<0.05	2	Limit	Limit	0.3
As	2	0.005	0.005	5	Yok	Yok	-
Sb	10	0.03	0.03	5	-	-	-
Fe	3	0.129	0.129	10	0.3-1	2	-
Cr	<0.01	<0.1	<0.1	2	0.05-0.3	1	-
Hg	<0.01	0.007	0.007	0.1	0.001	0.002	0.001

* Atık havuzunda siyanür deşarjı ile ilgili resmi limit yoktur.



Şekil 2. Ovacık Altın Madeninde kimyasal imha işlem şeması

3. İşlem izleme veritabanı istatistiksel sonuçları

Test dönemi süresince, cevher başarıyla çıkarılmış ve işlenmiştir. Ovacık Altın Madeninde işlem değerlendirmeleri bir yıllık bir test dönemi için gerçekleştirilmiştir (Haziran 2001 – Mayıs 2002). Detoksifikasyon, atık havuzuna deşarj edilen ve kimyasal olarak ayrılmış (dekompoze) atıksu anlamında kullanılmıştır. Durusu ise, atık havuzundan tesise gelen ve ilave işlem suyu olarak kullanılan “devridaim” su anlamına gelmektedir. Filtre edilen su, tabandaki drenaj borularında toplanır ve buradan da, tesiste yeniden kullanılmak üzere işlem su tankına pompalanır.

İstatistiksel analizler kullanılarak, günlük ve aylık Atıksu (INCO çıkışı) ve Durusu (atık havuzu geri dönüş suyu) sonuçları hesaplanır ve tesis performans sonuçları Şekil 3 ve 4’de olduğu gibi gösterilir.

Ovacık Altın Madeninde, INCO siyanür imha işleminin kapasitesi, mevcut siyanürün % 99’dan fazlasını bozundurmaya imkan vermektedir. Sonuçta, atıklardaki CN_{Toplam} konsantrasyonu, atıklardaki CN_{WAD} ile ilgili ulusal çevre düzenlemeleri limiti olan 1 ppm altına düşürülür (Akçıl, 2001, 2002 a, b; Akçıl et al; 2002).

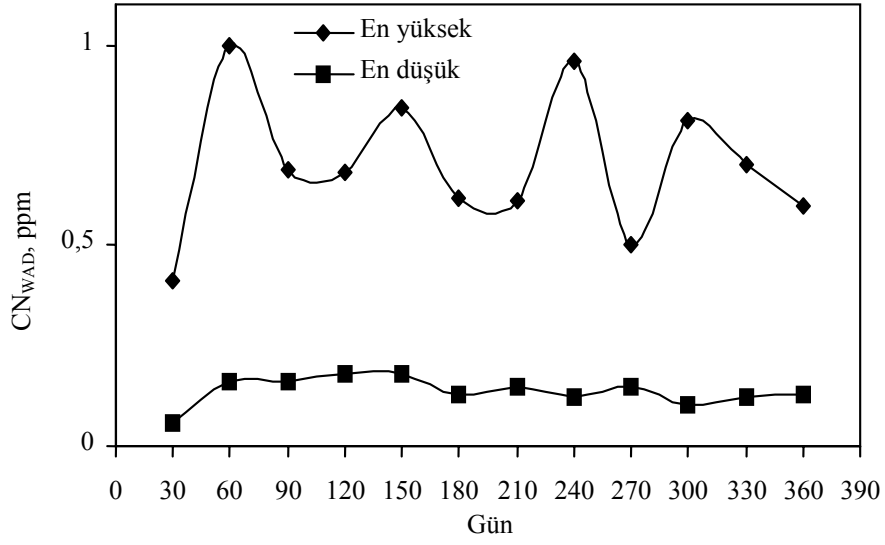
Bu dönem sırasında, INCO işlemi ile imhadan sonra detoksifikasyon deşarjları (Atıksu) ile ilgili olarak çevresel limitlerin 0.06 ppm (en düşük) ile 1 ppm (en yüksek) arasında olduğu gösterilmiştir. Geri dönüş suyunda (Durusu) bulunan limitler ise 0.04 ppm (en düşük) ve 0.59 ppm (en yüksek) arasında bulunmuştur.

İstatistiksel veriler ışığında, Ovacık Altın Madeninde arıtılan atık sıvıdaki günlük ve aylık siyanür konsantrasyonları, T.C. Çevre Bakanlığı tarafından öngörülen değerleri aşmamaktadır (Tablo 3).

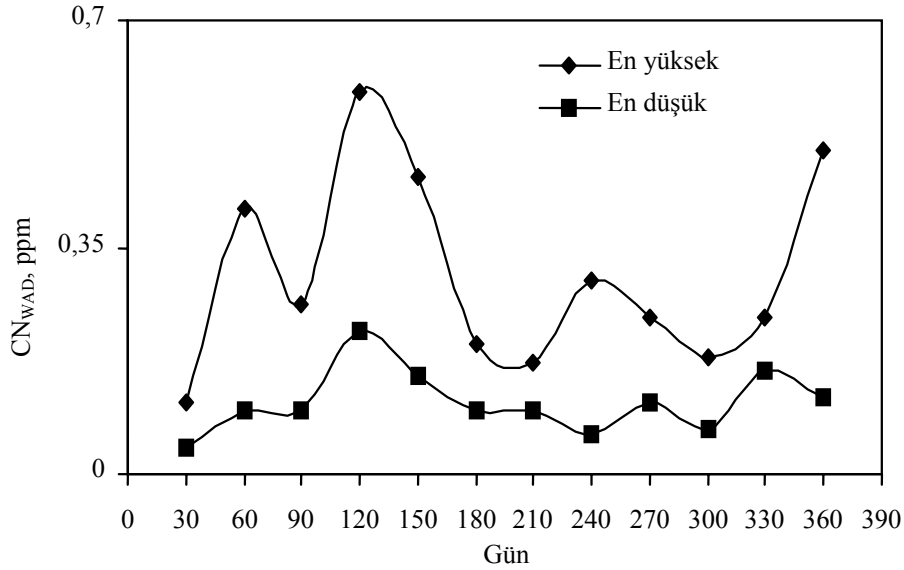
Tablo 3
Siyanür konsantrasyonlarının istatistiksel ortalamaları

Yıl	Ay	Siyanür konsantrasyonu		Çevre Bakanlığına taahhüt edilen değer Detox* (ppm)
		Ortalama		
		Atıksu* (INCO çıkışı) (ppm)	Durusu* (atık havuzu geri dönüş) (ppm)	
2001	Haziran	0.22	0.06	
	Temmuz	0.41	0.20	
	Ağustos	0.32	0.13	
	Eylül	0.43	0.42	
	Ekim	0.38	0.32	
	Kasım	0.26	0.14	
	Aralık	0.38	0.13	1
2002	Ocak	0.40	0.19	
	Şubat	0.26	0.18	
	Mart	0.28	0.12	
	Nisan	0.33	0.20	
	Mayıs	0.30	0.23	

* CN wad



Şekil 3. Haziran 2001 ila Mayıs 2002 arasında Atıksu (INCO çıkışı) deşarjlarına ait istatistiksel sonuçlar (en yüksek -en düşük)



Şekil 4. Haziran 2001 ila Mayıs 2002 arasında Durusu (atık havuzu geri dönüş) deşarjlarına ait istatistiksel sonuçlar (en yüksek -en düşük)

4. SONUÇ

Her ne kadar siyanür insanlar için toksik olup, çevreye olumsuz yan etkileri olabilirse de, siyanür ve bileşikleri ile ilgili bilgilerimiz, güvenli bir kullanım için yeterlidir. Maalesef insan kusurundan kaynaklanan kazalar meydana gelmiştir ve sayıları azalsa da, ileride de meydana gelecektir. Mamaafih, siyanürün genel anlamda ve çevreyle ilgili güvenilirliği, diğer endüstriyel kimyasallarla karşılaştırıldığında mükemmeldir. Şurası açıktır ki, siyanürün yararları risklerinden çok fazladır ve siyanür ve bileşikleri kullanılmadığı takdirde hayatımız bundan olumsuz şekilde etkilenecektir (Mudder 1999).

UNEP ve Uluslararası Metal ve Çevre Konseyi, geçen yıllarda ve özellikle de son 2 yılda, madenlerde meydana gelen kazaları araştırmış ve çevresel kriterlerle ilgili çalışmalarını gözden geçirmiştir. İlgili tüm kuruluşların temsilcilerinin katılımıyla, bu sektörde de aynı Kural uygulanmıştır. Gönüllü kuruluşlar Kuralın uygulanmasını planlayacaklardır. Ovacık Altın Madeninde yapılan test çalışmaları başarıyla sonuçlanmış ve bir yıl süresince (Haziran 2001-Mayıs 2002) siyanür ve ağır metal konsantrasyonlarıyla ilgili limit değerler aşılmamıştır.

Bilimsel ve mühendislik yöntemleri kullanılarak, siyanür gibi toksik kimyasallar, kabul edilebilir limitlere kadar azaltılabilir ya da toksik olmayan formlara dönüştürülebilir. Doğal kaynaklardan metal ve minerallerin çıkarılması ve işlenmesinde çevreyle ilgili kaygılar dikkate alınmalıdır. Ovacık Altın Madeninde yapılan benzer çalışmalar sayesinde, çevreyi yeterli ölçüde korumak ve zararları asgaride tutmak üzere tedbirler alınması mümkündür.

Bu çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Test dönemi süresince, T.C. Çevre Bakanlığı'nın belirlediği limitlere göre, çevre kriterleri aşılmamıştır.
- Ovacık Altın Madeni atıklarındaki ağır metal konsantrasyonları, doğaya salınan atık sulu çamur ile ilgili olarak Avrupa Birliği tarafından öngörülen limitlerin çok altında kalmıştır.
- Atık havuzuna atık deşarjı 1 ppm siyanürden (CNwad) daha düşüktür.
- Atık havuzundan işletmeye atıksu geri dönüşü gerçekleştirilebilmektedir.
- Çevreye ne doğrudan ne de dolaylı yoldan deşarj meydana gelmiştir.

Teşekkür

Yazar, bu makaleyi yayınlama izninden dolayı, Newmont Australia Ltd Türkiye (eski adıyla Normandy Mining Co.) şirketine teşekkür eder. Yazar ayrıca, çok değerli yorumları ve işbirliği için Dr. Terry Mudder'a (ABD) müteşekkirdir. Nihayet, bu makaleyi gözden geçiren hakemlere teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- Akcil, A., 2001. Cyanide versus environment: Turkey's final decision. *Mining Environmental Management*, United Kingdom, vol. 9, no. 6, pp. 22-23.
- Akcil, A., Oygur, V. and Ciftci, H., January 2002a. A Case Study: Decomposition of Cyanide and Heavy Metal Stabilization in Ovacık Gold Plant, International Conference on Mineral Processing Technology, Bangalore, India.
- Akcil, A., 2002b. Cyanide control in tailings pond: Ovacık Gold Mine, Turkey. Seventh International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP), Italy (in press).
- Akcil, A., 2002c. Turkey. *Mining Annual Review*, The Mining Journal Ltd., United Kingdom, pp. 1-4.
- Borberly, G.J., Devuyt, E.A., Ettl, V.A., Mosoiu, M.A., Schitka, K.J., 1984. Cyanide removal from aqueous streams, Canadian patent, no.1, 165,474, April 10, 1984, Covered by US patent 4, 537, 686, August 27, 1985.
- Habashi, F., 1987. One hundred years of Cyanidation, *CIM Bulletin*, vol. 80, No.905, pp.108-114.
- Habashi, F., 1995. Gold through the ages, *CIM bulletin*, vol. 68, no. 990, pp.60-69.
- Higgs, T.W. & Associates, 1995. *Technical Guide for Environmental Management of Cyanide in Mining* prepared for Mining Association of British Columbia, Canada.
- Mudder, T., 1999. *Making Sense of Cyanide*, prepared for and published by The Gold Institute, Washington, D.C. (USA), pp. 1-9.
- Mudder, T. (editor), 2001a. "The Cyanide Guide", a special issue of *Mining Environmental Management*, published by The Mining Journal, London, England, 45 pages.
- Mudder, T., Botz, M., and Smith, A. (co-editors), 2001b. *The Cyanide Compendium*, published by Mining Journal Books, London, England, 1000+ pages on CD.
- Robbins, G., Devuyt, E., Malevich, A., Agius, R., Iamarino, P., Lindrall, M., 2001. Cyanide Management at Boliden Using the Inco SO₂/air Process. International Conference on Mining and the Environment (Securing the Future), Skelleftea, Sweden, vol. 2, pp. 718-728.

United States Environmental Protection Agency, 1987. Extremely Hazardous Substances List and Threshold Planning Quantities: Emergency Planning and Release Notification Requirements., Federal Register 52: 13378-13410.

United States Environmental Protection Agency, 1988. Ore Mining and Dressing Point Source Category Effluent Limitations Guidelines, 40 CFR 440.

United Nations Environment Programme (UNEP), February 2002. The International Cyanide Management Code (Draft Final Version), Paris, France.

World Bank, 1994. Environmental Health and Safety Guidelines, Mining and Milling-Open Pit.

World Health Organisation, 1984. Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva, Switzerland.