

# ALTIN TESİSİNİN GÜNCEL VERİLERİ SİYANÜRLEME VE ÇEVRESEL ETKİLERİ HAKKINDAKİ HERŞEYİ AÇIKLIYOR\*

A. Ekrem Yüce, Güven Önal ve H. Mustafa Tarkan

İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Bölümü, 80626, Maslak, İSTANBUL, TÜRKİYE

## ÖZ

Cevherlerden altın ve gümüşü elde etmek için kullanılan siyanürleme işlemi 130 yılı aşkın bir süredir yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Günümüzde siyanür kimyası ve toksikolojisi hakkındaki bilgi düzeyi, uygun bir şekilde yönetildiği takdirde, siyanürün madencilik sektöründe başarı ile kullanılabilmesini göstermektedir. Prosesin basitliğine ve parametrelerin kolay kontrol edilebilmesine karşın siyanür içeren atıklar, bunların bertaraf edilmesi yöntemleri ve söz konusu atıkların yönetimi dikkatleri büyük ölçüde çevre ile insan sağlığı ve güvenliği konularına çekmektedir.

Ovacık altın tesisi Türkiye'nin ilk altın projesidir. Tesis yılda 300.000 ton cevher işleyerek yaklaşık 3 ton altın ve bir o kadar da gümüş üretecek şekilde tasarlanmıştır. Halihazır işletme akım şemasına göre, atıklar, geçirimsiz atık havuzuna gönderilmeden önce T.C. Çevre Bakanlığı'nın öngördüğü sınırları sağlamak için üç kademeli kimyasal bozundurma devresinde arıtılmaktadır.

İşletme süresi boyunca, siyanür ve onunla ilişkili bileşiklerin konsantrasyonu, ağır metal seviyeleri, maden sahasındaki toz seviyesi ve hava kalitesi gibi tesis çıktıları belirli aralıklarla ölçülmekte ve sonuçlar aylık olarak yayımlanmaktadır.

Bu makalede, altı aylık deneme üretimi süresince elde edilen tesis çıktıları mevzuatta öngörülen standartlarla karşılaştırılmalı olarak incelenmektedir. Tüm veriler, prosesin ulusal ve uluslararası mevzuatta öngörülen kriterlere göre güvenilir olduğunu göstermektedir.

## GİRİŞ

Cevherlerden altın ve gümüşü elde etmek için kullanılan siyanürleme işlemi 130 yılı aşkın bir süredir yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Günümüzde siyanür kimyası ve toksikolojisi hakkındaki bilgi düzeyi, uygun bir şekilde yönetildiği takdirde, siyanürün madencilik sektöründe başarı ile kullanılabilmesini göstermektedir. Bugün, bir çevre dostu proses olarak siyanürleme, tiyoüre, tiyosülfat ve tiyosiyanat gibi alternatiflerine oranla en uygun, en basit ve en ekonomik olanıdır.

Prosesin basitliği ve parametrelerin kolay kontrol edilebilmesine karşın siyanür içeren atıklar, bunların bertaraf edilmesi metotları ve söz konusu atıkların yönetimi dikkatleri büyük ölçüde çevre ile insan sağlığı ve güvenliği konularına çekmektedir. Unutulmamalıdır ki tüm dünyada madencilik sektöründeki uygulamalar, atık havuzu yönetimi planı, acil durum eylem planı, işyeri sağlığı ve güvenliği planı, maden kapatma planı ve ani müdahale sistemleri dahil en iyi çevresel yönetim sistemlerini dikkate almaktadır.

Türkiye'de madencilik sektöründe siyanürün ilk kullanımı 1987'de Kütahya-Gümüşköy'de gümüş eldesi için başlatılmıştır. Sodyum siyanür, serbest siyanür iyonları, zayıf asitte çözünür metal siyanür bileşiklerini içeren proses atıkları doğal

---

\* Uluslararası Katı Atık Birliği (ISWA) tarafından Temmuz 2002'de düzenlenen **Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Uygun Çevre ve Katı Atık Yönetimi ve Teknolojileri Kongresi**'nde sunulan ve bildiriler kitabının 4. cildi, 2251-2258 sayfalarında yayımlanan bildirinin Türkçe çevirisidir.

bozunma metodunun uygulandığı atık havuzuna doğrudan boşaltılmaktadır. Tesisin 15 yıllık işletmesi sırasında, siyanür kullanımı ile ilgili herhangi bir zarar veya kaza kaydedilmemiştir.

Ovacık altın tesisi Türkiye'nin ilk altın zenginleştirme tesisidir ve deneme üretimine Mayıs 2001'de başlanmıştır. Tesis yılda 300.000 ton cevher işleyerek yaklaşık 3 ton altın ve aynı miktarda gümüş üretmek üzere tasarlanmıştır. Maden, açık ocak, yeraltı işletmesi ve geleneksel siyanür prosesinden (CIP) oluşmaktadır.

Arazinin konumu ve iklim şartları, atıkların geleneksel bir şekilde ortama sıfır deşarjı olan bir havuzda biriktirilmesine izin vermektedir. Bununla beraber, atık yönetimi, geçirimsiz atık havuzuna gönderilmeden önce atıkların TC. Çevre Bakanlığı'nın öngördüğü sınırları sağlamak için üç kademeli bir kimyasal bozundurma devresinde işlemden geçirilmesini içermektedir. Atık havuzunun azami siyanür konsantrasyon limiti 1 mg/L'dir. Atık havuzu, 50 cm kalınlığında, 1,5 mm HDPE jeomembran ve 20 cm kilden oluşan bileşik astar sistemi ile sızdırmaz hale getirilmiştir.

## **CEVHER ZENGİNLEŞTİRME**

Ovacık Altın Madeni zenginleştirme prosesi pülp içinde karbon (CIP) işleminden ibarettir. Tesis 12 g/t Au ve 18 g/t Ag içeren cevheri %91 Au ve %73 Ag kurtarma randımanlarıyla elde etmek üzere tasarlanmıştır. Tesis aşağıdaki temel işlemlerden oluşmaktadır:

- Kırma, eleme
- Öğütme
- Kıvamlaştırma
- Liç ve karbon adsorpsiyonu
- Sıyırma ve altın kazanımı
- Atık arıtma ve bertaraf etme
- Proses çıktıları kontrol birimleri.

Ocaktan çıkan cevher iki kademede kırıldıktan sonra iki kademeli öğütme birimine beslenir. Öğütülen ve %80'i 0.038 mm altında olan malzeme siyanürleme (CIP) devresine gönderilir.

Siyanürleme işlemi mekanik olarak karıştırılan iki tankta, her bir ton cevher için 0,8 kg sodyum siyanür ilavesiyle 20 saatte yapılır. Karbon adsorpsiyonunu takiben iki kademeli sıyırma işlemi yapılır ve elektro kazanma işlemine geçilir. Bu işlemde, yüklü katotlar belirli aralıklarla elektro kazanma hücrelerinden alınarak katot üzerinde birikmiş olan altın ve gümüş yüksek basınçlı yıkama biriminde elde edilir. Altın-gümüş birikintisi, izabe işlemine tabi tutulmadan önce, süzülüp kurutulur.

## **ATIKLARIN ARINDIRILMASI**

CIP tesisinden gelen atık çamuru, TC. Çevre Bakanlığı tarafından siyanür ve ağır metaller için konmuş olan sınırları aşmamak amacıyla, INCO Technical Services Limited of Canada tarafından tasarlanmış olan kimyasal bozundurma devresinde işlemden geçirilir. Siyanür için konan üst sınır 1 mg/L'dir.

Üç kademeli bir arıtma devresi bulunmaktadır. Birinci kademede SO<sub>2</sub> tedariki için sodyum metabisülfid (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve O<sub>2</sub> tedariki için basınçlı hava kullanılmaktadır. Serbest siyanür ile birlikte çinko, bakır, nikel siyanürler gibi zayıf metal siyanür bileşiklerinden oluşan zayıf asitte çözünebilir siyanür, siyanata (CNO<sup>-</sup>) oksitlenir. Siyanürden arınan metaller de hidroksit olarak çökeltilir. Siyanat iyonu ise duraylı olmadığından hidrolize olarak karbonat ve amonyağa dönüşür. Oksitlenmeyi ve demir siyanürlerin çökeltmesini hızlandırmak için bakır sülfat ilave edilir. İkinci

kademede arsenik ve antimonu çöktürmek için ferrik sülfat ilave edilir. Bu çöktürmeler geniş bir pH yelpazesinde son derece duraylıdır. Her iki kademede de, son derece kompleks yapılı olan demir siyanürler devrede zaten bulunan ( $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ) veya dışardan ilave edilen ( $Fe^{3+}$  ve  $Cu^{2+}$  gibi ) metal iyonları ile suda çözünmeyen metal ferrosiyanoür bileşiklerini oluşturularak sistemden uzaklaştırılır.

Kimyasal olarak bozundurulmuş atıklar atık havuzuna pompalanır. Atık havuzundaki durumu prosese kullanılmak üzere zenginleştirme tesisine geri pompalanır. Tesise geri gönderilen durumu, gerektiğinde, ferrik sülfat ilavesi ile arsenik ve antimon içeriğinin daha da düşürülmesi amacıyla üçüncü bir işlem kademesinden geçirilir. Söz konusu üçüncü safha, zenginleştirme tesisinde toplanan siyanür döküntülerinin hipokloritle arıtımı için de kullanılabilir.

## ATIK HAVUZU

CIP tesisinden üretilen atıklar tesis yakınındaki atık havuzunda biriktirilir. 1,6 milyon  $m^3$ 'lük bir stok hacmi sağlayan atık havuzu, zenginleştirme tesisi bitişiğindeki küçük bir vadiye, vadiyi enine kesen iki sedde (ana sedde ve memba seddesi) inşa edilerek oluşturulmuştur. Seddelerle birlikte stok sahası toplam 16 hektarlık bir alana oturmaktadır. Atık stoklama tesislerine ana ve memba seddesi, su toplama kulesi, yüzey suyu biriktirme havuzu, derivasyon kanalı, drenaj ve dekantasyon sistemleri dahildir.

Atık havuzu 50 cm'lik sıkıştırılmış kil, üzerinde 1,5 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilenden mamul jeomembran, üzerinde 20 cm kalınlığında ikinci bir sıkıştırılmış kil tabakası ve en üstte filtre tabakasından oluşan bileşik astar sistemi ile kaplanmıştır. Atık suyun, yeniden kullanılmak üzere tesise pompalandığı su toplama kulesine toplanması için filtre tabakasına drenaj boruları yerleştirilmiştir.

## SİYANÜRLEME TESİSİNİN GÜNCEL VERİLERİNİN İNCELENMESİ

Tesisin işletilmesi sırasında, maden sahasında siyanür ve siyanürle ilgili bileşiklerin konsantrasyonları, ağır metal seviyeleri, toz miktarı, hava kalitesi gibi tesis çıktıları belirli aralıklarla izlenmekte ve günlük olarak ölçülmektedir. Yukarıda bahsi geçen ölçümlerin yapılacağı numunelerin alınma noktaları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Ovacık altın madeni çevre koruma ölçüm noktaları

## Havada HCN Gazı Ölçümleri

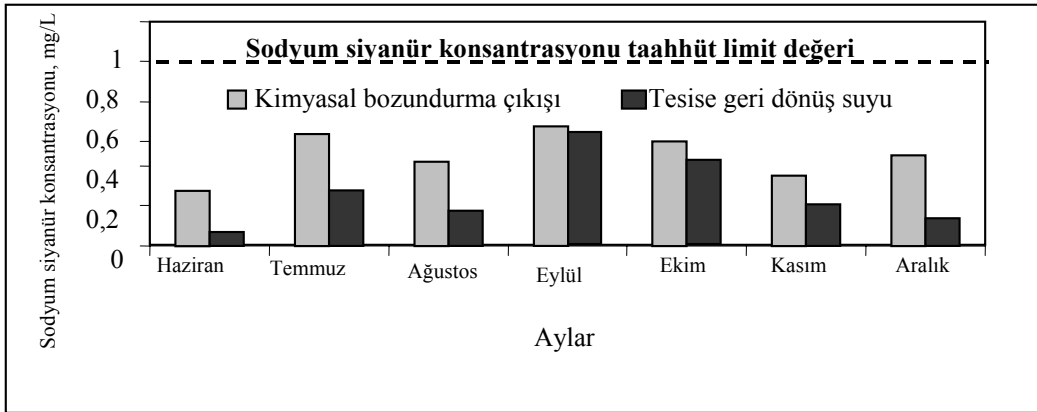
Uluslararası standartlarda izin verilen HCN gazı üst limitleri şöyledir:

- ABD : 10 ppm (11 mg/m<sup>3</sup>)
- Almanya : 10 ppm (11 mg/m<sup>3</sup>)
- Birleşik Krallık : 10 ppm (11 mg/m<sup>3</sup>)

T.C. Çevre Bakanlığı'na göre, Türkiye'de HCN gazı limitleri yukarıda sıralanan ülkelerdeki gibidir. Ovacık Altın Madenindeki HCN gaz ölçümleri altı ay süre ile Şekil 1'de gösterilen noktalarda yapılmıştır. Tüm deneme üretimi süresince bugüne kadar, havada ölçülen HCN konsantrasyonu sıfırdır. Bu, maden sahasında HCN gazının tehlikeli veya zararlı etkisinin bulunmadığı anlamına gelmektedir.

## Atıksuda Sodyum Siyanür Ölçümleri

Sınai uygulamalarda, atık havuzlarına deşarj edilen atık su için bir sınır bulunmamakla birlikte sodyum siyanür konsantrasyonu genel olarak 50-250 mg/l arasında değişmektedir. Ovacık Madeninde, üç kademeli kimyasal bozundurma sonrasında taahhüt edilen azami sodyum siyanür konsantrasyonu 1 mg/L'dir. Deneme üretimi süresince, kimyasal bozundurma çıkışı ile atık havuzundan tesise geri dönüş suyundaki sodyum siyanür ölçüm değerleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



**Şekil 2. Kimyasal bozundurma ünitesi çıkışında ve atık havuzundan sirküle edilen durusuda sodyum siyanür ölçümleri.**

Şekil 2'den görülebileceği gibi, tüm deneme üretimi süresince kimyasal bozundurma aşaması sonrasında sodyum siyanür konsantrasyonu 0,18 mg/L ila 0,45 mg/L arasında değişmektedir. Tesise geri gönderilen duru suyun azami sodyum siyanür konsantrasyonu 0,39 mg/L olarak ölçülmüştür.

## Atık Havuzunda Yapılan sodyum siyanür Konsantrasyonu Ölçümleri

Uluslararası uygulamalarda ve Ulusal Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliğinde arsenik ve antimon için bir sınırlama getirilmemiş, ancak bazı ağır metaller için sınırlama konmuştur. Ovacık altın yatağının kimyasal ve mineralojik analizleri yatağın kayda değer miktarda ağır metal içermediğini göstermektedir. Ağır metaller için taahhüt limitleri Çizelge 1'de verilmektedir.

**Çizelge 1. Ağır Metaller İçin Taahhüt Edilmiş Üst Sınır Değerleri (Ovacık Altın Madeni)**

Metal	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	Fe	As	Sb
İzin verilen maksimum limit, mg/L	5	2	5	1	2	0,1	10	5	5

Ovacık Altın Madeni'nde, Temmuz 2001'den beri ağır metal konsantrasyonları muntazam aralıklarla ölçülmüştür. Bu süre zarfında arsenik ve antimon konsantrasyonlarının izin verilen sınırların altında olduğu tespit edilmiştir (<0,5 mg/L). Ovacık Madeni'nde ölçülen diğer ağır metal konsantrasyonları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2. Ağır Metal Konsantrasyonlarının Aylık Ölçümleri (mg/L)**

Ay	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	Fe
Haziran	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,163
Temmuz	0,125	<0,005	0,009	<0,01	<0,01	0,0022	<0,03
Ağustos	0,268	<0,005	0,011	<0,01	<0,01	0,002	0,058
Eylül	0,703	<0,005	0,005	<0,01	<0,01	0,0017	0,08
Ekim	0,680	<0,005	<0,005	<0,01	<0,01	0,0034	0,036
Kasım	0,300	<0,005	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	0,0072

### Yeraltı Suyu Kalite Ölçümleri

Maden sahasında yeraltı suyu kalitesini izlemek için dokuz numune alma noktası bulunmaktadır. Muntazam aralıklarla yapılan ölçümlerden elde edilen veriler, sonuçların tamamen TC. Çevre Bakanlığı'na verilen taahhüt sınırlarının altında kaldığını göstermektedir. Ekim 2001'de yapılan ölçüm sonuçları örnek olarak Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3. Maden Sahasında Yeraltı Suyu Kalitesi (Ekim 2001)**

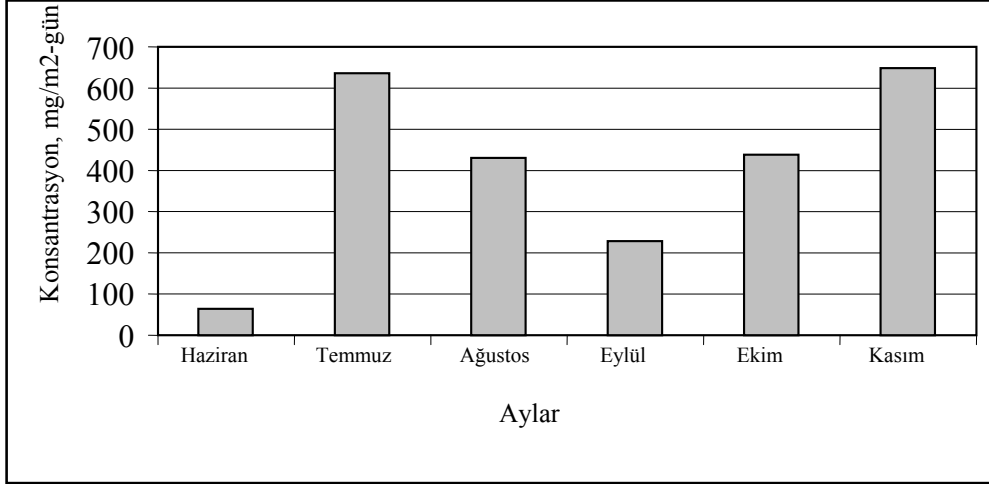
Parametre	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	GK6	Ovacık köyü	Çanköy Köyü	Süleymanlı köyü
pH	8,29	8,18	8,25	8,19	8,21	8,28	8,16	8,24	8,23
Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> )	177	219	330	308	270	294	280	244	284
Cl	29	30,7	45,9	36,4	33,8	41,1	34,2	32,3	33,1
SO <sub>4</sub>	50	100	80	68	19	48	96	112	106
Toplam CN	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
WAD CN	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sb	0,0001	0,0023	0,0007	0,0004	0,0002	0,0073	0,0004	0,0004	0,0003
As	0,0088	0,004	0,0116	0,0077	0,0787	0,124	0,0051	0,0051	0,0055
Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca	36,6	51,2	95	85,8	57,4	66,1	88,4	66,5	88,3
Cr	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cu	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fe	2,4	0,62	0,2	0,33	0,33	9,31	<0,03	<0,03	<0,03
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mg	16,5	16,5	31,7	31,6	19,6	27,1	33,4	22,2	32,1
Hg	<0,00005	0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Ni	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
K	4	5	5	5	5	6	4	4	3
Na	25	46	29	30	49	38	23	61	25
Zn	<0,005	0,022	<0,005	<0,005	<0,005	0,054	0,01	0,013	0,123

### Toz Emisyon Kontrolü

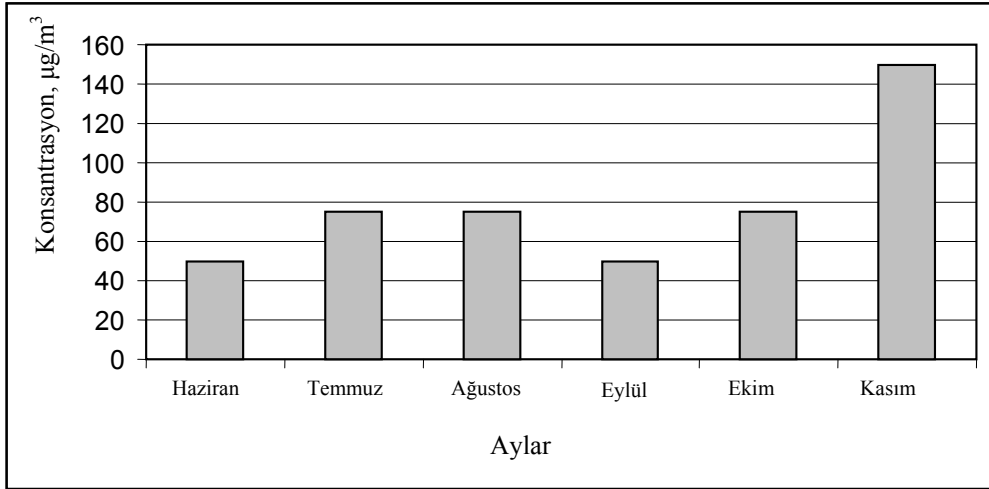
Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliğine göre, havada izin verilen azami toz emisyonu konsantrasyonları aşağıda verilmiştir:

	Uzun Vadede Müsaade	Kısa Vadede Müsaade
	<u>Edilen Sınırlar</u>	<u>Edilen Sınırlar</u>
Çöken toz konsantrasyonu	350 mg/m <sup>2</sup> -gün	650 mg/m <sup>2</sup> -gün
Asılı toz konsantrasyonu	150 µg/m <sup>3</sup>	300 µg/m <sup>3</sup>

Ovacık Altın Madeni sahasında yapılan çöken toz konsantrasyonu ölçüm sonuçları Şekil 3'de, asılı toz konsantrasyonu ölçümleri Şekil 4'te verilmektedir.



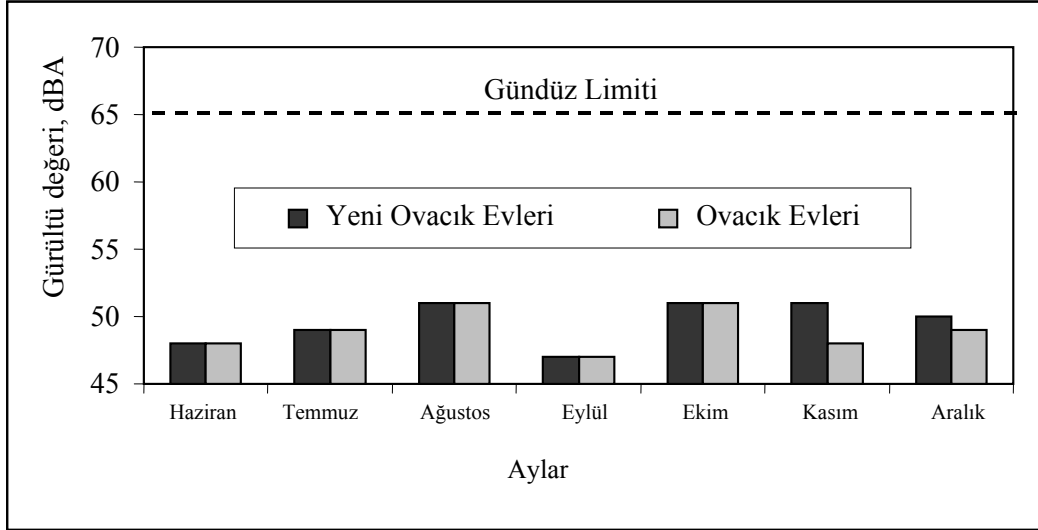
**Şekil 3: Çöken Toz Konsantrasyonu Ölçümleri**



**Şekil 4: Asılı Toz Konsantrasyonu Ölçümleri**

### Gürültü Kontrol Ölçümleri

Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre, izin verilen azami gürültü seviyeleri gündüz 65 dBA ve gece 55 dBA olmakla beraber, geceleri patlatma işlemi yapılmamaktadır. Aylık gürültü ölçüm değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



**Şekil 5 : Aylık Gürültü Ölçüm Değerleri**

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyadaki altın ve gümüş üretiminin % 85'i doğrudan veya dolaylı olarak siyanürle zenginleştirme metotları ile yapılmaktadır. Saf siyanürün mutlak toksik etkisi olduğu bilinmektedir. Bununla beraber, madencilik sektöründe siyanürün çevresel riskleri, istenmeyen etkilerinin önlenebileceği ve siyanür kullanımının yönetilebileceği belgelerle sabittir. Bu nedenle, siyanürün madencilikte kullanımı ile ilgili herhangi bir bilimsel veya teknik sorun bulunmamaktadır.

Türkiye'de madencilik sektöründe siyanür kullanımına, 1987 yılında gümüş elde edilmesi amacıyla Gümüşköy gümüş tesisinde başlanmıştır. Bu tesiste, siyanür kullanımından ötürü herhangi bir zarar veya kaza kaydedilmemiştir. Buna ilave olarak kimya, metal, boya, sağlık, deri ve tekstil gibi sanayinin pek çok dalında yılda yaklaşık 2000 ton sodyum siyanür tüketilmektedir. Öte yandan, madencilik tesislerinde yıllık siyanür tüketim miktarı yukarıda verilen sanayi dallarıyla aynıdır.

Siyanür kullanımı ile ilgili tartışmalar Ovacık Altın Madeni ile ilgili faaliyetler başladıktan sonra başlamış ve konu pek çok platformda tartışılmıştır. Bu tartışmalar, genel olarak, ne yazık ki herhangi bir teknik veya bilimsel veri ile desteklenmemiştir.

Bu çalışmada Ovacık altın tesisinde deneme üretiminin son altı ayında gerçekleşen siyanür ve HCN konsantrasyonları, yeraltı suyu kalitesi, toz emisyonları ve gürültü seviyeleri incelenmiş, ulusal ve uluslararası mevzuatta öngörülen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Güncel tesis verileri ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Güncel tesis verileri, yani, sodyum siyanür ve HCN konsantrasyonları, yeraltı suyu kalitesi, toz emisyonları ve gürültü seviyesine ilişkin veriler, Ovacık altın madenindeki son altı aylık deneme üretiminin ulusal ve uluslararası mevzuata uygun olarak yapıldığını göstermektedir.
- Bilimsel ve teknik yönden Ovacık Altın Madeni projesinin her aşamasının son derece güvenilir olduğu görülmektedir.
- Tesis parametrelerinin ölçüm değerlerine göre, proses mutlak manada tamamiyle güvenli ve güvenilir olup hiç bir sorunu bulunmamaktadır.
- Mevcut prosesin çevresel etkileri hakkındaki tartışmalar yersizdir ve bu tartışmalara bir son verilmelidir.

## **KAYNAKLAR**

- Golden Associates (UK) Ltd., Report on Probabilistic Risk Assessment, Ovacık Mine Tailings Dam, Turkey, 1998.
- INCO SO<sub>2</sub>/Air Cyanide Destruction Process Design Criteria. 1993.
- MAPTEK, Ovacık Gold Mine Acid Potential Tests Assessment, 1999.
- Ovacık Gold Mine, The ministry of Environment Protocol, 1994.
- Ovacık Gold Mine, Current Planı Output Date, Monthly Reports (between June-and November). 2001
- Smith. A. and Mudder, T., The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes, Mining Journal Books Limited, ISBN:0 90011751 6, London, 1991.
- Yüce, A.E., Girgin. Ş., Önal, G., Doğan, Z., "The Truth About Cyanidation and Its Environmental Effects on Gold Mining", The Criton Curi Int. Symp. on Environmental Management in the Mediterranean Region, Ed: Günay Kocasoy, Vol: 2, 867-880, Antalya, June, 1998.
- Yüce, A.E., Önal, G., (Eds.), Gold Mining and Environment, Turkish Mining Development Foundation (YMGV), ISBN: 975-7946-07-9, January, (1998).
- Yüce, A.E., Önal, G., "Gold Mining and Tailings Dam in Ovacık, Turkey" VIth Southern Hemisphere Meeting On Minerals Technology, 27 May-01, June 2001. Rio de Janeiro/RJ-Brazil.