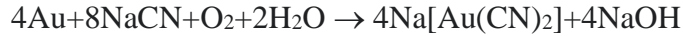




## Siyanürlü Altın İşletmeciliği: Çevre ve Sağlık Riskleri

### 1. Tarihçe

Altın cevherinden %96 oranında saf altın teminini sağlayan siyanürlü “MacArthur–Forrest” süreci 1887 yılında patent almış ve çok sayıda işletme sorunlarına rağmen, ilk kez 1890’da İskoçyalı bir şirket tarafından uygulamaya konmuştur (Gray and McLachlen, 1933). Sürecin temel prensibi, ezilmiş cevherin siyanürlü (tercihen sodyum siyanür - NaCN) bir su çözeltisinde hava veya saf oksijenle tepkiyerek süspansiyon haline getirilmesidir:



Yukarıdaki kimyasal tepkimeden anlaşıldığı üzere altın, sodyum siyanür ve oksijenle oksitlenerek suda çözünen bir kompleks olan  $\text{Au}(\text{CN})_2$  bileşiğini oluşturur. Bu kompleks bir sonraki aşamada aktif karbon veya benzer bir tutucu ile muamele edilir ve içinden altın ayrılırdı.

1900 yılında, altını ayırdıktan sonra geriye kalan serbest siyanürün bir çevre ve sağlık sorunu olduğunu gören iki Amerikalı bilim insanı (Charles W. Merrill ve Bennett Crowe), aktif karbon yerine vakum ve çinko tozu kullanarak bir yandan altını ayırıp, diğer yandan da siyanürün indirgenerek zararsız hale dönüşmesini sağlayan bir işlem bularak (“Merrill-Crowe Process”) MacArthur-Forrest sürecinin uygulanabilirliğine katkı sağlamışlardır (Adams, 2005). 20.yüzyılda ABD’deki birçok altın madeni bu yöntemle işletilmiş, ancak yıkama esnasında oluşan zehirli hidrojen siyanür gazını önlemek için yıkama çözeltisine kireç eklenmesi zorunlu tutulmuştur (Du Plessis, et al 2021).

Dünya genelinde, altın üretiminin %90’ı halâ siyanürlü işleme gerçekleşmekte ise de siyanürün çevrede kalıcı ve zehirli olması bu uygulamaya gelen tepkileri giderek arttırmaktadır. 20.yüzyıl sonlarında, sulu siyanür çözeltilerinin gün ışığında fotolize uğrayarak daha az zehirli ara veya yan ürünlere dönüştüğü görülmüşse de bu ürünlerin tümünün yıllarca hiç değişmeksizin suda kaldığı anlaşılmıştır (Yarar, 2002). Diğer taraftan, pH kontrolü doğru yapılmadığı takdirde yıkama havuzlarından buharlaşma yoluyla havaya karışan hidrojen siyanürün fotoliz (ışık etkisi) veya oksijenle tepkiyerek parçalanmadığı ve çok uzun süre (5-6 yıl) atmosferde kaldığı gözlemlenmiştir. (Bruger et al., 2018).

Bugüne dek görülen yetmiş civarında altın madeni kaza veya olayında binin üstünde can kaybı yaşanmış, ancak kazaların toplum sağlığı üzerindeki etkileri henüz kesinleşmemiştir. Her kaza sonunda, akut etkileri önleme kapsamında yerleşim bölgelerindeki insanların civarda bulunan su kaynaklarına ulaşımaları engellenmişse de buharlaşma ile havaya yayılan gazdan etkilenme ve su kaynaklarının siyanürle kirlenmeleri önlenememiştir. Aşağıdaki tabloda, son otuz yılda kaydedilen siyanürlü altın işletmelerine ilişkin en önemli kaza veya vahim olay listesi ve kaynakları görülmektedir (Wikipedia):

YIL	ÜLKE/Maden	OLAY
1995	Guyana/Omai	Maden barajının çökmesi
1998	Kırgızistan/Kumfor	Bir kamyonun köprüden işletme alanına düşmesi
2000	Romanya/Baia Mare	Maden barajının çökmesi
2018	Meksika/San Dimas	Siyanür taşıyan kamyonunun nehre düşmesi
2024	Türkiye/Çöpler	Kayan toprak yığınının siyanür ve sülfürik asit kulelerine çarpması

## 2. İşletme İşlemleri ve Aşamaları (TEMA, 2018)

Siyanür yıkamalı altın eldesi dört ana işlemde oluşur:

### 1- Arama ve Projelendirme

Bu süreç, yüzlerce sondaj kuyusunun açılmasını ve sondaj araçlarının rahat hareket etmesi için bazı orman ve tarım alanlarının yok edilmesini içerir. Sondaj ile anlamlı sonuç alınması halinde, projelendirme ve ÇED raporlandırması aşamasına geçilir. Raporlar sonlandıktan sonraki aşama ise alanın bulunduğu yerdeki binlerce hektar orman, tarım alanı ve meranın yok edilmesi ve binlerce ton su kaynağının cevher yıkama işlemlerinde kullanılması için gerekli izinlerin alınmasıdır.

### 2- Sıyırma, Patlatma ve Kazma

Sıyırma, alanın üst katmanında yer alan ağaç ve çalılıarın kesilmesi ve buradaki verimli toprakların uzaklaştırılması anlamına gelir. Daha sonra, cevherin bulunduğu katmana ulaşana dek dinamitle patlatma süreci başlar. Patlatma sırasında kayaların çatlak sisteminde oluşan değişimlere bağlı olarak yeraltı sularının beslenme rejimi bözülür ve azalmaya uğrar. Patlatma işlemi ayrıca, çevredeki arazi topraklarında kaymaya, yerleşim bölgelerindeki yapılarda çatlak oluşumuna, sarsıntılara, heyelana, göçük ve yoğun toz bulutlarına neden olur. İşlem yıllarca devam ettiğinden dolayı, toza maruz kalan insanlarda kronik akciğer hastalıkları görülebilir. Ayrıca, bitkilerin çoğu kuruduğu için bölgedeki arıcılık etkinlikleri sona erer.

Cevhere ulaştıktan sonra kazma işlemi başlar. Cevherli toprak taşınırken, “pasa” tabir edilen altın içermeyen toprak ayrı bir yerde depolanır ve burada dev çukurlar ve devâsâ pasa dağları oluşur. Bu toprak dağlarında bulunan mineral ve ağır metallerin hava ile temas etmesi sonucu asit-maden drenajları ve asitli su akışları meydana gelir.

### 3- Öğütme ve Siyanürle Yıkama

Kaya ve topraktan oluşan altın cevheri küçük taneciklere dönüştürölüp plastik bir membranla kaplanmış olan siyanür alanına (li) taşınır ve burada siyanürlü su çözeltisi ile yağmurlama yöntemiyle yıkanarak içinden cevher ayrılır. “Siyanür liçi” adı verilen bu işlem kapalı alana göre daha ucuz olduğu için açık alanda gerçekleştirilir ve büyük miktarlarda su kullanarak 6-8 hafta sürer.

Altın madeni işletmelerinden çevreye siyanür yayılması, yıkama suyundan sıçrama, suyun drenajı ve yıkama alanına yayılı plastik membrandan yıpranma, yırtılma veya zayıflama sonucu sızması ile meydana gelir. Siyanürün insan ve hayvan vücuduna girmesi ise soluma, toprakla temas ve su tüketimi ile gerçekleşir. Başlıca etkileri akut ve/veya kronik zehirlenmedir. Siyanür zehirlenmesinde Őikayetler maruz kalma Őekli, dozu ve süresine göre oldukça değişkendir. Nörolojik bulgular (baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı, kusma, idrar kaçırma, hareketlerde koordinasyon bozukluğu, Őuur bulanıklıkları, hatta koma); kalp hastalıkları (kalp ritim bozuklukları), akciğer sorunları (nefes darlığı ve solunum yetmezliği), ciltte renk değişikliği, bulantı ve kusma, böbrek yetmezliği ve tiroidde aşırı çalışma görülebilir.

### 4- Atık Depolama

Saf altın cevherden ayrıldıktan sonra arta kalan siyanürlü balık suyla yıkanarak içindeki siyanürün seyreltilmesi sağlanır. Ağır metal ve siyanür içeren bu atık daha sonra atık havuzlarına (atık maden barajlarına) depolanır. Bu alanda meydana gelebilecek membran sızıntıları, taşkınlr ve baraj çökmesi gibi kazalar sonrası balıktaki ağır metaller ve siyanür suya karışır. Bugüne dek dünya genelinde yaşanan baraj kazaları sonrası bine yakın insan yaşamını kaybetmiş, yaralanmış veya kaybolmuştur. Milyonlarca insan ise temiz içme suyu ve sağlıklı gıdaya ulaşım sıkıntısı yaşamıştır. 2000 yılında Romanya’da yaşanan baraj çökmesi kazası sonrası civar sularda ve hatta çok daha uzakta akan Tuna nehrinde ölçülen siyanür miktarının kabul edilebilir üst sınırın yüz kat fazlasına ulaştığı saptanmıştır. Buna bağlı olarak, aynı yıl ek Cumhuriyetinde, 2002 yılında ise Almanya ve Macaristanda siyanür madenciliği yasaklanmıştır. 2010 yılında AB parlamentosu, kaza risklerinin iklim değişikliğine bağlı olarak artmış olduğu gerekçesiyle AB topraklarındaki siyanür madenciliğine büyük sınırlamalar getirmiş, bir süre sonra da kapatılmalarını öngören bir yasayı uygulamaya koymuştur.

Erzincan'a bağlı İliç ilçesinde gerçekleşen toprak kayması faciasının nedeninin atık barajının çökmesi değil, işletme sürecinin ikinci aşaması olan ve uzun yıllar süren **patlatma ve kazma** işlemleri olduğu anlaşılmaktadır. 2010 yılında öpler Madeninde başlatılan sondaj ve onu takip eden patlatma ve kazma işlemleri sonrası kaya çatlaklarında değişimler olmuş ve ağır metal içerikli devasa toprak yığınları oluşturulmuştur. Bugüne kadar, Madendeki faaliyetlerinin yarattığı çevre riskleri ve ÇED raporlarının geçerliliği gibi konularda çok sayıda dava açılmış ve konu Türkiye Barolar Birliği dahil birçok STK tarafından takip edilmiştir.<sup>1</sup> 2022 yılında yaşanan siyanür borusunun patlaması kazası sonrası işlev durdurulmuş ve şirket aleyhine yasal işlem başlatılmıştır. Sadece 88 gün kapalı kalan tesis, bu süre içinde İliç Barajı ve Fırat nehrinin bazı kesitlerinden alınan örneklerde siyanür bulunmuş olmasına karşın ve soruşturma aşaması henüz sonuçlanmamışken tekrar faaliyete geçmiştir. Dava sonunda, mahkeme, şirketi kazadan sorumlu tutmuş ve 16 milyon TL üzerinde para cezası uygulanmasına karar vermiştir. Ceza bedelini ödeyen şirket, zaten karar öncesi yeniden başlattığı faaliyetini sürdürmeye devam etmiştir.

13 şubat günü yaşanan 10 milyon m<sup>3</sup> hacmindeki bir toprak kütesinin büyük hızla kayması olayına ilişkin yabancı kaynakların yaptığı değerlendirmeye göre akan veya kayan toprağın siyanür ve hidrojen sülfür kulelerine çarptığı anlaşılmaktadır. Ancak, kayma esnasında toprağın siyanür liçinden geçerek beraberinde liçi de taşıyıp taşımadığı henüz kesin değildir. Bazı yerli TV kanallarında kazada siyanür riski olmadığı belirtildiyse de toprağın siyanür kulesine çarpmış olması ve büyük olasılıkla siyanür liçinden de geçtiği düşünülürse, olayın çevrede yarattığı ve yaratacağı etkiler bugüne dek yaşanan kazaların hiçbiriyle karşılaştırılmaz boyuttur.

### 3. Siyanürlü Yıkama Yöntemine Alternatifler

Siyanürün ucuz, etkili ve yakın geçmişte yapılan araştırmalara göre biyolojik olarak ayrıştırılabildiği gerçeklerine karşın, çok zehirli bir madde olmasına bağlı olarak, altın elde etmenin alternatif yöntemlerinin araştırılması gerekli olmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmaların çoğunda, tiosülfat ( $S_2O_3^{2-}$ ), tioüre ( $SC(NH_2)_2$ ), iyodür, amonyak, sıvı civa ve alfa-siklodekstrin maddelerinin etkili olduğu görülmüştür. Hala pilot ölçekte sürdürülen çalışmalarda kullanılan ve siyanüre göre çok daha az veya hiç zararlı olmayan bu maddelerle yapılan cevher yıkama işlemlerinin maliyet ve altın verimi henüz siyanür işlemi seviyesine getirilememiştir.

Yaşanan bu elim kazadan sonra, ölkemizdeki madencilik faaliyetlerinin sürdürülmesinde bu tür öncü yöntemlerin denenmesi ve devreye alınması için özellikle Avustralya gibi yenilikçi yöntemleri uygulayan ölkelerin bilim insanları ile iř birliğine gidilmesi büyük önem taşımaktadır.

---

<sup>1</sup> Erzincan İliç'te yaşanan çevre felaketinin nedeni hukuksuzluktur - <https://www.barobirlik.org.tr/Haberler/erzincan-ilicte-yasanan-cevre-felaketinin-nedeni-hukuksuzluktur-84539>; İliç altın madenine karşı verilen mücadele ve uyarılar - <https://bianet.org/haber/ilic-altin-madenine-karsi-verilen-mucadele-ve-uyarilar-291879>; çöpler mine disaster - [https://en.wikipedia.org/wiki/öpler\\_mine\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/öpler_mine_disaster)

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

İliç ilçesinde meydana gelen siyanür ve ağır metal içerikli toprak kaymasının hem ekosistem hem de İliç ve civar bölgelerde yaşayan insanlar üzerinde çok olumsuz etkiler yaratacağı açıktır. Toprağa, suya ve havaya yayılan siyanür bileşiklerinin kısa süre içinde yok edilmesi mümkün olmadığından, ilk etapta palyatif önlemler alınması büyük önem taşır. Örneğin, Fırat sularıyla beslenen GAP bölgesindeki tarım ürünlerinin korunması için kısa vadeli çözümler üretilmeli, maden alanına yakın yerleşim alanlarındaki insanlara siyanürü geçirmeyen maskeler dağıtılmalı veya onların acilen bölgeden uzaklaştırılmaları sağlanmalıdır. Daha uzun vadeli ve kalıcı çözümler için ise bilim insanlarının görüşlerine başvurarak hava, su ve topraktan siyanür uzaklaştıran ileri arıtma tekniklerinin devreye sokulması gerekmektedir.

Son olarak, Türkiye sınırları içinde halen işletilmekte olan tüm altın madeni tesislerinin bir süreliğine kapatılarak, mevcut ÇED raporlarına ek olarak bu kazadaki ihmalleri gözeten çok daha kapsamlı ve sınırlayıcı nitelikte raporlar oluşturulmalıdır.

Daha önce benzer kazalar sonrasında yayımladığımız duyurularımızda da dile getirdiğimiz üzere, Bilim Akademisi olarak bilimin ışığında tüm vatandaşlarımız için can güvenliğini gözeten ve gelecek nesillerimizin haklarını da koruyan, doğaya saygılı düzenlemelerin ivedi olarak hayata geçirilmesini, insan hakları ve hukukun, bilim ve teknolojinin gereklerinin akılla, dürüstlikle, şeffaflık ve titizlikle uygulanmasını talep ediyoruz.

Bilim Akademisi Yönetim Kurulu, 19 Şubat 2024

*Uzman üyelerimizin değerlendirmelerine dayanarak hazırlanmıştır.*

## **Kaynakça:**

Adams, Mike D. (Dec 2005). *Advances in Gold Ore Processing*. Elsevier. pp. XXXVII–XLII. [ISBN 978-0-444-51730-2](#). [ISSN 0167-4528](#)

Brüger A, Fafilek G, Oscar J, Restrepo B, Lucas R (2018): *Sci.Tot.Env.*, 627, 1167-1173. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.320>[Get rights and content](#)

Gray, J. A.; McLachlen, J. (Jun 1933). "A history of the introduction of the MacArthur-Forrest cyanide process to the Witwatersrand goldfields". *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. **33** (12): 375–397. [hdl:10520/AJA0038223X\\_5033](https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X_5033)

TEMA (2018), [edn.tema.mncdn.ebm/siyanür-liçi-altın-madenciliği](http://edn.tema.mncdn.ebm/siyanür-liçi-altın-madenciliği).

WIKIPEDIA-The free Encyclopedia: Gold Cyanidation.

Yarar, B. (2002): "Long Term persistence of cyanide species in mine waste environments", Colorado School of Mines, Tailings and Mine Waste, Swets & Zeitlinger, [ISBN 90-5809-353-0](#), pp. 197.