

# *Yığın Liçi Uygulamaları ve Ekonomik Açıdan Önemi*

Heap Leaching and Its Economic Importance

Ismail GİRĞİN (\*)  
Halil İbrahim KIRŞAN (\*\*)

## ÖZET

Alışlagelmiş yöntemlerle değerlendirilemeyen düşük tenörlü cevher ve artıklar yığın liçi uygulamaları ile ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir. Bu uygulamaları, özellikle ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması çekici kılmaktadır.

Bu derlemenin amacı; yığın liçi uygulamaları, bu uygulamalarda önemli olan etkenler ile bazı alışlagelmiş seçenekli yöntemlerin ekonomik açıdan karşılaştırılması konularında bilgi vermektir.

## ABSTRACT

Heap leaching has the potential of being used economically for the mining of low grade ores and residues which currently are uneconomical to mine by conventional methods. These methods are especially attractive in that they reduce capital expenditures tremendously.

The purpose of this article is to give information about heap leaching methods, discuss the factors which effect the design of these operations and present an economic evaluation with respect to the alternative classical methods.

(\*) Doç.Dr. Öğretim Üyesi, H.Ü. Maden Müh. Böl., Beytepe - ANKARA

(\*\*) Maden Müh., MTA Genel Müd., MAT Dairesi, ANKARA

## 1. GİRİŞ

Yığın liçi, geçirimsiz bir zemin üzerindeki malzemeye çözücü gönderilerek kazanılmak istenen bileşenin seçimli olarak çözeltiye alınması işlemidir. Bu işlem, hazırlıklı yığın liçi (heap leaching) ve doğrudan yığın liçi (dump leaching) olmak üzere başlıca iki biçimde uygulanmaktadır.

Yığın liçi uygulamalarının önemi, alışlagelmiş yöntemlerle değerlendirilemeyen düşük tenörlü cevher ve artıkların ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak vermesidir. Bu uygulamalar, özellikle alışlagelmiş yöntemlerle üretim yapılan tesislere oldukça uzak mesafelerdeki, düşük tenörlü ve küçük rezervli yatakların değerlendirilmesinde her geçen gün artan bir önem kazanmaktadır. Bunun yanında, çoğu kez yüksek tenörlü ve küçük rezervli yataklar için de uygulamalar yapılmaktadır. Halen; özellikle altın ve gümüş, bakır ve uranyum cevherleri olmak üzere bu konudaki araştırma ve uygulamalar başarıyla sürdürülmektedir (Mashbir, 1964; Wentz ve diğerleri, 1979; Clem, 1982; Mc Clelland ve Eisele, 1982; Beard, 1983; Dayton, 1987; Keane ve Chase, 1987; Pizarro ve diğerleri., 1987).

Ülkemizde, 1974 yılında MTA Enstitüsü tarafından Köprü başında kurulmuş bir pilot tesiste uranyum cevherleri için hazırlıklı yığın liçi uygulaması yapılmıştır (MTA Raporu, 1982). Bunun yanında, Canbazoğlu (1988) açık işletme artığı okside bakır cevherleri üzerinde laboratuvar kolon testi çalışmalarını tamamlamış ve Ergani Bakır işletmelerinde pilot çapta bir yığın liçi uygulamasını başlatma aşamasına gelmişlerdir.

## 2. YIĞIN LIÇİNİ ETKİLEYEN ETKENLER

Yığın liçi uygulamalarından iyi sonuç alınabilmesi için, üzerinde işlem yapılacak malzeme, kullanılacak çözücü ve diğer reaktifler, yığının hazırlanması vb. başta olmak üzere çok çeşitli etkenlerin gözünü ne alınması gereklidir.

### 2.1. Yığın Liçi Uygulanacak Malzemede Aranılan Özellikler ve Gerekli Ön Hazırlık İşlemleri

Yığın liçi uygulamalarında cevherin mine-

ralojik yapısı çok önemli olup çözeltiye alınacak mineralin kolay çözünür olması tercih edilir. Çözünmeyi kolaylaştırmak için yığın hazırlama öncesi malzemenin tane boyunu küçültmek gerekebilir. Tane büyüklüğünü, cevherin yapısına bağlı olmakla birlikte genellikle 1 cm dolayına indirmek çoğu kez yeterli olmaktadır. En önemli noktalardan birisi ortamda kil türünde malzeme bulunmamasıdır. Yığında çözelti akışının düzenli olmasını sağlamak için killi malzemenin bir ön işlemle uzaklaştırılması gerekir. Malzemenin kendisinin ince taneli olması durumunda ise topaklandırma işlemi ile (Chamberlin, 1986) tanelerin iri boyutlu hale getirilmesi yoluna gidilmektedir.

Asit liçi uygulamalarında ortamda önemli ölçüde asit tüketimine neden olan safsızlıklar (karbonatlar vb.) bulunması istenmeyen bir durumdur. Bunun tersi, yani asit oluşturucu mineraller (pirit, pirotin, markasit vb.) bulunması ise asit tüketiminde önemli ölçülerde azalma sağlayabilmektedir. Bazı durumlarda, örneğin altının siyanür liçinde olduğu gibi, asit oluşturan mineraller, ortam pH'ının düşmesine ve sonuçta HCN gibi zehirli gazların çıkışına ya da en azından ortam pH'ının istenen değerde tutulabilmesi için fazladan reaktif tüketimine neden olmaktadır.

Önemli noktalardan bir diğeri de çözücü tüketimine neden olan safsızlıkların, örneğin siyanür tüketicisi kısmen okside Sb, Zn, Fe, Cu ve As sülfürler gibi, seçimliliği bozmalarından ötürü ortamda istenmemeleridir. Ayrıca, liç çözeltilisindeki değerli metal iyonlarını etkileyecek safsızlıklar da (Au ve Ag siyanürleri soğuran karbonlu bileşikler gibi) ortamda bulunmalıdır.

Bilindiği gibi bazı minerallerin çözünmeleri yükseltgeyici bir liç ortamı gerektirmektedir. Böyle bir ortam ise cevherdeki safsızlıklar ve/ya da dışarıdan yükseltgeyici reaktif eklenmesiyle sağlanmaktadır. Örneğin, altın ve gümüş cevherlerinin liçinde yığına oksijen enjeksiyonu (Worstell, 1987); uranyum ve bakırcvherlerinin liçinde de ortamdaki demir içeren minerallerin çözünmeleri sonucu oluşan Fe<sup>+3</sup> iyonları ile asidik Fe (III) tuzu liçi koşulları oluşturma yoluna gidilmektedir. Doğal olarak bakterilerin de doğrudan yada dolaylı bir etkileşme ile yükseltgeme yaptıkları bilinmektedir (Fletcher, 1970; Malouf, 1971 ; Gibbs ve diğerleri, 1985).

## 2.2. Yiğinin Hazırlanması

Çözücünün yapısına, bölgesel etkenlere ve maliyete bağlı olarak en yaygın kullanılan geçirimsiz zemin malzemeleri asfalt, beton, çeşitli türde plastikler ve kil olmaktadır. Yiğın üzerinde kamyon vb. dolaşmasına gerek kalmaksızın rahatlıkla 4-5 metre yükseklikte yiğınlar hazırlanabilmekte ve doymuş çözeltinin havuzlarda toplanmasını sağlamak için de alt zemine en az 3° lik bir eğim vermek gerekmektedir. Duruma göre; pompa sistemleri, borular ve havuzlar için paslanmaz çelik, fiber destekli plastikler ve kauçukla astarlanmış çeşitli türde malzemeler kullanılmaktadır. Uygulamaya bağlı olarak, zemin ve yiğının oluşturulması ile yiğında çözelti akışının düzenli olmasını sağlamak için gözönüne alınması gereken noktalar çeşitli çalışmalarda ayrıntılı olarak verilmiştir (Min. Eng., 1979; Potter, 1980; Clem; 1982; Girgin, 1989).

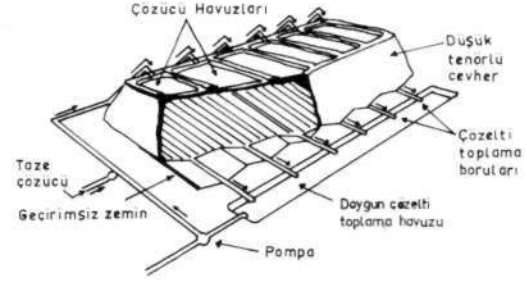
Hazırlıklı yiğın liçi ve doğrudan yiğın liçi için tipik yiğınlar Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmektedir.

## 3. YIĞIN LIÇİNİN EKONOMİSİ

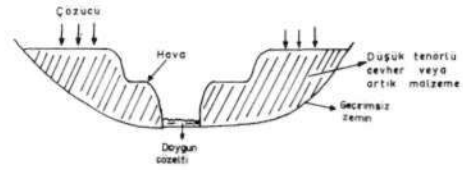
Clem (1982) tarafından 30 000 tonluk hipotetik bir altın-gümüş cevherinin yiğın liçi ile değerlendirilmesi konusunda bir maliyet analizi yapılmıştır. Uygulama için; 30 günlük bir liç çevrimi, malzemeye boyut küçültme, topaklandırma işlemi uygulandığı ve ton cevher başına 0,45 kg siyanür ile 1,36 kg kireç (yada Portland çimentosu) kullanıldığı varsayılmıştır.

Bu varsayımlar gözönüne alınarak yapılan değerlendirmede Çizelge 1'de verilen yüzde maliyet dağılımı değerleri bulunmuştur. Çizel-

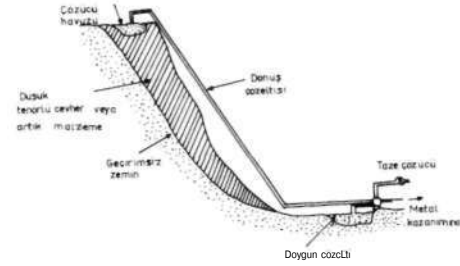
ge 2'de ise Mc Allister ve diğerleri (1974) tarafından 10 milyon tonluk düşük tenörlü hipotetik altın cevheri kütlesi gözönüne alınarak yapılan bir araştırmada çeşitli altın üretimi yöntemleri ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Düz bir alanda hazırlanmış yiğın



Şekil 2. Çukur bir alanda hazırlanmış yiğın



Şekil 3. Bir tepenin yamacında hazırlanmış yiğın

Çizelge 1. Hazırlıklı Yiğın Liçi (Siyanürleme) Uygulaması Tahmini Maliyet Analizi

İşlem	Ton Cevher Başına Maliyet, %
Geçirimsiz zeminin hazırlanması	14,90
Boyut küçültme ve topaklandırma	34,45
Cevherin hazırlanan zemin üzerine yığılması	9,31
Kimyasal reaktif tüketimi	13,97
Çözeltiye alma işlemi	15,83
Karbon Desorpsiyonu/ Rejenerasyon	2,23
Diğerleri	9,31
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00</b>

Whittaker ve Gray (1978) tarafından da, üç alternatif yöntem gözönüne alınarak, fiziksel yöntemlerle zenginleştirilemeyen bakır cevherlerinin hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilmesi olanağı incelenmiştir. Bu çalışmada;

da; yığın liçi tank perkolasyon liçi ve karıştırma- lı tank liçi uygulamasını izleyen çözücü özütlemesi (solvent extraction) ve elektrokazanım yoluyla bakır eldesi ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu değerlendir-

Çizelge 2. Dört Alternatif Altın Üretimi Yönteminin İlk Yatırım ve İşletme Giderleri Bakımından Karşılaştırılması

Yöntem	Maliyet faktörü	
	ilk yatırım gideri	İşletme giderleri
Ters akımda su atma alışlagelmiş karıştırma- lı Liç-Merrill Crowe	1,00	1,00
Palp içinde karbon karıştırma- lı Liç-elektrokazanım	0,75	0,94
Tank liçi - karbon özütlemesi - elektrokazanım	0,52	0,79
Yığın liçi-karbon özütlemesi - elektrokazanım	0,32	0,66

Çizelge 3. Bakır Cevherlerinin Hidrometalurjik Yöntemlerle Değerlendirilmesinde Çözeltiye Alma İşlemlerinin Maliyet Analizi (Kapasite = 10 000 ton cevher / gün)

	Cevher tenörü %Cu	Doymuş liç çözeltisi derişimi g/l	Liç süresi	Çözeltiye alma işlemi	
				İlk yatırım gideri U.S.\$x10 <sup>6</sup>	İşletme giderleri U.S.\$/toncev.
er o co en o v a> o- er E	0,2	0,2	3 yıl	7	64
		0,7	1 yıl	4	34
	0,3	0,3	3 yıl	7	66
		1,0	1 yıl	4	35
	0,4	0,5	3 yıl	7	67
		1,4	1 yıl	4	37
er o co en o v a> o- er E	0,5	2,3	4 gün	18	66
			10gün	22	68
	1,0	4,7	4 gün	18	74
			10gün	22	76
	2,0	9,3	4 gün	18	86
			10gün	22	86
, E'B •s. -2É g>> 00 << » -	0,5	1,0		46	151
		1,3		46	151
	1,0	2,0		46	163
		2,6		46	165
	2,0	3,9		46	188
		5,2		46	195

menin çözeltiliye alma adımına ilişkin sonuçlar Çizelge 3'de verilmektedir.

Benzer sonuçlara, düşük tenörlü cevherlerden yığın liçi ile uranyum kazanımı konusunda da (Mashbir, 1964; Wentz ve diğerleri, 1979) ulaşılmaktadır.

## 5. SONUÇ

Çizelge 2 ve Çizelge 3 deki değerleri yığın liçi uygulamalarında ilk yatırım giderlerinin diğer yöntemlerdeki göre çok az olduğunu göstermektedir. Ancak, çözeltiliye alma süresinin oldukça uzun ve metal kazanma veriminin de diğer alışılagelen yöntemlere göre oldukça düşük olmasının toplam maliyeti önemli ölçüde etkileyeceği açıktır.

Derişimi yüksek bir liç çözeltisi elde etmenin yığının iyi hazırlanmış olmasına bağlı olduğu için bu tür uygulamalarda hem çözücü hem de çözelti kaçaklarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Malzemenin bir ön hazırlık işleminden geçirilmesinden sonra hazırlanmış yığın ile doğrudan hazırlanmış yığınlardan elde edilecek metal kazanma verimlerinin farklı olacağı açıktır. Ancak, en uygun koşullarda bile veriminin %50'nin çok üzerine çıkmadığı bildirilmektedir. Yığın liçi uygulamalarının en önemli yanlarından birisi tenoron kısıtlayıcı bir parametre olmamasıdır. Bu durum ise, alışılagelmiş yöntemlerle ekonomik olarak değerlendirilemeyen düşük tenörlü cevher ve artıkların ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak vermektedir.

Bazı durumlarda, örneğin soğuk hava koşullarında çözeltilerin donması ve sıcak hava koşullarında da buharlaşma kayıplarının yüksek olması gibi, coğrafik etkenlerin uygulamalarda olumsuz etkileri olabilmektedir. Ancak, aşağıda belirtilen avantajları gözönüne alındığında yığın liçi uygulamalarının önemini giderek artacağı da açıktır.

- Düşük yada herhangi bir madencilik maliyeti gerektirmeksizin çıkarılmış ya da yüksek tenörlü cevher çıkarılırken, yatakta bırakılmış düşük tenörlü malzemelere ya da proses artıklarına uygulanabilmektedir.

- En az ilk yatırım ve işçilik giderleri ile yüksek tonajda malzeme işlenebildiği için çözeltiliye alma işlemi çok ucuz olmaktadır.

- Cevher ya da artık malzemenin bulunduğu yerde uygulama yapıldığı için ve doygun liç çözeltisinin istenen yere borularla kolaylıkla taşınabilmesinden ötürü, alışılagelmiş yöntemlere göre taşıma giderleri çok az olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- BEARD, R.C., 1983, Heap Leaching - A Low Cost Recovery Method for Small Gold Deposits in Northwestern Ontario, CIM Bulletin, 76 (850), 102-107.
- CANBAZOĞLU, M., ZENGİN, M., ARITAŞ, N., 1988 Heap Leaching Studies at Eti bank Ergani Copper Works, II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir, 653-662.
- CHAMBERLIN, P.D., 1986, Agglomeration: Cheap Insurance for Good Recovery When Heap Leaching Gold and Silver Ores, Mining Engineering, 1105 - 1109.
- CLEM, B.M., 1982, Heap Leaching Gold and Silver Ores, Engineering and Mining Journal, 25-29.
- DAYTON, S.H., 1987, Gold Processing Update, Engineering and Mining Journal, 25,29.
- FLETCHER, A.W., 1970, Metal Winning from Low Grade Ores by Bacterial Leaching, Trans. Inst. Min. Metall., 79, C247.
- GIBBS, H.E., ERRINGTON, M., POOLEY, F.D., 1985, Economies of Bacterial Leaching, Canadian Metallurgical Quarterly, 24 (2), 121 - 125.
- GİRGIN, I., 1989, Düşük Tenörlü Cevherlerden Yığın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı, Madencilik, XXVIII (1), 35-40.
- KEANE, J.M., CHASE, CK., 1987 Evaluation of Copper Dump and Heap Leaching situations, Mining engineering, 197-200.
- MALOUF, E.E., 1971, The Role of Microorganisms in Chemical Mining, Mining Engineering, 43-46.
- MASHBIR, D.S., 1964, Heap Leaching of Low Grade Uranium Ore, Mining Congress Journal, 50 - 54.
- MCALLISTER, J.A., LEWIS, F.M., BHAPPU, R.B., 1974, Leaching of Low Grade Gold Ores, Economic Evaluation of Available Processes, Paper Presented at the AIME Annual Meeting, Dallas, AIME74AS-55.
- PIZARRO, R.S., PATO, V.V., RICAFORT, LR., 1987, Masbate Gold Operation is Site of First Commercial Heap Leaching Plant in Philippines, Mining Engineering, 39 (7), 853-856.
- POTTER, G.M., 1980, Some Factors in the Desing of Heap Leaching Operations, Precious Metals Symposium of the Southern Nevada Section of SME/AIME, Nevada, 14 s.
- WENTZ, C.N., MERRIT, R.C., PETERSON, H.D., 1979, Heap Leaching of Uranium Ore, Paper Presented at 108<sup>th</sup> Annual Meeting, New Orleans.
- WHITTAKER, C.J., GRAY, P.M.J., 1978, Interaction of Metallurgical and Economic Factors in Hydrometallurgical Processing of Copper Ores, Proceedings of the 11 th Commonwealth Mining and Metallurgical Congress, Inst. Min. Metall., Hong Kong, 223-228.
- WORSTELL, JH., 1987, Enhance Heap Leaching Rates with Air Injection into the Heap, Mining Magazine, 40-41.
- , 1979, Heap Leaching is Small Miner's Golden Opportunity, Mining Engineering, 136-140.
- , Türkiye'nin Radyoaktif Mineralleri Hakkında Rapor, MTA Estitüsü, 19 s.