
ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ-BİLGİSAYAR PAKET PROGRAMI İLE MALİYET VE DUYARLILIK ANALİZİ

Hasancan OKUTAN (*)
Gürses ÖNER (**)

ÖZET

Bu bildiriye teknik ve ekonomik açıdan işletme şartlarına uygun olmayan maden rezervleri için seçenek olan çözelti madenciliği hakkında bilgi verilmiş, çözelti madenciliğinin maliyet ve duyarlılık analizini hesaplayan bir bilgisayar paket programının geliştirilmesi tanıtılmıştır. Geliştirilen bilgisayar paket programında kullanılan maliyet modeli beş altı modelden meydana gelmiştir. Bu bilgisayar programı ile kuyu tasarımı karakteristikleri, ekstraksiyon tesisi, pilot tesis ve işletme maliyetlerinin analizi yapılabilmekte, indirgenmiş nakit akımı ve geri dönüş oranı analiz edilerek işlenecek maden rezervi için birim maliyet hesaplanabilmektedir.

ABSTRACT

Solution mining has recently emerged as a viable alternative to conventional mining, especially for the recovery of deposits that can not be mined and processed economically and technically by the conventional techniques. In this study, solution mining techniques and development of a computer program calculating cost and sensitivities analysis for solution mining have been introduced. The cost model which was used in this program consists of five submodels. Application of this cost model will generate mine life capital and operating costs as well as a value for economic production cost.

* Yrd. Doç. Dr., Kimya-Metalurji Fak., İTÜ, İSTANBUL

** Araş. Gör., Kimya-Metalurji Fak., İTÜ, İSTANBUL

1. GİRİŞ

Enerji ve maden potansiyeli hiç de küçümsenmeyecek düzeyde olan Türkiye bugüne kadar bor potansiyelinin az bir bölümünü değerlendirmiştir. Özellikle demir-çelik, alüminyum, bakır, çinko, çimento ve diğer yapı malzemelerinde entegre endüstriler geliştirilmiştir. Ayrıca bu mineralleri ve kimyasalları, kromit, ferrokrom, magnetit ve stronsiyum minerallerinin ihracaatı son senelerde artış göstermiştir. Ülkemizdeki altın ve gümüş rezervleri ekonomik olarak değerlendirmek için yeterli miktarlardadır. 1979 yılında bulunan Beypazarı trona yatağı oldukça önem taşımakta ve tabii soda üretimi mümkün olabilecektir.

Dünya kara yüzölçümünün yaklaşık 200'de birini oluşturan topraklarımızda keşfedilen maden rezervleri, çeşitlilik açısından dünyada üretilen çeşitlerin yarısından fazlasını, rezerv miktarı açısından ise 300'de birini içermektedir. Yapılan tahminler ülkemizde daha 40 çeşit maden ve ortalama olarak bulunan mevcudun % 60'ı kadar daha rezerv bulma şansı ve üretimi de önemli boyutta artırma olanaklarının olduğunu göstermektedir. Türkiye'de maden aramalarının yeterli yaygınlıkta olmaması ve 300 metre derinliğin altında henüz arama yapılmaması maden potansiyelimizin varlığı için umut oluşturmaktadır (1).

Açık ve yeraltı işletmeciliği yöntemleri her tür rezerve uygulanamamaktadır. Aşağıda belirtilen maden rezervleri teknik ve ekonomik açıdan işletme şartlarına uygun olmamaktadır (2):

1. Düşük tenörlü cevherler
2. Derinde bulunanlar
3. Damarları ince olanlar
4. Katmanlar şeklinde bulunanlar
5. Dikey veya belli bir eğimdeki damarlar
6. Üstlerinde su tabakası bulunan madenler.

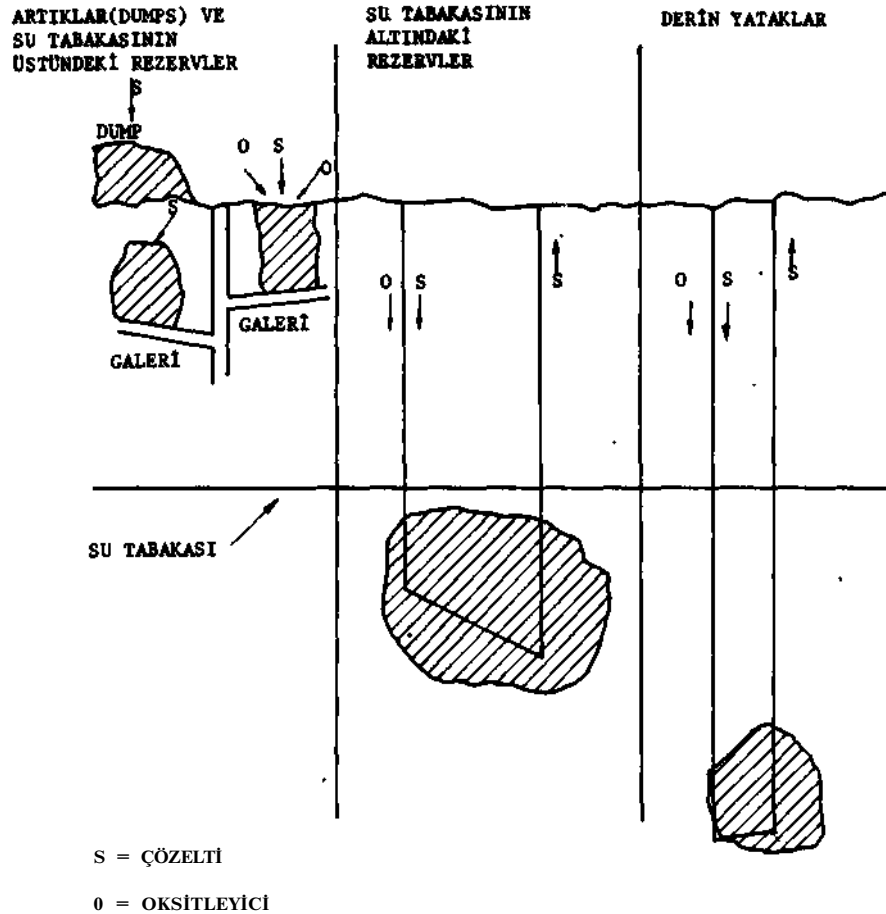
Yukarıda özetlenen nedenlerden dolayı klasik madencilik yöntemleriyle değerlendirilemeyen rezervler için çözümlü madencilik tekniklerine gereksinim vardır.

2. ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ

Çözelti madencilik, düşük tenörlü veya buldukları yer dolayısıyla ulaşılamayan ve bu nedenlerle de açık ve yeraltı madencilik yöntemlerinin uygulanamadığı madenlerin değerlendirilmesinde kullanılması ekonomik ve çevresel açıdan uygun olan bir yöntem olarak tanımlanır. Çözelti madenciliklerinin uygulanması çeşitli adımları ve mühendislik disiplinlerini içermektedir.

- Cevher yatağının yerinde liç için hazırlık işlemleri (jeotermik).
- Ekstraksiyon çözücüsünün ve içejdiği iyonların kaya kütlesi ve kaya porlan içinden akışı (hidroloji).
- Minerallerin pahalı olmayan ve geri rejenere edilebilen liç çözeltileriyle yerinde ekstrakte edilmesi (jokimya).
- Ekstraksiyon çözeltisinin kazanılması ve metal içeren bu kompleks çözeltiden metallerin veya metal bileşiklerinin geri kazanılması (hidrometalurji).

Cevher yatağının fiziksel konumuna bağlı olarak çözelti madencilği teknikleri üç sınıfta toplanır. Bu teknikler topluca Şekil 1'de gösterilmiştir (3). Şekilden görüleceği üzere bu sınıflandırma su tabakasına göre yapılmıştır.



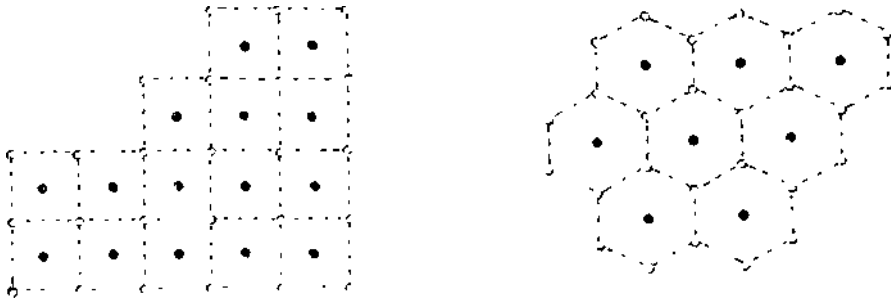
Şekil 1 — Çözelti madencilği uygulama türleri

Birinci grup uygulama tekniği maden artıkları (Dumps) ve su tabakasının üstündeki cevherler içindir. "Dump Leaching" özellikle bakır yataklarının açık madencilikle değerlendirilmesi işleminde önem kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde toplam üretilen bakır miktarının yaklaşık % 15'i dump leaching ile üretilmektedir. Yığın ekstraksiyonu veya "heap leaching" birinci grup uygulamanın bir değişik şeklidir. Bakır, altın ve uranyum ekstraksiyonu için başarılı heap leaching yöntemi uygulanmaktadır. Birinci grup çözelti madenciliğinin diğer bir şekli cevher yatağının yerinde çeşitli patlayıcılarla parçalanarak, cevherin yerinde uygun çözeltilerle ekstrakte edilmesi ve liç çözeltilsinin açıdan uygun galerilerden toplanmasıdır.

İkinci grup uygulama su tabakasının altında bulunan fakat derinliği yüzeyden 300 metreden fazla olmayan cevherler içindir. Bu tür yataklar, madenin geçirgenliğine bağlı olarak, bulunduğu konumda yarık açma (fracturing) işlemine gereksinim gösterebilirler. Yeterli geçirgenliğe sahip olunursa besleme ve üretim kuyuları kullanımıyla metaller maden yatağından ekstrakte edilebilir. Bu tip uygulama özellikle uranyum yataklarından ticari ölçekte uranyum üretiminde kullanılmaktadır.

Üçüncü şekil çözelti madenciliği, derinde bulunan (300 metreden fazla) maden yatakları içindir. Maden yatağında yarıklar açmak için nükleer patlatma yöntemleri teklif edilmişse de çevre sağlığı açısından bunların kullanımı uygun olmamaktadır. "Hydrofracturing" burada sınırlı uygulamasıyla geçirgenlik artırma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dump ve heap leaching şeklindeki uygulama haricinde çözelti madenciliği tekniği için kuyu sistemlerine gereksinim vardır. Süpürme etkinliğini artıracak şekilde ikiden fazla kuyuya sahip ve işletilecek maden sahasının büyüklüğüne göre bu kuyuları kümeler halinde birbirine bağlayan modeller geliştirilmiştir (4). Uygulanan kuyu modelleri 3-spot, 4-spot, 5-spot, 7-spot ve 9-spot şeklindedir. Kuyu modellerinin yerleşim biçimlerini göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2 — Kuyu yerleşim modelleri

Üstünlükleri: Emniyet ve sağlık açısından klasik madencilikten daha avantajlıdır. Yöntem gereği, maden yatağı bulunduğu yerde reaktör görevi gördüğünden herhangi bir artık madde problemi yoktur. Düşük sermaye yatırımı ve ayrıca işletmenin daha kısa sürede kendini amorti etmesinden dolayı daha ekonomik prosesler olarak ispatlanmıştır (5, 6).

Sakıncaları: Proses sonunda yeraltı suyu kirlenmesi problemi ortaya çıkabilir bu da restorasyon işlemini gerektirir (7). Yöntem fiziksel ve kimyasal faktörler açısından her mineral türüne uygulanamaz. Maden yatağının yeterli geçirgenliğe sahip olması gerekir. Şayet maden sert kaya tipinde veya düşük geçirgenliğe sahip ise geçirgenliğini arttırmak için ilave işlemlere gereksinim vardır (5).

Çözelti madenciliği yöntemiyle başarılı bir mineral ekstraksiyonu ve metal üretimi için çeşitli parametreler vardır. Bu parametreler jeolojik, hidrolojik ve metalurjik parametreler olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır.

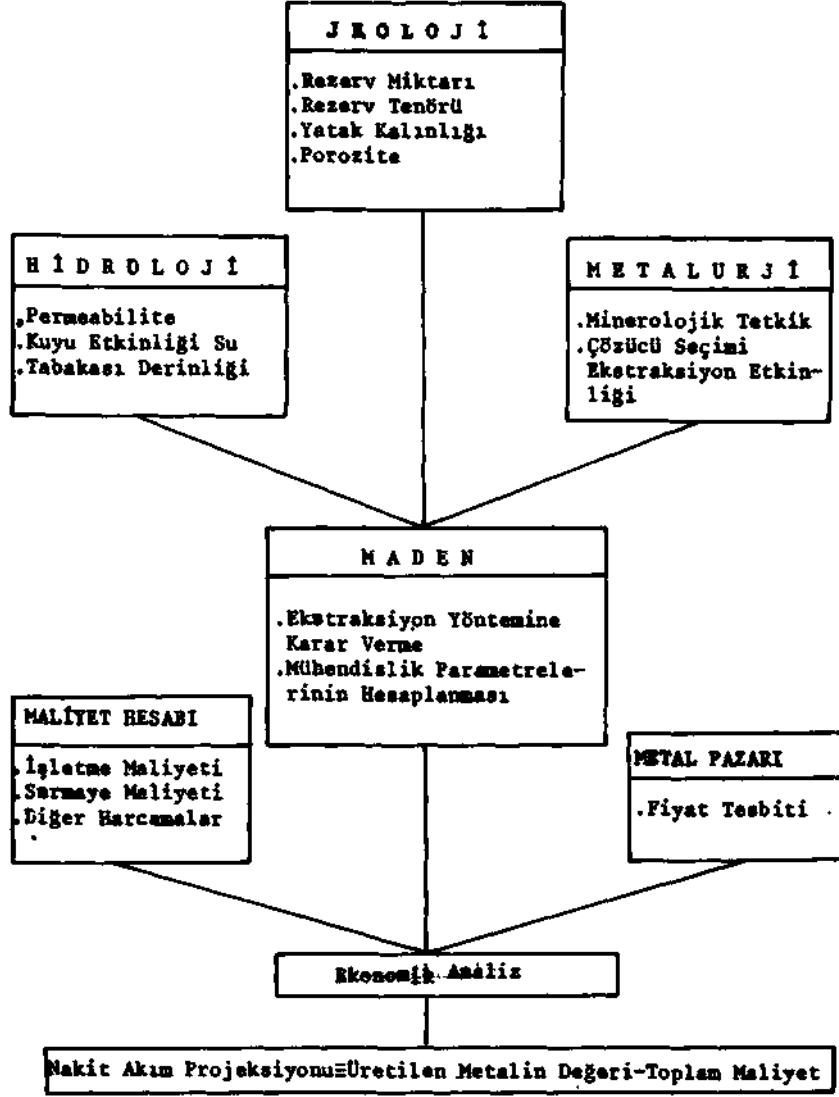
3. ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİNİN EKONOMİKLİK ANALİZİ

Çözelti madenciliğinin ekonomisi, maliyeti ve klasik madencilik yöntemleriyle karşılaştırılması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (3, 5, 8, 9, 10, 11). Çözelti madenciliğinin ekonomik fizibilitesini yapabilmek için biraraya getirmek gerekir. İkinci adım kuyuların ve yerüstü işletme tesislerinin tasarımı, son adım ise üretim planlaması ve ekonomik değerlendirmedir. Adı geçen kontrol parametrelerini toplayabilmek için cevher yatağı ile ilgili uygun numuneler alınmalı ve etkili test programları gerçekleştirilmelidir. Kuyularla ve yerüstü işletme tesisleriyle ilgili pek çok mühendislik parametreleri hesaplanmalıdır. Mühendislik parametrelerinin hesaplanmasından sonra, ekonomiklik analizi yapılmalıdır. Ekonomik analiz, sermaye maliyetine, işletme maliyetine, diğer harcamalara ve geçerli metal fiyatlarına gereksinim duyar. Bu ekonomik analizde hesaplanacak olan nakit akışı projeksiyonu; çözelti madenciliği projesinin geçerliliğini ortaya çıkaracaktır. Çözelti madenciliğinin ekonomik fizibilite analizi işleyiş şekli şematik olarak Şekil 3'de verilmiştir.

4. MALİYET VE DUYARLILIK ANALİZİ İÇİN EİLGİSAYAR PAKET PROGRAMI

Bölümümüzde 1982 yılından itibaren çözelti madenciliğiyle ilgili deneysel ve teorik modelleme çalışmaları kömür, uranyum, trona ve altın madenleriyle ilgili olarak devam etmektedir (12, 13, 14, 15). Ü-

kemizdeki bazı maden rezervlerinin çözümlü madencilikle ekonomik olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirlemek gayesiyle, önceki bölümlerde kısaca özetlenen bilgiler, veriler, kaynaklar ve de laboratuvar deneylerinden elde ettiğimiz tecrübeler ışığında bir bilgisayar paket programı geliştirilmiştir. Geliştirilen paket program yaklaşık 3000 satır içermekte olup programlama dili FORTRAN'dır.



Şekil 3 — Çözümlü madencilik için ekonomik fizibilite analiz kademelerinin şematik gösterilişi

Bilgisayar paket programında kullanılan maliyet modeli beş alt model içermektedir. Alt modeller:

- a. Kuyuların Tasarımı ve Maliyeti
- b. Ekstraksiyon Tesislerinin Maliyeti
- c. Sermaye Maliyet Analizi
- d. İşletme Maliyet Analizi
- e. İndirgenmiş Nakit Akımı Analizi (DCF)

Geliştirilen bilgisayar paket programı aşağıda tanımlanan sekiz işlem fonksiyonundan meydana gelmiştir:

1. Proses Giriş Dataları: Giriş dataları iki grupta toplanmıştır. Birinci grup veriler minimum giriş data seti olup, gerekli fiziksel, işletme ve finans parametrelerini içermektedir. İkinci grup veriler seçimli olup diğer parametreleri içerir. Bilgisayara veri olarak yüklenmesi gereken parametrelerin bir kısmı Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1 – Fiziksel, işletme ve finans parametreleri

<i>Fiziksel</i>	<i>İşletme</i>	<i>Finans</i>
Rezerv Derinliği	Yıllık üretim miktarı	Satış Gelirleri
Rezerv Kalınlığı	İşletme Süresi	Geri Dönüş Oranı
Rezerv Tenörü	Kuyu Yerleşim Modeli	Delme Birim Maliyeti
	Kuyu Mesafeleri	
	Kimyasal Madde Maliyeti	
	Enerji Maliyeti	

2. SUBROUTINE 1 – Kuyu Tasarım Karakteristikleri: Bu alt model kuyulardaki akış hızlarını, kuyu modellerini, günlük üretim debisini, kuyuların ömrünü hesaplar.
3. SUBROUTINE 2 – Kuyu Tasarım Maliyet Analizi: Üretim ve besleme gözlem kuyularının sayısı, delme ve boru döşeme maliyeti, pompa maliyeti bu alt model vasıtasıyla hesaplanır.
4. SUBROUTINE 3 – Ekstraksiyon Tesis Analizi: Ekstraksiyon tesisinin büyüklüğü, proses ekipmanlarının maliyeti, montaj masrafları ve bina maliyetleri bu alt modelle bulunur.
5. SUBROUTINE 4 – Pilot Tesis Maliyet Analizi: Endüstriyel ölçekte üretime geçmeden önce gerçekleştirilmesi gereken pilot çalışmalarla ilgili maliyet analizi burada hesaplanır.
6. SUBROUTINE 5 – İşletme Maliyet Analizi: Bu alt model yıllık kuyu sahasının yerleşim maliyetini, işçi maliyetini, kimyasal madde tüketimini, su, elektrik ve diğer kullanım harcamalarını, bakım onarım, sigorta maliyetini hesaplar.

7. SUBROUTINE 6 — Geri Dönüş Oranı ve indirgenmiş Nakit Akımı Analizi- Bu alt model ile geri dönüş oranı ve birim maliyet hesaplanır. İndirgenmiş nakit akımı analizi yapılır.
8. Sonuçlar ve Çıkış Tabloları.

5. SONUÇ

Geliştirilen paket program Amerika Birleşik Devletleri Wyoming ve Texas eyaletlerine ait beş ayrı yerinde uranyum liçi projesine uygulanmış ve bu beş test için elde edilen sonuçlar 9 ve 10 numaralı kaynaklardaki sonuçlarla karşılaştırılmış ve paket programın işlerliği ispatlanmıştır. Örnek teşkil etmek üzere, ekte söz konusu 5 projeden birine (Wyoming eyaleti için gerçekleştirilen bir yerinde liç projesine) ait program çıktısı verilmiştir. Halen Yozgat Sorgun uranyum rezervinin ve Beypazarı trona yatağının çözeltili madencilikle değerlendirilmesinin maliyet ve duyarlılık analizi üzerine çalışmalarımız devam etmektedir.

KAYNAKLAR

1. ETİBANK Bülteni, Sayı 72, Mart 1985
2. McKEE, C.R., Fundamentals of In Situ Recovery I, II, Lectures Notes, Univ. of Wyoming, Laramie, USA, 1979-1980
3. KUBO, Sb, Application of In Situ Leaching to A Low-Grade Gold Deposit, MSc Thesis, University of Wyoming, Laramie, 1986
4. THE INTERSTATE OIL COMPACT COMMISSION, Secondary and Tertiary Oil Recovery Processes, December 1978
5. Recent Advances in Mining and Processing of Low Grade and Submarginal Mineral Deposits, Centre for Natural Resources, Energy and Transport, United Nations, New York, 1976
6. TOTH, G.W., A Cost Model For Uranium Solution Mining, presented to Second Conference On Uranium Technology, Mackay School of Mines Denver, Co., November 18-21, 1981
7. HILL, A.D., WALSH, M.P., BRELAND, W.M., HUMINICK, M.J., and SCHECTER, R.S., Restoration of Uranium In Situ Leaching Sites, SPE 7534, presented at the 53 rd Annual Fall Tech. Conference of SPE-AIME, Houston, Texas, October 1-3, 1978
8. KOSTICK, D.S., The Influence of Solution Mining on the World Soda Ash Market, Society of Mining Engineers of AIME, Preprint 81-368, presented at the SME-AIME Fall Meeting, Denver, Co., November 18-20, 1981
9. Cost and Sensitiities Analysis For Uranium In Situ Leaching, Bureau of Mines, US Dept. of The Interior, Contract J0199112, NUS Corporation, March 1981
10. CHASE, CK., WINTERS, A.J. and BHAPPM, R.B., Economic Evaluation of In Situ Extraction of Uranium, In Situ, 2(1), 1978, pp. 49-63

- 11 PHILLIPS, PE, A Comparison of Open and In Situ Leach Economics, presented at the Conference on Uranium Mining Technology, Reno Nevada, April 28, 1977
- 12 OKUTAN, H, Yerinde Uranyum Ekstraksiyonu Yöntemi Üzerine Deneysel ve Teorik Modelleme Çalışmaları, Doktora Tezi, İTÜ, Şubat 1984
- 13 OKUTAN, FF Yeraltı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Nümerik ve Laboratuvar Simülasyonu-Geri ve İlen Yanma Teknikleri, Doktora Tezi, İTÜ, Ekim 1985
- 14 OKUTAN, H, OKUTAN, FF, McKEE, CR, Application of Boundary Element Methods to Potential Flow Equation Including Sources and Sinks For In Situ Leaching Processes, Summer School On Advances in Chemical Engineering Mathematics, Hannover University, Bad Honnet, West Germany, July 30-August 4, 1985
- 15 OKUTAN, H, SAVGUÇ, A B, ÇATALBAŞ, A 1, BULUTÇU, N, Technological Investigations of Soda Ash Production Processes of Beypazarı Trona Deposits, presented at First International Mineral Processing Symposium, held in İzmir, Sept 29-Oct 1, 1986

