

Yerinde Liç Uygulamaları ve Tenör-Tonaj ilişkisi

In Situ Leaching Methods and Grade-Tonnage Relationship

Ismail GİRGİN (*)
Feridun BASER (**)

ÖZET

Düşük tenörlü cevherlerin değerlendirilmesinde en uygun yöntemlerden birinin yerinde liç olduğu bilinmektedir. Tenördeki azalmaya karşılık tonajdaki artış ve bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan düşük tenörlü büyük rezervler klasik madencilik yöntemleri ile ekonomik olarak değerlendirilememektedir. Bu tür yatakların değerlendirilmesinde toplam net kâr ve yatırımın geri dönüşü bakımından en uygun yöntemlerden biri yerinde liç uygulaması olmaktadır.

Bu derlemenin amacı, tenör-tonaj ilişkisinin önemini vurgulayarak, teknik ve ekonomik açıdan yerinde liç uygulamaları konusunda bilgi vermektir.

ABSTRACT

In situ mining is a proven and competitive method of exploiting low grade ores. The increase in tonnage with a decrease in grade and the impossibility of economically mining of such low grade resources with conventional mining methods brings out the conclusion that in situ leaching is a suitable method of maximizing the total net profit and the return on investment.

The purpose of this article is to review some of the technical and economic aspects of in situ leaching with the emphasis on grade-tonnage relationship.

(*) DoçDr., H.O. Maden Müh. Bölümü, Beytepe-ANKARA

(**) Maden Müh. H.Ü., Maden Müh. Bölümü, Beytepe-ANKARA

1. GİRİŞ

Yüksek tenörlü cevher yataklarının giderek azalması, düşük tenörlü cevher yataklarının değerlendirilebilmesini ve sürekli artan hammadde ve enerji gereksiniminin bu kaynaklardan sağlanmasını gündeme getirmektedir. Bilindiği gibi klasik maden işletme ve fiziksel ve/veya kimyasal zenginleştirme yöntemleri ile düşük tenörlü kaynakları ekonomik olarak değerlendirmek olanaksızdır. Günümüzde ancak sınırlı sayıda maddeler için uygulama alanı bulabilmiş olmasına karşın, düşük tenörlü cevherlerin yerinde liç teknikleri ile ekonomik olarak değerlendirilebilmeleri mümkün görülmektedir (Anderson ve Ritchie, 1968; Marrs, 1970; White, 1975; Rampacek ve Dunham, 1976; Davidson, 1980; Huff ve ark., 1980; Litz, 1982).

Maden yataklarının değerlendirilmesinde derinlik, tenor ve rezerv gibi üç önemli özellik üretim yönteminin belirlenmesinde önemli olmaktadır. Başka bir deyişle, günümüz klasik teknolojileri kullanılarak cevherlerin ekonomik olarak üretilebilmeleri için uygun bir derinlik, belirli bir tenor ve yeterli rezerv olması gerekmektedir. Maden işletmeciliği belli bir yatırımı da beraberinde getirdiğinden yatağın hangi derinlik, tenor ve tonajda olduğu, bunların aralarındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin zamanla değişimini analiz etme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. İyi yönetilmiş bir projenin uygulanması aşamasında, ilerleyen zamanda gelişmekte olan teknoloji ile birlikte, rezerv-tenör ilişkisinin sürekli gündemde tutulması ileriye yönelik kararların sağlıklı olabilmesi açısından hiç şüphesiz büyük önem taşımaktadır.

2. TENÖR-TONAJ İLİŞKİSİ

Maden yataklarının çoğunda metal/mineral bakımından oldukça zengin bir bölgeden düşük tenörlü bölgelere doğru bir derecelenme söz konusu olup, azalan tenöre karşılık rezervin belirli bir oranda arttığı bilinmektedir. Doğadaki pek çok ölçülebilen ve tartılabilen nitelik gibi, maden yataklarındaki değerli minerallerin dağılımı da normal dağılıma benzer bir dağılıma uymaktadır. Bu özellik de yatakla ilgili pek çok parametrenin istatistiksel olarak belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

Musgrove (1965), 23 ülkeye ait 58 adet dis-sémine olmayan ve geniş bir aralıkta tenor dağılımı gösteren (Pb: %0,2 - 20,7) Pb - Zn yatağına ilişkin değerlendirmesine bağlı olarak, tenör-tonaj ilişkisinin üssel olduğunu ileri sürmekte ve aşağıda verilen eşitliği önermektedir.

$$T = A \exp(-KG) \quad (1)$$

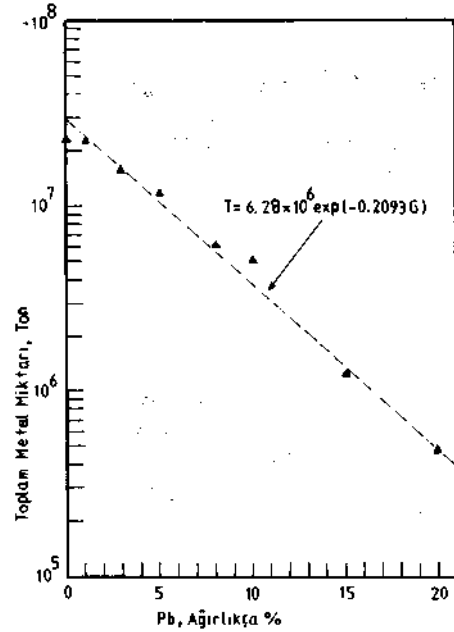
Burada;
T - G tenördeki tonaj
G = Tenor
A, K = Sabitlerdir

Verilen bir G_0 tenorunun üzerindeki tenörlerde toplam metal miktarı,

$$J \exp(-KG) = \int \exp(-KG) \quad (2)$$

olacaktır. Görüldüğü gibi bu da üssel bir bağıntıdır. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 tenor ve tonaj arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Musgrove (1965) tarafından, söz konusu Pb-Zn yataklarına ilişkin veriler kullanılarak çizilen tenör-tonaj grafiği Şekil 1 'de verilmektedir. Bu grafik, tenorun azalması ile metal miktarında belirli bir artış olduğunu göstermektedir, örneğin $G = \% 0$, $T = 30$ milyon ton ve $G = \% 11$, $T = 3$ milyon ton noktaları dikkate alınarak



Şekil 1. Pb-Zn cevheri için tenör-tonaj ilişkisi.

$T=628\ 000 \exp(-0,2093 G)$ bağıntısına göre çizilen doğru %1 -20 tenör aralığında verilerle oldukça iyi bir uyum göstermektedir. Ancak, değişen verilerle söz konusu doğrunun eğiminin de değişebileceği açıktır. Bu nedenle, yatağın özelliğinin ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye farklılık göstereceği dikkate alındığında numunenin coğrafik açıdan temsili olması gerektiği açıktır. Söz konusu eşitlik tenörün çok düşük olması durumunda ($G= \%0-1$) gerçek tonajdan daha yüksek değerler vermekte, ancak bu sapma da %25'ten fazla olmamaktadır.

Lasky (1950), dissémine tipte porfiri bakır yataklarını dikkate alarak, tenör-tonaj arasında aşağıda verilen ilişkinin geçerli olduğunu ve bu ilişkinin pek çok benzer yatağa uygulanabileceğini belirtmektedir.

$$G=K_1-K_2 \text{Log} T \quad (3)$$

Burada;

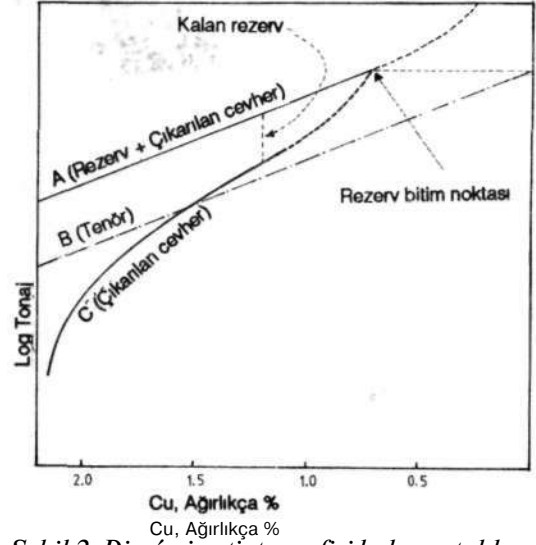
G= Ortalama ağırlıklı tenör,

T= Herhangi bir zamana kadar üretilmiş

cevher + Geriye kalan rezerv,

K_1, K_2 Yatağa ilişkin sabitlerdir.

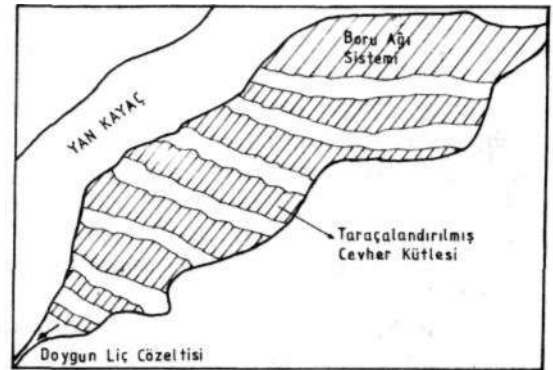
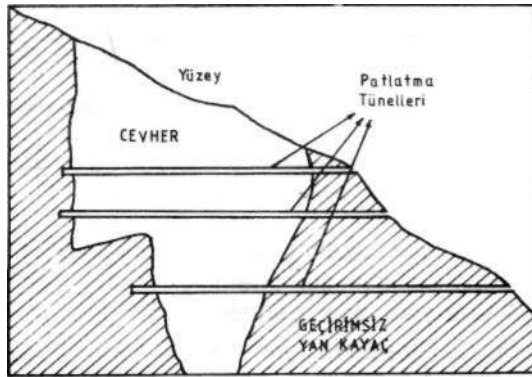
Bu eşitlik kullanılarak tenör-tonaj arasındaki ilişki Şekil 2'de verilen grafikte açıklanmaktadır. Şekilde A eğrisi ile C eğrisinin kesişimleri nokta rezervin bitim noktasını, herhangi bir noktada A ve B eğrileri arasında y-eksenine paralel çizilen bir doğru da kalan rezerv miktarını vermektedir. Gerçek bir yatak için çizilmiş olan A eğrisi dikkate alındığında, tenörde her %0,1'lik bir azalmaya karşılık tonajda %14,9'luk bir artış olduğu ortaya çıkmaktadır.



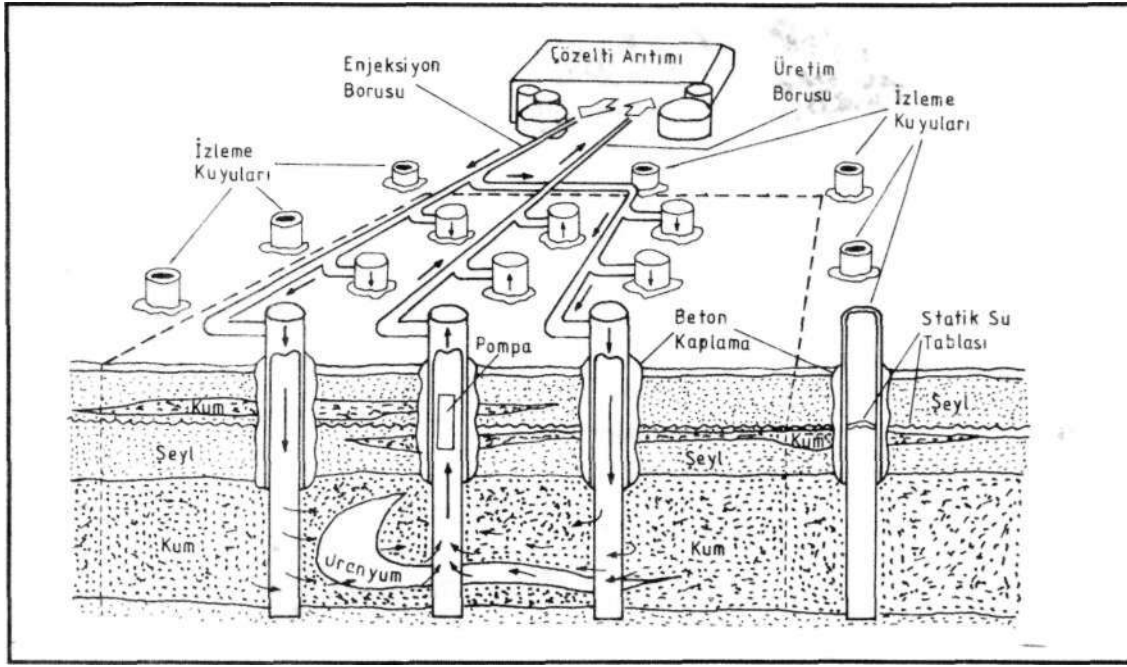
Şekil 2. Dissémine tipte porfiri bakır yatakları için tenör-tonaj ilişkisi.

3. YERİNDE LİÇ UYGULAMALARI

Yerinde liç; altın, gümüş, uranyum, okside bakır, trona, tuz vb. sınırlı sayıda ve genellikle de klasik yöntemlerle ekonomik olarak kazanılamayan düşük tenörlü yataklara uygulanmaktadır. Bu uygulamaların hem yüzeysel hem de derindeki yataklarda yapılabilmesi (Şekil 3 ve Şekil 4), birbirlerine alternatif olmaları durumunda, açık ve kapalı işletme yöntemleri ile ekonomik yönden karşılaştırmayı gündeme getirmektedir.



Şekil 3. Yüzeysel bir oluşum için yerinde liç uygulaması.

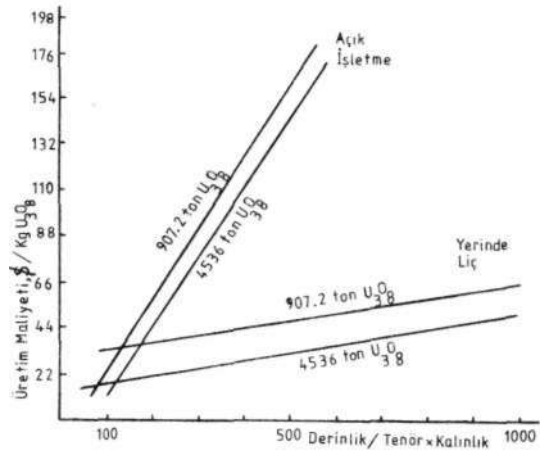


Şekil 4. Yeraltı uranyum cevheri için yerinde liç uygulaması.

Madencilikte, en az maliyetle en fazla kazanç sağlamak temel ilke olduğundan cevher üretiminden metal eidesine kadar tüm aşamalar dikkate alınarak ekonomik açıdan ayrıntılı bir değerlendirme yapmak gerekmektedir. Bu konuda, bir kısmı bilgisayar programı geliştirmek şeklinde olmak üzere, yerinde liç uygulaması olası cevherler için çeşitli ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır (Azis ve ark., 1976; McAllister ve ark., 1974; Lewis ve Bhappu, 1975).

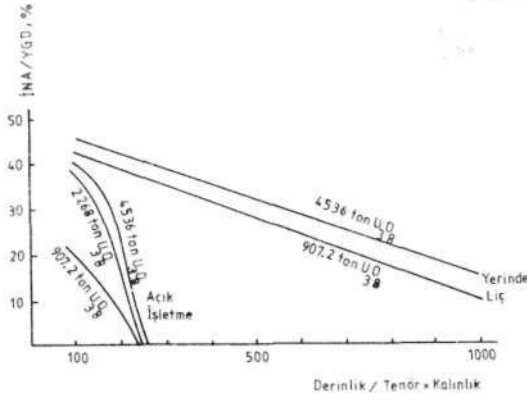
4536 ton rezerve sahip hipotetik bir uranyum yatağı ve önemli parametreler olarak da derinlik, tenör ve rezerv dikkate alınarak yapılan bir çalışmada (Min. Eng., 1978), açık işletme ve yerinde liç yöntemiyle uranyum eldesi ekonomik açıdan incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, açık işletme ve yerinde liç için ortak olan jeolojik ve lojistik parametreler, açık işletme parametreleri ve yerinde liç parametreleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Sonuçta, ilk yatırım ve işletme giderleri, indirgenmiş nakit akımı (İNA)/ geri ödeme süresi (GÖS) ve vergi öncesi net kârlılık durumu; derinlik/tenör x kalınlık oranına bağlı olarak sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 de verilmektedir.

Açıkça anlaşılacağı gibi, açık işletme ve

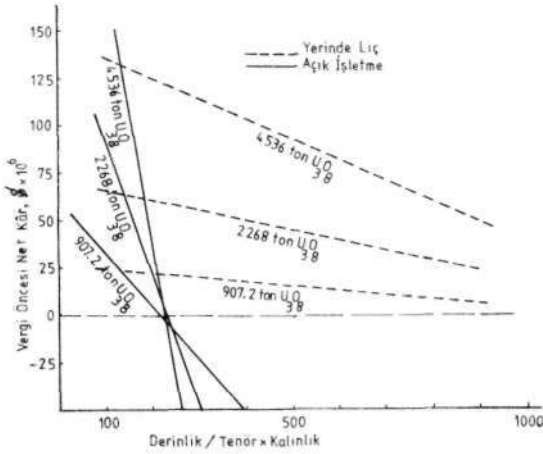


Şekil 5. Açık işletme ve yerinde liç yöntemlerinin, derinlik tenör, kalınlık oranına bağlı olarak, toplam üretim maliyeti yönünden karşılaştırılması.

klasik metal kazanma yöntemlerinde derinlik, tenör ve kalınlık çok önemli olmaktadır. Maliyet analizleri, açık işletmenin, 30:1 den büyük örtü kazı oranında, tenör x kalınlık $< 0,5$ ve derinlik/tenör x kalınlık > 200 olması durumlarında ekonomik olmadığını göstermektedir. Buna karşılık, yerinde liç yönteminin açık işletme ile



Şekil 6. Açık işletme ve yerinde liç yöntemlerinin, derinlik tenör, kalınlık oranına bağlı olarak, INA/GÖS oranı yönünden karşılaştırılması.



Şekil 7. Açık işletme ve yerinde liç yöntemlerinin, derinlik, tenör, kalınlık oranına bağlı olarak, vergi öncesi net kar yönünden karşılaştırılması.

rekabet edebileceği ve düşük verimde uranyum kazanımı durumunda dahi yüksek kazanç sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, büyük ölçüde yatağın özelliklerine bağlı olmakla birlikte, tenör ve kalınlığın fazla olduğu bölgelerde kuyu sayısını artırmanın kazancı daha da artıracığı açıktır.

4. SONUÇ

Ülkemizdeki tek yerinde liç uygulaması Mersin Soda Sanayii tarafından kaya tuzu yataklarında gerçekleştirilmektedir (Çetinkaya, 1983). Bunun dışında, ülkemizde mevcut okside bakır, altın, gümüş, uranyum, trona, potas vb. yataklarında da yerinde liç uygulaması yapılmaması için hiçbir neden yoktur. Bu tür uygulamalara başlamak azalan tenörle artan rezervin ve dolayısı ile de artan metal miktarının ekonomik olarak kazanılmasına olanak vermektedir.

KAYNAKLAR

- ANDERSON, J.S., RICHIE, M.I., 1968; "Solution Mining of Uranium", Mining Congress Journal, 54 (1), s.20-26.
- AZIS, A., JANAKIRAMAN, C, WERNER, A.B.T., 1976; "A Computer Simulation Model for the Assessment of Mineral Resources", 14 th APCOM Symposium, s. 1182-1196.
- ÇETİNKAYA, Ş., 1983; "Trona (Tabii Soda)", Etibank Bülteni, 46, s. 14-19.
- DAVIDSON, D.H., 1980; "In Situ Leaching of Nonferrous Metals", Mining Congress Journal, 66 (7), s. 52-57.
- HUFF, R.V., DAVIDSON, D.H., BOUGHMAN, D., AXEN, S., 1980; "Technology for In Situ Uranium Leaching", Mining Engineering, 32 (2), s. 163 -166.
- LASKY, S.G., 1950; "How Tonnage and Grade Relations Help Predict Ore Reserves", Engineering and Mining Journal, 151 (4), s.81-85.
- LEWIS, F.M., BHAPPU, R.B., 1975; "Evaluating Mining Ventures Via Feasibility Studies", Mining Engineering, 27(10), s. 48-54.
- LITZ, L.M., 1982; "In Situ Uranium Mining with Oxygen", Mining Engineering, 34 (1), s. 52-56.
- MARRS, L.M., 1970; "Underground Leaching of Uranium at the Pitch Mine", Mining Congress Journal, 56 (11), S. 35-43.
- 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, AIME 74-AS-55.
- MUSGROVE, P., 1965; "Lead: Grade-Tonnage Relation", Mining Magazine, 112 (4), s. 249 - 251.
- RAMPACEK, C, DUNHAM, J. T., 1976; "Copper Ore Processing U.S. Practices and Trends", Mining Congress Journal, 62 (2), s. 43 - 50.
- WHITE, L., 1975; "In Situ Leaching Opens New Uranium Reserves in Texas", Engineering and Mining Journal, (17657), s. 73-81.
- , 1978; "An Economic Analysis of Open-Pit and In Situ Mining", Mining Engineering, 30 (10), s. 1420-1422.

