

Eleştiri

Ekonomik Dekapaj (Örtü-Kazı) Oranı ve Kritik Açık İşletme Derinliği

Ergin ARIOĞLU*)

1. GİRİŞ

"Çözümlü Madencilik Problemleri" kitabının 23-25. problemlerinde kullanılan "ekonomik dekapaj oranı" ve "kritik açık işletme derinliği" büyüklükleri üzerinde Sayın Mehmet Kayadelen tarafından yapılan eleştiriye [Kayadelen, 1989] özenle okuyup değerlendirdim. İlk, değerli meslektaşımın yukarıda sözü geçen kavramlar üzerinde yaptığı tamamlayıcı açıklamaları ve anılan problemler için ileriye sürdüğü bilimsel bazdaki görüşlerinden ötürü açık teşekkürlerimi belirtmek isterim. Ayrıca, bu vesile ile kitabın basım çalışmaları boyunca sarfettikleri yoğun çabaları nedeniyle Sayın Kayadelen'e burada bir kez daha teşekkür etmek benim için yerine getirilmesi gereken bir görev olacaktır.

Bu çalışmada; ekonomik dekapaj oranı, kritik işletme derinliği konusunda yapılan yeni değerlendirmelerin sonuçlarını özetlemekte, ve dik yatımlı damarlar için açık işletmenin ekonomik derinliği anlık (enstantane) dekapaj oranı, nihai şev açısı, damar boyutları, kademe yüksekliği ve maliyetler (yeraltı-açık işletme üretim) cinsinden genel şekilde formüle edilmiştir.

2. TANIMLAR

2.1. Dekapaj Oranları

Açık işletme pratiğinde kullanılan çeşitli dekapaj oranlarının tanımları ve formülleri toplu halde Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca sözü edilen oranların kullanım yerleri ile ilgili düşünceler de aynı çizelgede belirtilmiştir. Ekonomik dekapaj oranı temel alınarak verilen bir maden yatağı için açık ve yeraltı işletme kararlarının nasıl üretilebileceği grafik olarak keza Şekil 1'de

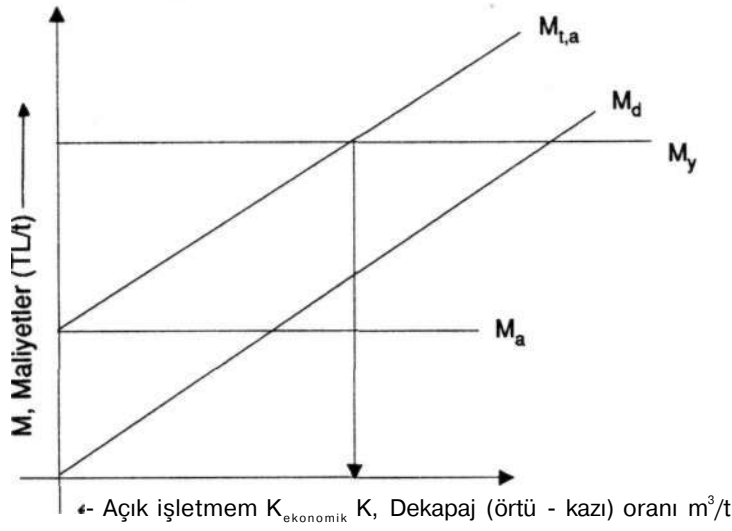
açıklanmıştır. Yer ekonomisi temini açısından bu tanımlar burada tekrar ele alınmayacaktır.

2.2. Kritik (Ekonomik) Açık İşletme Derinliği

Bazı geometrik şartlarda aynı maden yatağına hem açık işletme hemde yeraltı işletmesi uygulanabilir ya da sadece bir işletme yönteminin uygulama potansiyeli şu ya da bu nedenden dolayı daha ağırlıklı biçimde önem kazanabilir. Şekil 2'de aynı yatağa her iki işletme yönteminin uygulanabileceği bazı geometrik örneklerle gösterilmiştir. Bilindiği gibi gerek açık işletme toplam maliyeti gerekse yeraltı üretim maliyeti işletme derinliğinin bir fonksiyonudur. Bu iki işletme seçeneğine ait maliyet değişimlerinin eşit olduğu derinlik, kritik (ekonomik) açık işletme derinliğini belirler (Şekil 3). Daha açık bir anlamla, kritik derinliğe ulaşan işletme, bu sınırdan (Şekil 2) sonra yeraltı işletmesine dönüştürülmelidir.

Kritik açık işletme derinliği maliyetlerin fonksiyonu olduğundan, "dinamik" özellik gösteren bir faktördür. Daha açık bir deyişle, bu faktör çok duyarlı bir şekilde "zaman" boyutu ile değişir. Açık işletme teknolojisinde özellikle 1970'li yıllarda 40-68-77 ton kapasiteli kamyonların ve büyük iş makinelerinin kullanımı ile gerçekleştirilen "üretim sıçramaları" dekapaj ve üretim maliyetlerini çok önemli ölçüde aşağıya çekmiştir. Sonuçta "kritik derinlik" sürekli bir şekilde aynı işletmelerde daha derinlere doğru hızla kaymıştır. Kritik açık işletme derinliğinin zaman boyutu içinde değişimi ve bu değişimi limitleyecek faktörler Şekil 3'de belirtilmiştir.

(*) Prof.Dr., Maden Yük. Müh., FTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ayazaga, İSTANBUL



İşaretler:

M_y : Yeraltı üretim maliyeti (TL/t)

M_d : Dekapaj maliyeti /TU

K : Dekapaj oranı (m^3/t)

$M(j)$: Birim dekapaj maliyeti (TL/ m^3)

M_a : Açık işletme üretim maliyeti (TLA)

$M_{t,a}$: Toplam açık işletme maliyeti (TL/t)

Şekil 1. Ekonomik Dekapaj oranı kavramı.

$$M|_a = M_j + M_a - K \cdot m^3 + M_a$$

Eğer,

$M_j < M_y$ ise "Açık işletme ekonomik"

$M_f > M_y$ ise "Yeraltı işletmesi ekonomik"

Buradan:

$$K_{\text{ekonomik}} = \frac{M_j - M_y}{m^3} \quad (t/m^3)$$

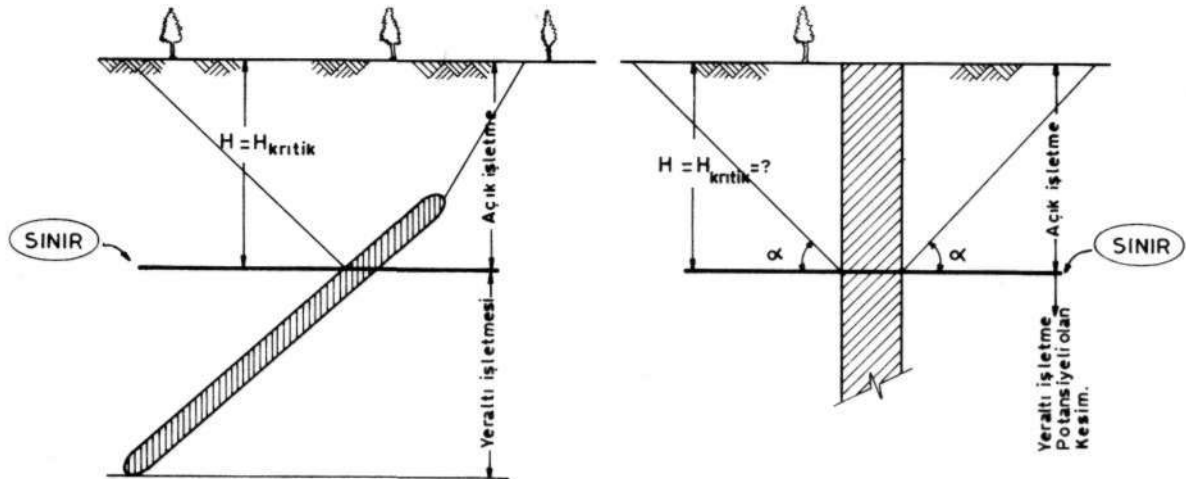
Ekonomik Karar:

$$K < K_e$$

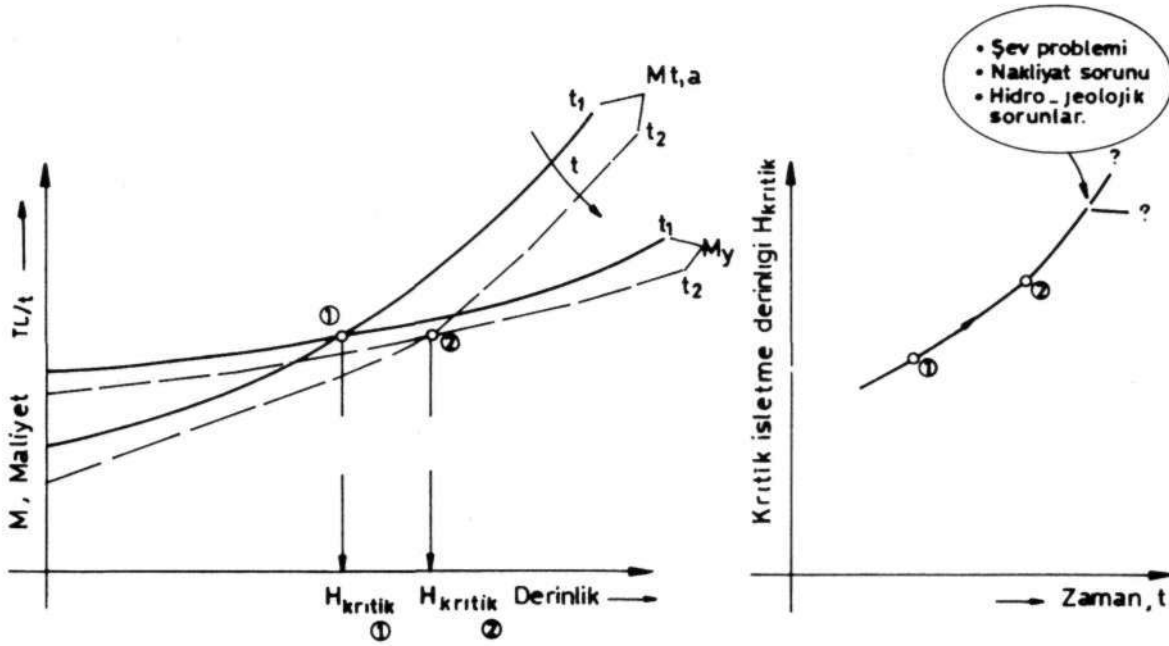
ise, bu "K" geometrik oranını tarifleyen ocağın belirli bir kesime veya tamamına "açık işletme", yöntemi uygulanacaktır.

$$K > K_e$$

ise, "yeraltı işletmesi" uygulanacaktır.



Şekil 2. Açık-yeraltı işletmesi ile üretilebilecek çeşitli cevher geometrileri



$$M_a = f(H,t) = M_y = f(H,t) \rightarrow H = H_{kritik}$$

Karar:

Belli bir t zaman dilimi S içinde
 $H < H_{kritik}$ ise "Açık işletme ekonomik."
 $H > H_{kritik}$ ise "Yeraltı işletmesi ekonomik."

$t_2 > t_1$ ise $H_{kritik 2} > H_{kritik 1}$
 (Gelecek zamanda)

Şekil 3. Kritik açık işletme derinliği ve belirlenmesi.

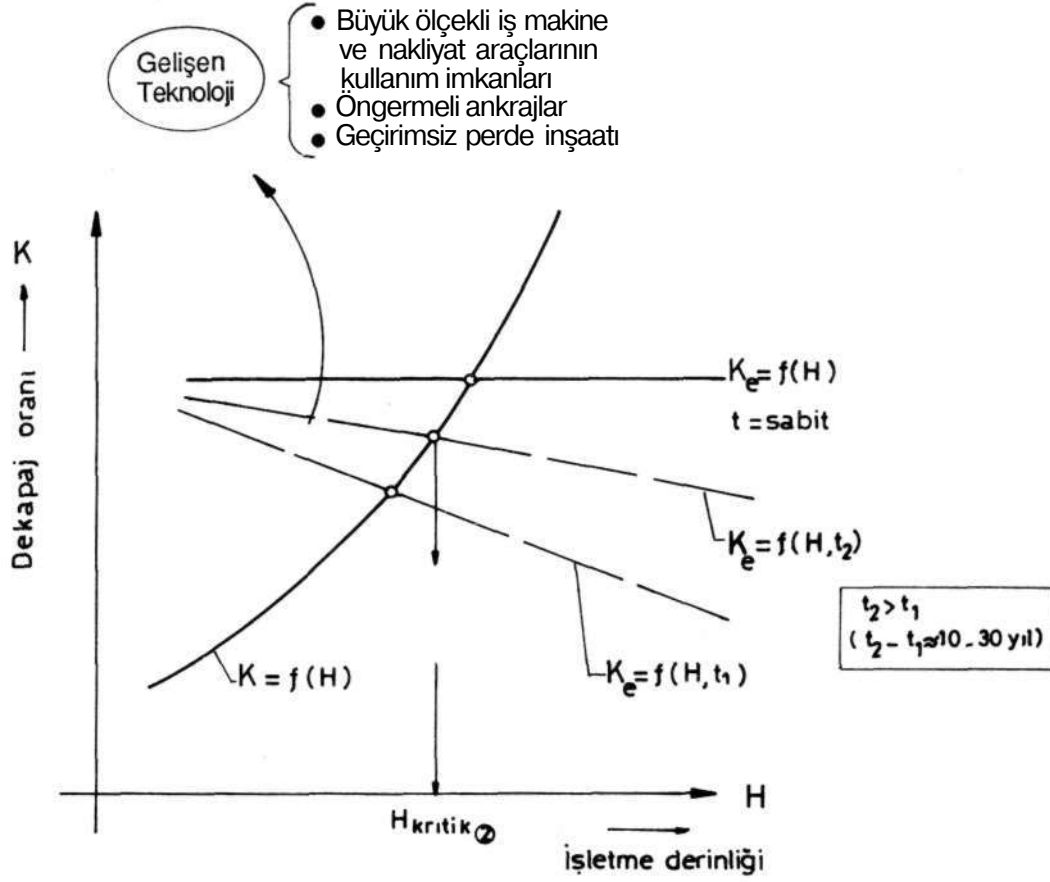
3. Dik Yatımlı Damarlar için Kritik Açık İşletme Derinliğinin Analitik Yolla Belirlenmesi

3.1. Genel

Bu büyüklüğün hesaplanmasında iki farklı yaklaşım kullanılabilir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır. Çizelge 1'de de açıkça belirtildiği üzere, açık işletme nihai sınırına eriştiği durumda, anlık dekapaj oranı " K_s " ekonomik dekapaj oranına " K_e " eşit olmaktadır (Şekil 4). Bu sınır şartından (" $K_s = K_e$ ") hareket ederek açık işletmenin "kritik derinliği" analitik şekilde verilen işletme geometrisi için formüle edilebilir. Ekonomik dekapaj oranı zaman boyutu içinde "dinamik" bir kavram olduğundan kritik (ekonomik) derinlik de zamanla değişmektedir. Kritik derin-

liğin zamanla değişimi Şekil 5'de şematize edilmiştir.

İkinci yaklaşımda ise açık ve yeraltı işletme yöntemlerinin maliyet değişimleri, verilen doğal işletme ve geometrik şartlar için derinliğin fonksiyonu olarak kurulabilir. Ve bu maliyet değişimlerinin birbirine eşit olduğu derinlik ise doğrudan doğruya aranan "kritik işletme derinliği"ni tarifler. Bu yaklaşımın ana prensibi Şekil 3'de izlenmektedir. Kuşkusuz her iki işletme şekli için derinliğin fonksiyonu olarak ifade edilmiş maliyet eğrilerinin çıkarılması planlama aşamasında güç hatta imkansızdır. Bu zorluk karşısında birinci yaklaşımın uygulaması daha kolay olmaktadır.



$K = f(H)$ Belli geometrik ve jeo-tekniik şartlara karşılık gelen Ocak dekapaj karakteristik eğrisi.

$K_e = f(H, t)$ Ekonomik dekapaj karakteristik eğrisi.

$$K - K_e - H = H_{kritik} = f(t)$$

"kritik büyüklüğü" "dinamik" bir kavramdır.

$$t_2 > t_1, - H_{kritik_1} > H_{kritik_0}$$

Şekil 4. Kritik açık işletme derinliğinin belirlenmesi.

Çizelge 1. Dekapaj (Örtü-kazı) Oranları ve Tanımları

DEKAPAJ
ORANLARI "K"

"Genel"

TANIM

Açık işletmenin herhangi bir zaman diliminde birim cevher üretiminin gerçekleştirilmesi için kaldırılması gereken örtü hacmidir.

FORMÜL

$K = V/T$ (m^3/m^3 veya m^3/t)
T... Belli bir işletme döneminde yapılacak cevher üretimi
 V_d ... Bu üretim için kaldırılması gerekli toplam dekapaj hacmi

DÜŞÜNCELER

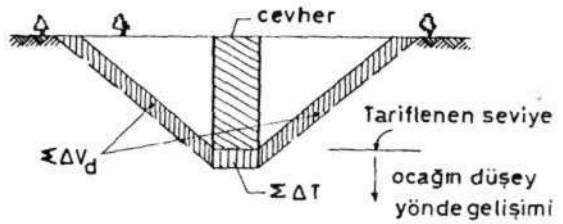
- Planlanan üretim miktarına
- Yan formasyonun jeomekanik özelliklerine
- Cevher ve örtü tabakasının geometrik formuna ve büyüklüklerine bağlıdır.

"Anlık" (enstantane)

Verilen bir işletme seviyesinde; ocağın yatay konturunda ya da düşey yöndeki (derinliği boyunca) gelişiminde, birim cevher üretiminin gerçekleştirilmesi için gereken "ek dekapaj hacmi"dir.

$K_g = IAV_d / IAT$ (m^3/m^3 veya m^3/t)

XAT verilen bir seviyede planlanan cevher üretimi
 ΣAV_d Bu üretim için yapılacak "dekapaj hacmi" (şekile bakınız).



Bu oran, $K_{a>}$ açık işletmenin nihai sınırında (kritik derinlik, H^*) "ekonomik dekapaj oran" Tna (Popov, 1971), eşit olur.

$$H = H_k \quad \cdot K_a = M_y \quad M_a / m_d$$

(Ekonomik dekapaj oranına bakınız.)

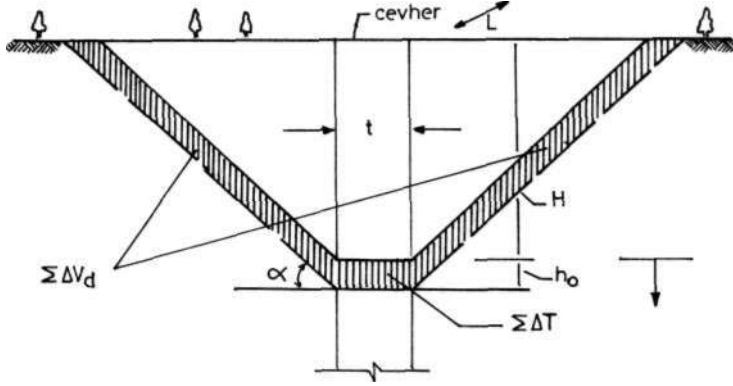
Ekonomik dekapaj
yada maksimum
dekapaj oranı

Açık işletme toplam maliyetini yeraltı üretim maliyetine eşitleyen "dekapaj oranıdır. (Bakınız Şekil 1).

$K_e = M_y - M_a / M_k$
(Boky, 1967, Fettweis, 1979, Shevyakonov, 1965, Arioğlu 1986, s.59, Sinclair 1969, s.541)
 $K_e = M_{\text{ş}} - (M_a / m_d)$
 $K_e = M_{\text{ş}} - (M_a + M_k) / m_d$
[Pfleider, 1968, s.146]
 $M_{\text{ş}}$... Cevherin satış fiyatı, TL/t
 M_k ... Belirlenen bir kar marjı, TL/t

Ekonomik ve dinamik bir büyüklük olup, şu faktörlere bağlıdır.

- Cevherin ve yan formasyonun jeoteknik özellikleri
- Hidro-jeolojik şartlar
- Üretim ve dekapaj maliyetleri, dolayısıyla;
- İşletmede uygulanan mekanizasyon düzeyi ve üretim ölçeği
- Cevherin cinsi ve tenörü
- Piyasa şartları



- a : Ocağın nihai şev açısı
 L : Cevher uzunluğu
 t : Cevher kalınlığı
 H : Derinlik
 (TQ : Kademe yüksekliği
 Y : Cevherin yoğunluğu
 a : Yol genişliği
 i : Yol eğimi 1/10

H derinliğinde toplam dekapaj hacmi "V_d" (yol kazısı dahil) bazı basitleştirici geometrik kabuller sonucunda:

$$\begin{aligned}
 V_d (H) &= L H^2 \cotg a + Tl/3 H^3 \cdot \cotg^2 a + H^2 \cdot t \cotg a + a/2 \cdot H^2/i \\
 &= 1.046 H^3 \cotg^2 a + (L+t) \cdot H^2 \cotg a + 0.5 a/i \cdot H^2
 \end{aligned}$$

Ocak "h" (kademe yüksekliği) kadar derinleştiğinde "anlık dekapaj oranı" :

$$K_a = IAV_d / IAT = V_d (H + h_0) - V_d (H) / t \cdot L \cdot h_0 \cdot \gamma \quad (m^3/t)$$

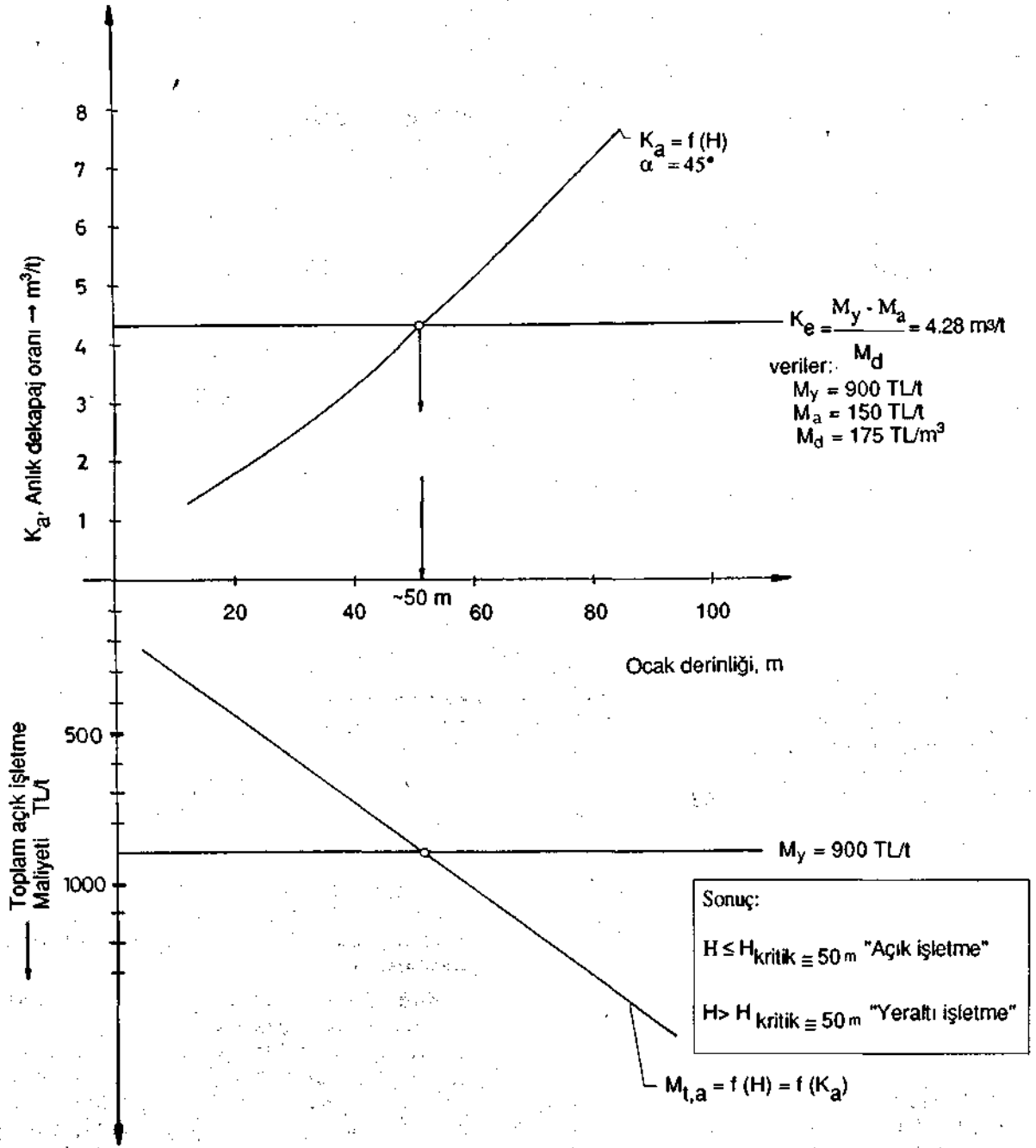
Yol kazısı dahil edilmemesi durumunda :

$$K_a = [2HL + h_0 \cdot L + 3 \cdot 14 \cdot \cotg a (H^2 + H \cdot h_0 + 0.333 h_0^2)] h_0 \cdot \cotg a / t \cdot L \cdot h_0 \cdot \gamma \quad (m^3/t)$$

Problem 25'deki veriler için :

$$\begin{aligned}
 t &= 20 \text{ m} \\
 L &= 600 \text{ m} \\
 \gamma &= 1.5 \text{ t/m}^3 \\
 a &= 45^\circ \\
 h_0 &= 10 \text{ m (kabul)} \\
 K_a &= 31.4H^2 + 12314H + 61046/180000, \quad (m^3/t)
 \end{aligned}$$

Çizelge 2. Dik Yatımlı Bir Cevher Damarı İçin "Anlık Dekapaj Oranının Hesabı



Şekil 5. Problem 25'deki veriler için kritik (ekonomik) işletme derinliğinin grafiksel yolla çözülmesi.

Çizelge 3. Çeşitli Kaynaklara Göre Dik Yatımlı Damar İçin Hesaplanan Anlık Dekapaj Oranları(*) "Ka"

H (derinlik) (m)	20	40	60	80	100
$K_a = (L+2H\cot\alpha)(t+H\cot\alpha) - t.L./T.L.\gamma$ (m ³ /t) "Alanlar oranı"	1.46	3.06	4.93	6.26	9.11
K_a [Çizelge 2'de çıkartılan eşitlik (m ³ /t)]	1.78	3.35	5.07	6.93	8.92
$K_a = (H+h_o)^2 - h_o^2 / t.h_o.\gamma$ (m ³ /t) (Nilsson, 1982)	1.66	3	4.33	5.66	7

(*) L = 600 t = 20 m $\gamma = 1.5$ t/m³ $h_o = 10$ $\alpha = 45^\circ$

Geçer iken, Sayın meslektaşım Kayadelen'in "kritik derinlik" kavramı ile ilgili görüşlerine (Kayadelen 1989, s. 54-55) tamamen katıldığımı burada ifade etmek isterim. Diğer bir anlatımla, $H=H_{kritik}$ de $K_a=K_e$ görüşü, kritik (ekonomik) derinliğinin belirlenmesinde "ana nokta" olmaktadır. Yukarıda belirtilen ana esasa ($K_a=K_e$) göre, dik yatımlı damarlar için "kritik derinlik" daha genişletilmiş şekilde izleyen bölümde formüle edilmiştir. Ayrıca, eleştiri konusu olan problem 25'de sözü edilen veriler için "kritik derinlik" yeniden gözden geçirilerek hesaplanmıştır.

3.2. Dik Yatımlı Damarlar için Kritik Derinliğin Hesaplanması

Açık işletmenin nihai sınırında $K_a = f(H) = K_e$ koşulundan (Şekil 4) hareket ederek verilen yatak geometrisi için "kritik işletme derinliği" analitik yolla belirlenebilir. Anlık dekapaj oranının ayrıntılı hesabı Çizelge 2'de gösterilmiştir. Keza, aynı büyüklük problem 25'deki (Anoğlu, 1988) veriler için işletme derinliğine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bu değişim ($K_a = f(H)$), K_e doğrusu ile

kesişme noktası "kritik derinliği" tarifler. Cebrik bir anlatımla, anılan noktada [$K_a = f(H) - K_e$] değişimi sıfır olmaktadır.

Problem 25'deki verilere ait $K_a = f(H)$ ve K_e eğrileri Şekil 5'de çizilmiştir. Yakından izlendiği gibi, iki eğrinin kesim noktası, yani kritik işletme derinliği $H_{kritik} = 50$ m olarak elde edilmektedir. (Kayadelen, 1989)'da, "alanların oranı" cinsinden ifade edilen anlık dekapaj oranından hareketle, aynı veriler için, kritik derinlik 53m olarak verilmektedir.

Kritik işletme derinliğini belirleyen anlık dekapaj oranını veren çeşitli yaklaşımlar aynı problem verilerine uygulanarak yaklaşımların yakınsaklığı görülmek istenmiştir (Çizelge 3). Görüldüğü üzere, "alanlar oranı"na dayandırılan anlık dekapaj oranları dik yatımlı damarlar için daha ayrıntılı bir şekilde formüle edilen anlık dekapaj oran değerleri Çizelge 2 ile çok iyi bir uyum içindedir (Nilsson, 1982) kaynağında belirtilen formülün sonuçlarının ise iki yaklaşımın sonuçlarından çok farklı oldukları keza Çizelge 3'den izlenmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada incelenen konulardan çıkarılabilecek sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Açık işletme pratiğinde, kullanım amacına uygun olarak çeşitli dekapaj (örtü kazı) oranları tariflenebilir (Çizelge 1). Ekonomik dekapaj oranı tamamen maliyetlerin fonksiyonu olup "zaman boyutu" (5-20 yıl) içinde sürekli biçimde değişen, yani "dinamik" (Şekil 4) bir faktördür. Bu sonuç, tamamen açık işletme teknolojisinde büyük ölçekli kazı ve nakliyat araçlarının kullanılması ile gerçekleştirilen büyük üretim miktarlarıyla ilintilidir ($5 - 30 \cdot 10^6$ t/yıl).

- Açık işletme nihai sınırlarının oluşturulmasında kullanılan "kritik işletme derinliği" kavramı dik yatımlı damar geometrisi için (anlık dekapaj oranı = ekonomik dekapaj oranı) sınır şartından hareketle formüle edilmiştir (Çizelge 2 ve Şekil 5). Verilen bir işletme geometrisi için kritik derinliği denetleyen en belirgin ve değişebilir parametreler "ekonomik dekapaj oranı" ve "nihai şev açısıdır."

Vurgulanmalıdır ki "kritik derinlik" faktörü de işletme evresi boyunca sürekli ve artan şekilde değişmektedir (Şekil 3). Bu sonuç, yöntem belir-

lemesi açısından belki şöyle yorumlanabilir; bugün ülkemizde yeraltı işletmesi ile üretilen Uludağ-Volfram, Alpagut-Dodurga Linyit İşletmeleri, Soma-Vinç topuğu 10-15 yıl önce açık işletme potansiyeli olan tipik örnekler idi.

KAYNAKLAR

- ARIOĞLU, E., 1986, Jeoloji Mühendisleri İçin Madencilik Bilgisi , I.T.Ü. Vakfı Yayını No: 4, İstanbul
- BOKY, B., 1967, Mining , Mir Publishers, Moscow.
- FETTWEISS, G., 1979, World Coal Resources , Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- KAYADELEN, M., 1989, Çözümlü Madencilik Problemleri Kitabı ve Ekonomik Örtü-Kazı Oranı , TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Madencilik Dergisi, Ankara, Cilt XXVIII, Sayı 1 S51-56.
- NILSSON, D., 1982, Underground Mining Methods Handbook (Ed. W.A. Huttrulid), Society of Mining Engineers, New York.
- PFLEIDER, E.P., 1968, Surface Mining, The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York.
- POPOV, G., 1971, The Working of Mineral Deposits, Mir Publishers, Moscow.
- SHEVYAKONOV, L., 1965, Mining of Mineral Deposits, Foreign Languages Publishing House, Moscow.
- SINCLAIR, J.W., 1969, Quarrying, Open Cast and Alluvial Mining , Elsevier, London.

