

## Maden Projelerinin Değerlendirmesinde Optimum Üretim Miktarının Belirlenmesi

DOI NO: 10.5578/JSS.8623

Alper Demirbugan<sup>1</sup>

Geliş Tarihi: 04.06.2014

Kabul Tarihi: 20.11.2014

### Özet

Maden projelerinde maden yatağının etkin biçimde işletilmesi büyük önem taşımaktadır. Üretim miktarı(ÜM), madencilik projelerinin karlılık düzeyini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Maden projelerinin karlılığını etkileyen proje maliyetleri, sınır tenör ve rezerv miktarıyla ilişkili olarak yıllık üretim miktarı tarafından belirlenir. Optimum üretim miktarı paranın zaman değerini göz önünde bulundurarak proje karını maksimize eden üretim miktarıdır. Bu çalışmada indirgenmiş nakit akımlarını kullanan optimum üretim miktarı yöntemleri ve kar fonksiyonu davranışı kuramsal olarak ele alınmakta ve konu bir maden yatağına uygulanmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Optimum Üretim Miktarı, Sınır tenör, Net Bugünkü Değer, Karlılık.

### *Determination of Optimum Production Rate in Evaluation of Mine Projects*

### Abstract

Exploitation of mine deposits with efficiency way has great importance. Production rate is one of the most important factors effecting the profitability level of mine projects. Project costs affecting the profitability are determined as related with cutoff grade and reserve by yearly production rate. Optimum production amount is a rate at which project profit is maximized taking account time value of money. In this study, methods of optimum production rate using discounted cash flows and behavior of profit function are investigated with an application of a mine deposit.

**Keywords:** Optimum Production Rate, Cutoff Grade, Net Present Value, Profitability.

---

<sup>1</sup> Dr., MTA Genel Müdürlüğü, Deniz ve Çevre Araştırmaları Dairesi, ademirbugan@yahoo.com

## Giriş

Madencilik projelerinde maden yatağının karlılığını etkileyen nakit akımlarının değeri ve zaman içindeki dağılımının belirlenmesinde yıllık üretim miktarı kullanılır. Üretim miktarını etkileyen faktörler sınır tenör(cutoff grade) ve rezerv miktarıdır. Sınır tenör, bir maden yatağındaki cevherin birim satış değerini birim üretim maliyetine eşitleyen tenör değeri(gr/ton) olarak tanımlanmaktadır. Madencilik projelerinde üretim miktarı sınır tenör ve rezerv miktarı ile ilişkili olarak belirlenebilen bir parametredir(Lane 1964, Lane 1988, Bradley, 1980; Hustrulid ve Kuchta 2006, Rendu 2008, Dağdelen 2008, Taylor 1972,Sabour 2002, Cavender 1992). Sınır tenör kararıyla birlikte üretim kapasitesindeki değişimler maden yatağı tükenme ömrünün artması veya azalması ve dolayısıyla yıllık nakit akımlarının bugünkü değerinin değişmesinde önemli etkiye sahiptir (Konuk ve Yersel, 1995). Madencilik projelerinde üretim planlamasında sınır tenör ve işletilebilir ortalama tenör kavramları kullanılır. Sınır tenör ekonomik bir maden yatağının en alt işletme tenörüdür. İşletilebilir ortalama tenör, bir maden yatağı veya maden işletilmesinde, sınır tenöründen daha yüksek olan cevher bölümünün ortalama tenörüdür.

Madencilik projelerinin değerlendirmesinde cevher rezervinin en etkin biçimde, yani karlılık düzeyini maksimize edebilecek şekilde üretilmesi amaçlanır. Üretim miktarı da bu amacı optimize edecek şekilde belirlenir. Başka bir ifadeyle, optimum üretim miktarı(OÜM) proje karını maksimize eden yıllık üretim düzeyidir.

Bu çalışmada önce sınır tenör ve rezerv kavramları ile indirgenmiş nakit akımlarını kullanan optimum üretim miktarı yöntemi kuramsal çerçevede ele alınmaktadır. İkinci bölümde Wells(1978:1676)'ce geliştirilen indirgenmiş nakit akımlarına dayalı optimizasyon modelinin kar fonksiyonu davranışı göz önünde bulundurularak açıklanmasına yer verilmektedir. Daha sonra konu Kırklareli İli Dereköy bakır yatağı projesine uygulanmaktadır.

## 1 . Sınır Tenör Ve Rezerv

Madencilik projelerinde sınır tenör ve rezerv miktarı, optimum üretim miktarını ve dolayısıyla net faydayı etkileyen başlıca faktörlerdir.

Tenör, cevher olarak da adlandırılan mineral maddeden oluşan bir maden yatağının birim tonaj veya hacminde bulunan metal miktarı(gr/ton, gr/m<sup>3</sup>), rezerv ise işletilebilir cevher kütleleridir(ton veya m<sup>3</sup>). Sınır tenör ekonomik cevher ile ekonomik olmayan cevherin(atık) ayrıldığı tenör şeklinde ifade edilebilir. Sınır tenör' ün üstündeki değerlerdeki bölüm rezerv olarak kabul edilip cevher hazırlama tesislerinde değerlendirilirken altındaki bölüm ise atık yığınlarına gönderilir. Maden yatağında sınır tenörün üzerinde bulunan cevher miktarı madencilik faaliyetinden kaynaklanacak nakit

akımlarını doğrudan etkiler. Cevherin rezerv olarak sınıflandırılabilmesi bir biriminin satış değerinin bu birim için katlanılacak maliyeti aşması ile sağlanabilir. Bu durumun sağlandığı metal içeriği sınır tenör'e karşı gelir. Başka bir ifade ile, sınır tenör düzeyinde bir ton cevherden sağlanan fayda katlanılan maliyetlere eşit olmalıdır. Bu durum aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir(Lane 1988).

$$g_m (P - k) y = h$$

Burada;

$g_m$  = sınır tenör (gr/ton).

P = birim metal satış fiyatı(TL/gr)

k = satış maliyeti (TL/gr)

y = kazanım (%)

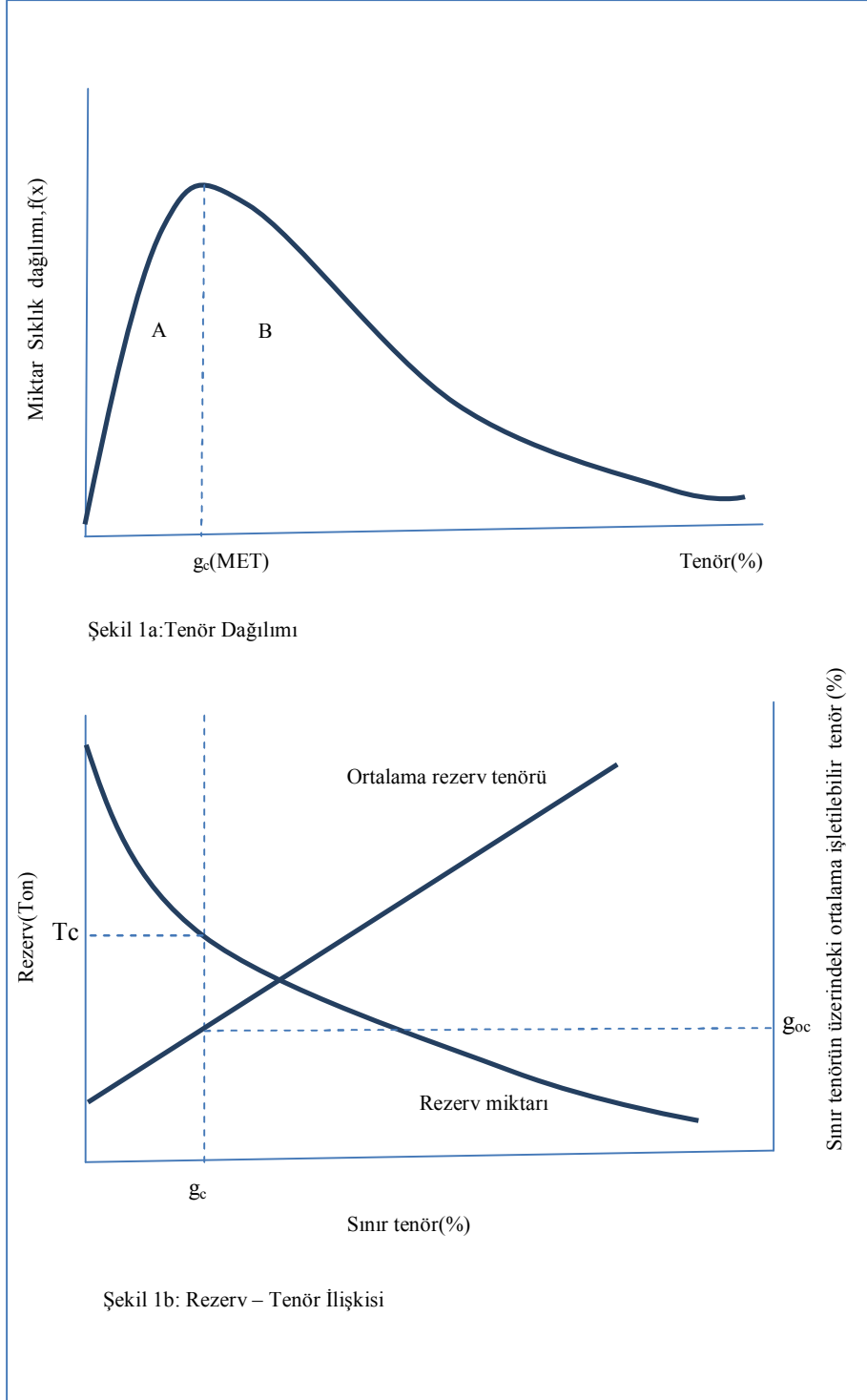
h = üretim maliyeti (TL/ton)

Bu bağıntı yeniden düzenlenerek MET( $g_m$ ) aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$g_m = \frac{h}{(P - k)y} \quad (1)$$

Bir maden yatağı için rezerv, fiziki kısıtlamayı oluşturmaktadır. Ekonomik değere sahip olan rezerv miktarı veri iken üretim miktarı seçildiğinde madencilik projesinin ömrü de belirlenmiş olmaktadır.

Sınır tenör ile rezerv, ortalama tenör ve atık miktarı arasındaki ilişkiler şekil 1a ve 1b yardımıyla incelenebilir. Bir maden yatağının cevher miktarıyla ilişkili olarak tenör sıklık dağılım eğrisi şekil 1a' da görülmektedir. Eğrinin altında kalan alan maden yatağının toplam mineral madde miktarına karşı gelmektedir. Eğrinin şekli farklı tenör değerleri için miktar değişimini yansıtmaktadır. Sınır tenörün altındaki A alanı atığı B alanı ise ekonomik değer içeren rezervi göstermektedir. A alanının işlenmediği durumda B alanının ortalama tenör değeri maden yatağının tümünün ortalama değerinden daha yüksek değerler almakta rezerv miktarı ise düşmektedir. Rezerv ile sınır tenör arasında ters orantılı ilişki vardır. Bu durum şekil 1b' de izlenebilir. Yatay eksenindeki sınır tenör( $g_c$ )' e karşı gelen rezerv miktarı ve ortalama tenör, düşey eksenlerde sırasıyla  $T_c$  ve  $g_{oc}$  simgeleriyle gösterilmiştir.



## 2. Optimum Üretim Miktarı

Rezerv veri iken farklı üretim miktarları için farklı işletme ömürleri ve dolayısıyla farklı kârlılık düzeyleri söz konusudur. Bu durum matematiksel olarak her proje için faydayı maksimize eden tek bir üretim miktarının bulunduğu anlamına gelmektedir.

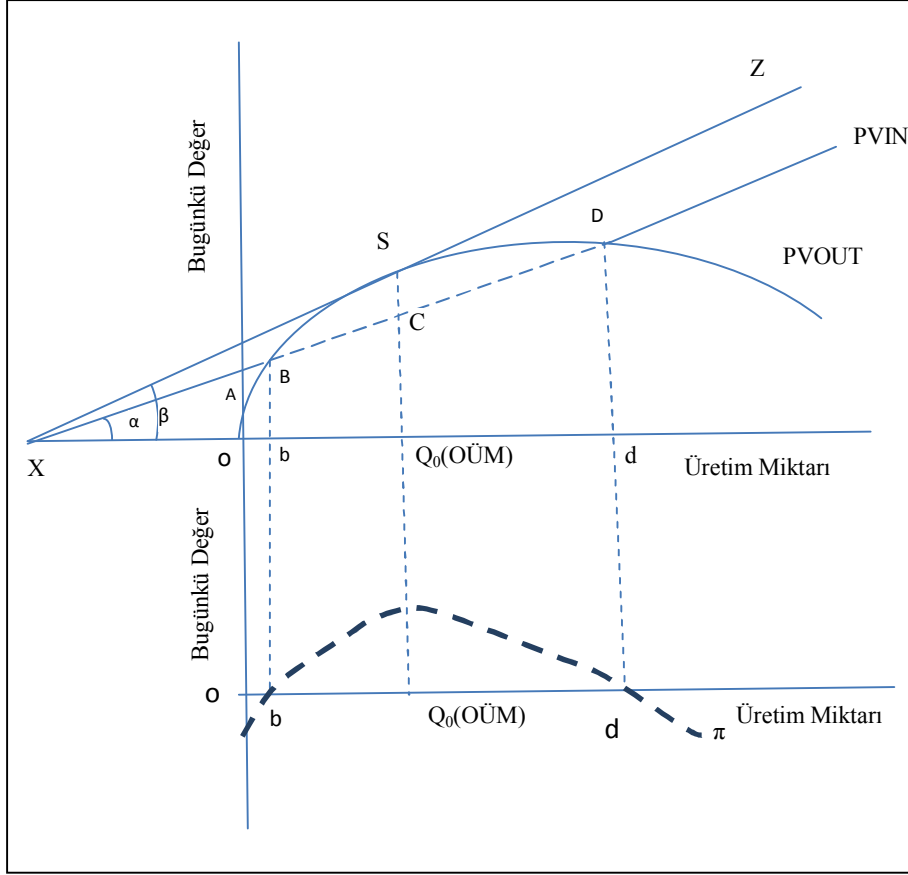
Optimum üretim miktarı, Wells(1978)'ce geliştirilen indirgenmiş nakit akımlarına dayalı model yardımıyla belirlenebilir. Bu model aşağıda özetlenmektedir.

İndirgenmiş nakit akımları modelinde projenin karlılık düzeyi, negatif nakit akımlarının indirgenmiş değeri(PVIN) ile pozitif nakit akımlarının indirgenmiş değerinin(PVOUT) ilişkilendirilmesiyle belirlenir. Bu analizde optimizasyon ya da karlılık ölçütü net bugünkü değer oranıdır(PVR).

$$PVR = \frac{PVOUT}{PVIN} \quad (2)$$

$PVR > 1$  olduğunda minimum gereksinim karşılanmaktadır. Modelde PVR' yi maksimum yapan üretim düzeyi araştırılmaktadır. Optimizasyon süreci şekil 2 yardımıyla incelenebilir.

Şekil 2'de, BSD eğrisi PVOUT fonksiyonunu, BD doğrusu ise PVIN' in doğrusal fonksiyonunu temsil etmektedir. Herhangi bir üretim miktarında PVR, bu üretime karşı gelen düşey eksendeki PVOUT/PVIN oranı olup, yatay eksen bu oranı maksimize edecek üretim miktarı araştırılmaktadır.



Şekil 2 : Optimum üretim miktarı

Wells(1978)' in modelinde yatırım fonksiyonu (Y) aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir.

$$Y = DY \cdot \text{ÜM} + SY$$

Burada;

Y : Yatırım tutarı

DY : Değişken yatırım maliyeti

ÜM : Üretim miktarı  
SY : Sabit yatırım tutarı

Yatırım giderlerinin yatırım dönemi boyunca her yılın başında olmak üzere eşit miktarlarda gerçekleştirildiği varsayıldığında, yatırım döneminin ilk yılının sonunda negatif nakit akımlarının bugünkü değeri;

$$PVI = \frac{(1+s)^m - 1}{s(1+s)^m} (1+s) \frac{Y}{m} \quad (3)$$

dir.

Burada;  
s: indirgeme oranı  
m: Yatırım süresi

$\left[ \frac{(1+s)^m - 1}{s(1+s)^m} (1+s) \frac{1}{m} \right]$  terimi sabit bir değer olup, (3) bağıntısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$PVI = Sbt(DY * \dot{U}M + SY) \quad (4)$$

Üretim miktarının bir fonksiyonu olan PVIN' ı temsil eden BD doğrusu, PVI=0 olduğunda yatay eksen X noktasında keser(Şekil 2). (4) bağıntısı yeniden düzenlendiğinde;

$$OX = \frac{-SY * Sabit}{DY * Sabit} \quad (5)$$

dir.

Net nakit akımlarının proje ömrü boyunca her yılın sonunda oluştuğu varsayıldığında pozitif nakit akımlarının yatırım döneminin ilk yılının sonuna indirgenmiş bugünkü değerine ilişkin PVOUT fonksiyonu ise aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$PVOUT = G \frac{(1+s)^n - 1}{s(1+s)^n} * \frac{1}{(1+s)^m} \quad (6)$$

Burada;G: Yıllık net nakit akımı

s: İndirgeme oranı

n: proje ömrü

m: Yatırım süresi ' dir.

$$n = \text{proje ömrü} = \frac{\text{Rezerv}}{\text{Üretim Miktarı}} \text{ 'dir.}$$

Şekil 2’de  $\alpha$  eğimli yatırım fonksiyonu(BD doğrusu) yatay eksenini X noktasında kesmektedir. X noktasından daha yüksek  $\beta$  eğimiyle ( $\beta > \alpha$ ) çizilen diğer bir yatırım doğrusu (XZ) ise, üretim miktarına ilişkin olarak verilen düşey eksenini BD’ den daha yüksek bir noktada(örneğin S noktası) kesmektedir. XZ ve XC doğruları arasındaki düşey uzaklık(SC) net bugünkü değer oranına (PVR) karşı gelmektedir.  $\beta$  eğiminin var olan kısıtlar altında en yüksek değeri aldığı durumda XZ doğrusu pozitif nakit akımlarının bugünkü değerini temsil eden BSD eğrisine S noktasında teğet olmaktadır. Bu nokta, PVR’ nin maksimum olduğu üretim düzeyine yani optimum üretim miktarına karşı gelmektedir. Şekil 2’de S noktasının altındaki üretim miktarlarında PVOUT eğrisinin eğiminin PVIN doğrusunun eğiminden daha yüksek olması net faydanın maliyetlerden daha hızlı artması bu noktanın üzerindeki üretim düzeylerinde ise tersine, PVOUT eğrisinin eğiminin PVI eğrisinin eğiminden daha düşük olması maliyetin net faydadan daha yüksek hızla artması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, ancak S noktasına karşı gelen üretim miktarında( $Q_0$ ) kar maksimizasyonu sağlanmaktadır(Wells,1978).

Kar fonksiyonu davranışı kuramında bir projenin karı( $\pi$ ) toplam satış gelirleri ile toplam maliyeti arasındaki farktır(Bulmuş, 2003; Pyndoc, 2014, ). Wellss(1978)’ in modelinde ise kar, net bugünkü değer oranı(PVR) olarak bir oran biçiminde ifade edilmektedir. Bu modelde maden yatağında üretim başlayıp arttıkça yönleri birbirinden farklı olan iki tip nakit akımı ile karşı karşıya kalınmaktadır. Üretim miktarının bir fonksiyonu olarak satış hasılatının indirgenmiş değeri yani proje faydası doğrusal olmayan biçimde artarken, yatırım harcamalarının indirgenmiş değeri yani proje maliyeti doğrusal biçimde artmaktadır(Şekil 2). Üretim arttıkça işletmenin toplam faydası ile birlikte maliyeti de artmaktadır. Üretim miktarı 0b aralığında iken



toplam maliyet doğrusu PVIN), toplam fayda eğrisine (PVOOUT) oranla daha düşük eğime sahiptir. Yani, marjinal maliyet(mPVI) marjinal faydanın(mPVOUT) altında değer almaktadır. 0b aralığında işletme zarar etmekle birlikte(PVR < 1) üretim attıkça zarar azalır. Üretim b düzeyine ulaştığında işletmenin herhangi bir zararı olmadığı gibi karı'da yoktur. Yani PVR=1' dir. Bu üretim düzeyi başabaş noktasına (breakeven point) karşı gelmektedir. Bu üretim düzeyinden itibaren kar' a geçilir(PVR=1). Herhangi bir üretim düzeyinde kar toplam fayda eğrisi ile toplam maliyet doğrusu arasındaki dikey uzaklıktır. Üretim bQ<sub>0</sub> aralığında iken işletmenin elde ettiği toplam kar sürekli artar (PVR>1). Toplam kardaki sürekli artışın temposu marjinal faydanın ne yönde değiştiğine bağlıdır. Marjinal fayda artışı sürdüüyorsa toplam kar artan tempoda artar. Marjinal fayda azalıyorsa toplam kar azalan bir tempoda artar. Şekil 2'de karı maksimum kılan üretim düzeyi Q<sub>0</sub>' dır. Toplam gelir eğrisi ile toplam maliyet doğrusu arasındaki dikey uzaklığın en büyük olması ancak bu üretim düzeyinde mümkündür. Üretim Q<sub>0</sub> düzeyini aştığında toplam fayda fonksiyonunun eğimi azalmaktadır. Toplam maliyet fonksiyonu ise bir doğru şeklinde olduğundan eğimi sabittir. Eğimi sabit olan toplam maliyet fonksiyonu ile eğimi giderek azalan toplam fayda fonksiyonu arasındaki fark bu üretim düzeyinden itibaren kapanmaktadır. Bu ise, işletmenin karının giderek azalacağı anlamına gelmektedir. Bu üretim düzeyinden sonra üretimi bir birim arttırmak için işletmenin katlanması gereken maliyet bu birim ile elde edebileceği gelirden yüksektir. Bu durum toplam kar'ın sürekli olarak azalması sonucunu doğurur. Azalan kar üretim d noktasında olduğunda yok olur. Üretim 0d düzeyini aştığında işletme yeniden zarar etmeye başlar(PVR<1)(Bulmuş 2003, Pyndoc 2014; Smith, 1997).

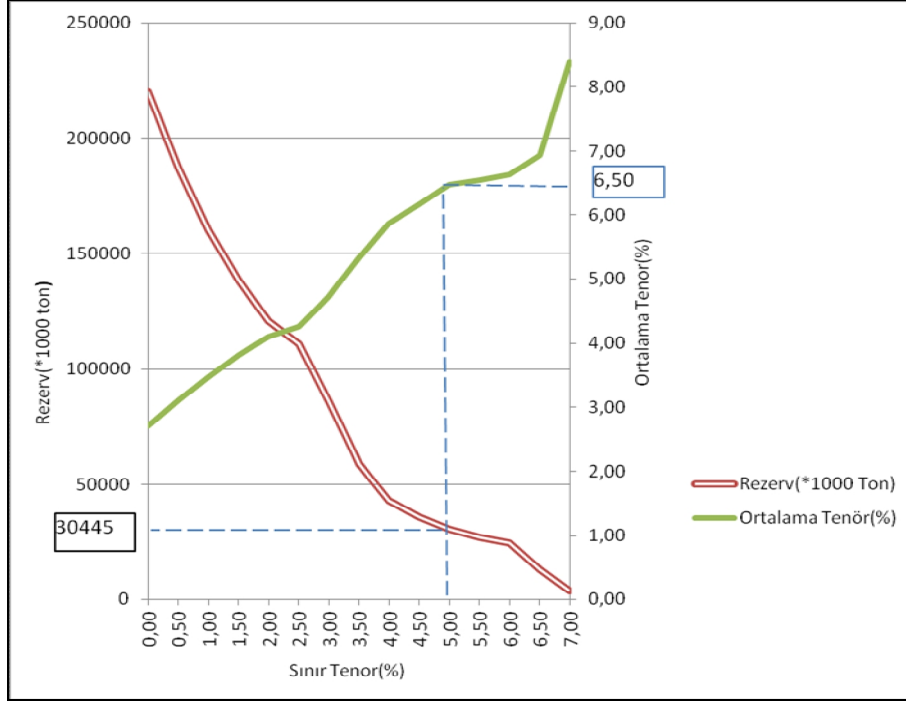
### 3. Dereköy Bakır Yatağı Projesi Uygulaması

Rezerv ve tenör miktarı veri iken optimum üretim miktarının belirlenmesine ilişkin olarak yukarıda açıklanan kuramsal yaklaşım Dereköy bakır yatağına uygulanarak örneklenebilir.

Dereköy bakır yatağı Kırklareli'ne 12 km uzaklıktaki Dereköy sınırları içerisinde Alibeytepe mevkiinde yer almaktadır. Dereköy sahasındaki mineral madde içeren kaynak 220 000 000 ton olup ortalama tenörü %2.71' dir(Masayuki vd.1989). Bakır yatağında farklı tenör değerleri için kümülatif rezerv miktarları Tablo 1' de ki gibidir. Sınır tenör, ortalama işletilebilir tenör ve rezev miktarları arasındaki fonksiyonel ilişkiyi yansıtan Tenör – Rezerv eğrisi ise Şekil 3' de verilmiştir.

Tablo 1 : Farklı tenörler için rezerv miktarları

sınır tenör(%)	Rezerv (*10 <sup>3</sup> Ton)	Ortalama İşletilebilir Tenör(%)
0,00	220000	2,71
0,50	187000	3,11
1,00	160000	3,47
1,50	138000	3,81
2,00	121000	4,10
2,50	110737	4,26
3,00	85887	4,72
3,50	58750	5,33
4,00	43224	5,87
4,50	35915	6,17
5,00	30445	6,50
5,50	26984	6,55
6,00	24594	6,64
6,50	12885	6,94
7,00	3682	8,38



Şekil 3: Tenör – rezerv eğrisi

Dereköy yatağının Ekskavatör-Kamyon bileşimi kullanılarak açık ocak yöntemiyle işletilmesi planlanmaktadır. 2013 yılı verileriyle bakır satış fiyatı 3.7 \$/lb' dir. Birim satış maliyeti ise izabe masraflarıyla birlikte ortalama 0.7 \$/lb' dir(MetalPrices.com, 2014).

2013 verileri ile bakır üretimi için birim maliyetler 1\$/lb - 3\$/lb aralığında değişmektedir. Proje verilerinin uyarlanması ve benzer işletme verileri göz önünde bulundurularak Dereköy projesi için birim maliyet 2. 19 \$/lb' olarak tahmin edilmiştir(2013;Masayuki vd. 1989; Mining.com.,2014; Infomine, 2014). Ortalama tenör %6.5, kazanım %80 kabul edildiğinde 1 ton yerinde cevherin içerdiği satılabilir sınır tenöral miktarı;

$$0.065 \cdot 0.80 \cdot 2207 \text{ lb/ton} = 114.76 \text{ lb/ ton' dur.}$$

Birim üretim maliyeti;

$$2.19 \text{ $/lb} \cdot 114.76 \text{ lb/ ton} = 250 \text{ $/ton' dur.}$$

Dereköy bakır yatağı için sınır tenör(sınır tenör,  $g_m$ ), 2013 yılı verileriyle  $P -k = 3$  \$/lb,  $h = 250$  \$/Ton ve  $y = 0.80$  alınarak (1) no' lu bağıntı yardımıyla aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\text{Sınır tenör, } g_m = \frac{250 \text{ \$ /ton}}{3 \text{ \$ /lb} * 0.80} = 104 \text{ lb/ton' dur.}$$

1 lb=453 gr olduğundan,

$$\text{Sınır tenör, } g_m = 104 \text{ lb/ton} * 453 \text{ gr/lb} = 47120 \text{ gr/ton} = 4.71 \text{ kg/1000 kg}$$

Sınır tenör,  $g_m \sim = \% 5$ ' dir.

Dereköy sahasında sınır tenör(%5)' ün üzerindeki tenör değerlerinde yer alan rezerv miktarı 30 445 000 ton olup, bu rezervin ortalama işletilebilir tenörü ise % 6.5' dur (Tablo 1 ve Şekil 3).

Sınır tenör ve rezerv miktarı veri iken optimum üretim miktarı modelinin Dereköy sahasına uygulanmasında kullanılan diğer karakteristiklerin hesaplanması aşağıda özetlenmektedir.

Yerinde Birim(Ton başına) net nakit akımı birim gelir ve birim maliyet arasındaki farktan oluşur.

1 ton sınır tenöral bakır değeri;

$$3,7 \text{ \$ /lb} * 2207 \text{ lb/ton} = 8166 \text{ \$ /ton' dur.}$$

1 \$=2 TL kabul edildiğinde birim sınır tenöral bakır değeri;

$$8166 \text{ \$ /ton} * 2 \text{ TL/\$} = 16332 \text{ TL/ton' dur.}$$

1 ton yerinde cevherden sağlanabilecek gelir;

$$0.065 * 16332 \text{ TL/ton} * 0.80 = \sim 850 \text{ TL/ton' dur.}$$

Birim üretim maliyeti;

$$250 \text{ \$/ton} * 2 \text{ TL/\$} = 500 \text{ TL/ton 'dur.}$$

Birim net nakit akımı(kar) ise;

$$850 \text{ TL/ton} - 500 \text{ TL/ton} = 350 \text{ TL/ton' dur.}$$

Yatırım fonksiyonundaki karakteristiklere ilişkin değerler ise 2013 yılı verileriyle aşağıdaki gibidir (Infomine, 2014; MIT, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Sabit yatırım(SY)} &= 172\,000\,000 \text{ TL} \\ \text{Değişken yatırım maliyeti} &= 130 \text{ TL/ton} \\ \text{Yatırım süresi} &= 4 \text{ yıl} \\ \text{İndirgeme oranı} &= 0.10 \end{aligned}$$

Dereköy projesi için yatırım fonksiyonu;

$$Y = (130 \text{ TL/ton} * \text{ÜM}) + 172\,000\,000 \text{ TL. 'dir.}$$

Dört yıllık sabit yatırım dönemi boyunca her yılın başında düzenli olarak yapılacak yatırım harcamalarının birinci yılın sonuna indirgenmesiyle oluşan maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$PVI = \frac{[(1 + 0.10)^4 - 1](1 + 0.10)}{0.10(1 + 0.10)^4} (130 \text{ TL/ton} * \text{ÜM} + 172000000 \text{ TL})$$

İşletme dönemi boyunca her yılın sonunda düzenli biçimde oluşacak net nakit akımlarının yatırım harcamalarının birinci yılın sonuna indirgenmesiyle oluşan gelir fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$PVOU = (\text{ÜM} * 350 \text{ TL/ton}) \frac{(1 + 0.10)^n - 1}{0.10(1 + 0.10)^n} * \frac{1}{(1 + 0.10)^4}$$

Dereköy projesi için 0 – 4 250 000 ton/yıl aralığında değişen üretim miktarları PVIN ve PVOU fonksiyonlarına uygulanarak bugünkü değer

oranını(PVR) maksimum yapan üretim düzeyi araştırılmıştır. Dereköy projesinde Maksimum karlılık 2 000 000 ton/yıl üretim düzeyinde sağlanmaktadır. Bu noktada PVR = 1.232' dir(Tablo2). Tablo 2' de toplam maliyet ve fayda fonksiyonlarına ilişkin değerlerin yanı sıra bu değerlerdeki değişim eğilimini yansıtan marjinal değerlere de yer verilmiştir.

Dereköy projesine ilişkin üretim miktarındaki değişimle birlikte karlılık düzeyi ve dolayısıyla toplam ve marjinal büyüklüklerde değişmektedir. Değişimlerin büyüklük ve yönü üretim miktarı – karlılık profiline dayalı olarak incelenebilir(Tablo 2 ).

0 – 1 000 000 ton/yıl aralığında zarar edilmekle birlikte, majinal faydanın bugünkü değeri(mPVOUT) marjinal maliyetin bugünkü değerinden(mPVI) büyük olduğundan zarar azalmaktadır. Örneğin 500 000 ton/yıl ve 750 000 ton/yıl'lık üretim miktarlarında karlılık(PVR) sırasıyla 0.735 ve 0.952 'dir. Bu üretim aralığında marjinal faydadaki artış 82.27 milyon TL. iken marjinal maliyetteki artış 32.5 milyon TL' dir(82.27 milyon TL > 32.5 milyon TL.). 1 000 000 ton üretim düzeyinde başa baş noktasına ulaşılır(PVR=1.092 ≈ 1.000). Bu noktada kar ve zarar yoktur. 1000000 - 2000000 ton/yıl aralığında kar (PVR ) sürekli artmaktadır. Bu aralıkta marjinal fayda değerleri(mPVOUT), marjinal maliyet değerlerinden(mPVI) yüksektir. Karlılık 2 000 000 ton/yıl düzeyinde maksimum değeri almaktadır(PVR=1.232). 2 000 000 – 4 250 000 ton/yıl aralığında ise kar(PVR) sürekli azalmaktadır. Bu aralıkta marjinal fayda marjinal maliyetten düşüktür. Örneğin 3 000 000 ton/yıl – 3 5000 000 ton/yıl aralığında mPVOUT, 34,94 milyon TL iken mPVINV 65 milyon TL.'dir (34.94 milyon TL < 65 milyon TL). 4250000 ton/ yıl üretim düzeyinde ise tekrar zarar edilmektedir. Bu değişime paralel olarak marjinal karlılık(mPVR) 2000000 ton/yıl üretim düzeyine kadar artmakta daha sonra azalmaktadır.

Tablo 2 :Üretim Miktarı ve Karlılığı Etkileyen Parametreler

Üretim Miktarı (*10 <sup>3</sup> ton)	PVOUT (*10 <sup>6</sup> TL)	mPVOUT (*10 <sup>6</sup> TL)	PVI (*10 <sup>6</sup> TL)	mPVI (*10 <sup>6</sup> TL)	PVR	mPVR
0			172.00			
250	87,50	87.50	204.50	32.50	0.427	0.428
500	174.43	86.93	237.00	32.50	0.735	0.309
750	256.70	82.27	269.50	32.50	0.952	0.217
1000	329.94	73.24	302.00	32.50	1.092	0.141

1250	393.08	63.14	334.50	32.50	1.175	0,083
1500	446.96	55.88	367.00	32.50	1.217	0.043
1750	491.32	44.36	399.50	32.50	1.229	0,012
2000	532.43	41.11	432.00	32.50	1.232	0.003
2250	559.39	29.96	464.50	32.50	1.204	-0.029
3000	645.18	85.79	562.00	97.50	1.148	-0.056
3500	680.12	34.94	627.00	65,00	1.084	-0.064
4000	715.01	34.89	692.00	65.00	1.033	-0,051
4250	724.18	9.17	724.00	32.50	0.999	-0.034

### Sonuç

Maden yataklarının değerlendirmesinde üretim miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Faydalı ömür, dolayısıyla yatırım ve işletme giderleri gibi proje karlılığını doğrudan etkileyen nakit akımlarının miktarsal ve zamansal dağılımı üretim miktarı tarafından belirlenir. Sınır tenör ve rezerv miktarı ise optimum üretim miktarını etkileyen başlıca parametrelerdir. Bu çalışmada esas olarak maden yataklarının değerlendirilmesinde rezerv ve sınır tenör veri iken karı maksimize eden üretim düzeyinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla önce Wells(1978)' ce geliştirilen ve indirgenmiş nakit akımlarını kullanan optimizasyon modeli ve kar fonksiyonu davranışı kuramsal çerçevede incelenmiş daha sonra konu Dereköy bakır yatağına uygulanmıştır.

Dereköy bakır yatağı için sınır tenör 2013 yılı verileriyle %5 olup, rezerv miktarı 30 445 000 ton, ortalama tenör ise %6.5' dur. Dereköy projesi için optimum üretim miktarı, 0 - 4 250 000 ton/yıl aralığında yer alan üretim değerlerinin toplam fayda ve maliyet fonksiyonlarına uygulanmasıyla araştırılmıştır. Maksimum kar 2 000 000 ton/yıl üretim miktarında sağlanmaktadır. Bu noktada karlılık ölçütünü oluşturan net bugünkü değer oranı(PVR), 1.232' dir. Optimum miktarın dışındaki düzeylerde PVR daha düşük değerler almaktadır. Üretim miktarına bağlı olarak karlılık düzeyi, toplam maliyet ve toplam fayda'da ortaya çıkan değişimin yönü ve büyüklüğü, yani marjinal değişim biçimi kar maksimizasyonu davranışı kuramıyla uyumludur.

### Kaynakça

- Bradley, Paul.G. (1980), "Modelling Mining: Open Pit Copper Production in British Colombia", Resources Policy, March, 44-59.
- Bulmuş, İsmail . (2003), Mikroiktisat, Cantekin Matbaası, Ankara.
- Cavender, Bares. (1992), "Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project Using Discounted Cash Flow and Option Pricing techniques," Mining Engineering, October, 1262-1268.
- Dağdelen,Kadri ve KAWAHATA.K. (2008), 'Value Creation Through Strategic Mine Planning and Cutoff - Grade Optimisation', Mining Engineering, January, 39-45.
- Hustrulid ,William ve KUCHTA, Mark. (2006), Open Pit Mine Planning and Design, Broakfield, Rotterdam.
- Infomine. (2014), Mining Company Investment Opportunities, <http://www.infomine.com>(31.10.2014).
- Konuk, Adnan ve Gürkan, YERSEL.(1995), 'Sınır Tenör Kararlarında Üretim Kapasite Kısıtlarının Etkileri', Jeoloji Mühendisliği, 46.
- Lane, Kenneth. F. (1988), TheEconomic Definition of Ore:Cut-offGrades in Theoryand Practice, Mining Journal Books Limited, London.
- Lane, F.Kenneth. (1964), 'Choosing the Optimum Cutoff Grade', Colorado School Of Mines Quarterely, Vol:59,811-824.
- Masayuki,A., Doğan, R. ve Batık,Hasan .(1989), Kırklareli – Dereköy porfiri Bakır Yatağının 10 000 ton/gün Üretim Alternatifine Göre Değerlendirilmesi, MTA. Genel Müdürlüğü, Rapor no:8805, Ankara.
- Massachuses Institute of Technology (MIT).(2014), 'Mission 2016, The Future of Strategic Naturel Resources, Opening New Mines. <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/index.html> (31.10.2014).
- MetalPrices.Com. (2014), LME, 'Copper Cash Official', <http://www.metalprices.com/historical/database/copper/lme-copper-dec-1-official>(29.10.2014).
- Mining.com. (2014), 'Copper Costs Up, Grades Down,' <http://www.mining.com/copper-costs-up-grades-down-metals-economics-group-99686/> (31.10.2014).
- Pindyck, Robert ve Rubinfeld, Daniel. (2014), Mikroiktisat, (Çev.) Ertuğrul Deliktaş ve Metin Karadağ, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Sabour, Abdel. S.A. (2004), "Mine Size Optimization Using Marginal Analysis", Resources Policy, 28, 145-151.



Smith, Lawrence. (1997), A Critical Examination of The Methods and Factors Affecting the Selection of an Optimum Production Rate, CIM Bulletin.

Rendu, Jean.Michael. (2008), An Introduction To Cut-Off Grade Estimation, SME, Colarado.

Taylor, Hudson.K. (1972),"General BackgraundTheory of Cut off Grades", Institute of Mining and Sınır tenörallurgy Transactions, 160-179.

Wells, H.M. (1978), 'Optimization of Mining Engineering Design in Mineral Valuation', Mining Engineering, December, 1676-1684.

### Şekil Yazıları

Şekil 1a: Tenör Dağılımı  
Şekil 1b: Rezerv – Tenör İlişkisi  
Şekil 2: Optimum üretim miktarı

Şekil 3: Tenör – rezerv eğrisi