

## *Açık İşletmelerde Maliyete İlişkin Bazı Delme-Patlatma Parametrelerine Genel Bakış*

### **General Aspects of Some Drilling-blasting Parameters as to Cost - Effectiveness**

Serdar TOSUN (\*)

#### ÖZET

Açık işletmelerde, delme-patlatma yoluyla yapılan kazılarda en düşük delme, patlatma ve yükleme maliyetinin elde edilebilmesi, optimum delme-patlatma ile mümkündür.

Delme-patlatmanın optimize edilebilmesi için ön koşul, istenilen sonuca ve formasyona uygun delici ekipman, delik çapı ve patlayıcıların seçilmesidir. Madencilikte kullanılan patlayıcıların çoğunluğunun ideal olmayan (nonideal) patlayıcılar olduğu ve performans parametrelerinin, delik çapı ile değiştiği unutulmamalıdır.

Doğru yapılan bir önseçimden sonra, kontrol edilebilir delme-patlatma parametreleri ile ön tasarım yapılmalıdır.

Bu yazının amacı, en düşük toplam maliyeti sağlamak için, önseçimle ilgili, delme, delik çapı, patlayıcı seçimi gibi parametreler ile, bazı kontrol edilebilir delme-patlatma değişkenlerine genel bir bakıştır.

#### ABSTRACT

In an open pit mining where blasting is employed for excavation, the overall cost - effectiveness of the production operations is compatible with optimization of drilling and blasting.

Selecting the appropriate type of drilling equipment, bit diameter and explosive type with respect to rock characteristics, is a prerequisite for the optimization of drilling and blasting. It should be noted that the most of the explosives employed in mining engineering is of a nonideal - type and furthermore the performance parameters vary with the borehole diameter.

A blasting operation should then be optimized through some controllable blasting parameters, upon the selection of appropriate drilling equipment and explosive type.

This paper sets out the general aspects of the drilling - blasting and the controllable parameters in terms of minimum overall cost.

(\*) Kimya Müh., Nitromak A.Ş., ANKARA

## madencilik

### 1. GİRİŞ

Madencilik sektöründe, delme-patlatma yoluyla yapılan kazılarda, toplam maliyeti, delme, patlama ve yükleme maliyetlerinin toplamı olarak ifade etmek mümkündür. Daha sağlıklı bir maliyet analizi parametresi ise, toplam maliyetin gerçek kaya hacmine bölünmesiyle elde edilecek olan birim maliyettir (TL/m<sup>3</sup> kaya). Burada kullanılan, "gerçek kaya hacmi" terimi, ikincil bir patlatmayı gerektirmeden elde edilen, birincil patlatmadan elde edilmiş kullanılabilir kaya hacmidir.

Delme-patlatmalı kazılarda, kırılma ve pasa geometrisi (sadece ayanın gevşetilmesi istenen durumlarda, gevşetmenin derecesi), toplam maliyeti birinci dereceden etkileyen faktörlerdir.

Başarılı bir delme-patlatma sonucu, sadece optimum bir kırılma elde edilmesiyle değil, gevşek ve yüklemeye uygun bir pasa ile de ölçülür. Kırılmanın iyi olduğu fakat iyi gevşememiş veya uygun geometride olmayan bir pasa, yüksek yükleme maliyetine ve sonuç olarak da birim maliyetin artmasına sebep olur.

Optimum kırılma ve parça boyutu, işletmenin kendi şartlarına (ikincil kırma ekipmanı, istenilen parça boyu vb.) bağlıdır. Büyük boyutta malzeme (patar), ikinci delme ve patlatmayı gerektireceğinden, küçük boyutta (ufalanmış, toz benzeri) malzeme ise boşa harcanılmış malzeme olacağından, elde edilen gerçek kaya hacmini düşürerek, toplam maliyeti artırırlar.

Parça boyutu sınırlaması olmayan veya sınır limitleri geniş olan, delme patlatmalarda ise toplam maliyeti etkileyen en önemli hususlardan biri, pasa gevşekliği ve geometrisidir.

Optimum toplam maliyetin elde edilebilmesi ise, delme, delik çapı, patlayıcıların seçimi ve şarj şekli, yüzey patlatma tasarımı, uygun gecikmelerin verilmesi gibi, birçok parametrenin birlikte bir fonksiyonudur. Optimum maliyeti elde edebilmek için, bu parametrelerin belli başlıcalarına, basitçe göz atmakta, fayda vardır.

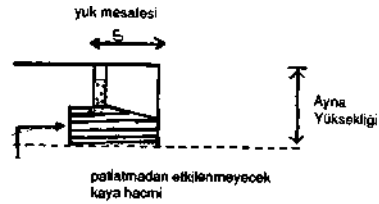
### 2. EN DÜŞÜK TOPLAM MALİYET İÇİN BAZI ÖN KOŞULLAR

#### 2.1. Delme

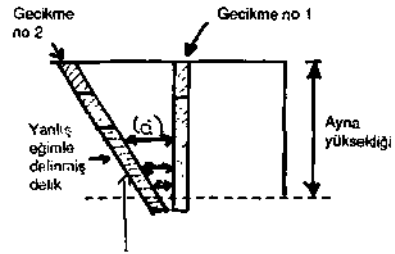
Delme işlemi, delme-patlatma yoluyla yapılan kazılarda ilk ve en önemli adımlardan biridir. İşletme tarafından seçilmiş ya da seçilecek delici ekipmanın karakterleri, daha sonraki operasyonlarda ve maliyetlerde belirleyici rol oynayacaktır.

Delme işleminin düzgün yürütülmemesi, patlatma sonucunu birinci dereceden etkileyip, istenilen sonucun alınamamasına sebep olacaktır.

Deliklerin kısa delinmesi, "tırnak" kalmasıyla, deliklerin eğimlerinin yanlış olup birbirlerine yakınlaşmaları ise, kanal etkisi "channel effect" ya da gecikmesi fazla olan delikteki patlayıcının sağırlaşıp, patlamaması ile sonuçlanacaktır (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. Kısa delik etkisi



Kolonun sağırlaşma ihtimali bulunan kısmı. (d<sub>c</sub>, d<sub>c</sub>)

Şekil 2. Yanlış eğim etkisi

$d$  = İki delik arasındaki mesafe

$d_c$  = Sağırlaşma etkisinin başlayacağı kritik mesafe

$d < d_c$  ise sağırlaşma

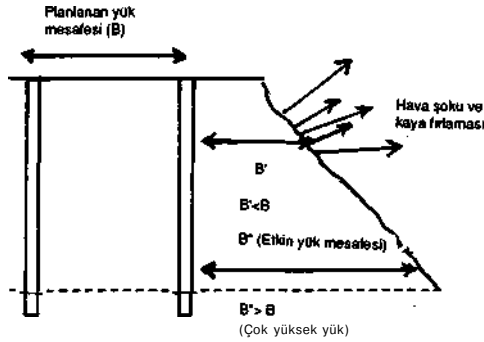
Sağırlaşma etkisi, ilk patlayan deliğin çok yakındaki başka bir deliğe uyguladığı basınç dalgası sonucu, çok yakında bulunan delikteki patlayıcı karışımı sıkıştırması ve yoğunluğunu

## madencilik

artırması nedeniyle bu patlayıcı karışımın hiç patlamaması şeklinde oluşur. Bu basınç patlayıcının duyarlılığı ile orantılıdır. Dolayısıyla duyarısızlaştırma "desensitization" ya da duyarsızlaştırma etkisinin başlayacağı kritik mesafe "de" kolona yüklenen patlayıcının detonasyon mekanizması ve duyarlılığı ile ilintilidir.

Delmenin patlatmaya etkisi kadar, patlatmanın da delmeye etkisi vardır. Geri çatlak sistemleri yaratmış veya topuk bırakmış patlatmalar bundan sonraki delme, dolayısıyla patlatma işlemlerini güçleştirir.

Tırnak kalmış bir patlatmadan sonra ise, özellikle en ön sıradaki delikler için, etkin ayna mesafesi değişecek, bu da patlatmanın sonucunu etkileyecektir (Şekil 3).



Şekil 3. Tırnak kalmış bir patlatmadan sonra yük mesafesinin değişkenliği

### 2.2. Patlayıcı ve Delik Çapı

Sivil amaçlı kullanılan patlayıcıların büyük çoğunluğu ideal olmayan (nonideal) patlayıcılardır. Başka bir deyişle, teorik hesaplanmış patlama hızları ile gerçek patlama hızları birbirinden çok farklı patlayıcılardır. İdeal olmayan patlayıcılarda, patlama hızı, patlatılan delik çapının bir fonksiyonudur. Delik çapı arttıkça patlama hızı da artar ve buna bağlı olarak toplam teorik enerjinin kullanılabilir kısmının, kırma ve itme bölümleri değişir. Dolayısıyla işletmede istenen delme-patlatma sonucuna göre (kırma, parça büyüklüğü, pasa vs) delik çapı-patlayıcı ikilisinin eşleştirilmesi gerekir. Burada gözetilmesi gereken ikinci olay da, seçilen delik çapındaki, patlayıcının performans parametrelerinde (kırma ve itme) jeolojik yapı ve kaya mekaniksel değerlerle eşleşmesi gerekliliğidir.

Örneğin, çok kırılğan ve elastik yapıda bir formasyonda, yüksek kırılma enerjili fakat düşük itirme enerjili bir patlayıcının kullanımı istenenden fazla ve gereksiz bir kırılma, gereksiz bir gevşeme ve pasa geometrisi ile sonuçlanacak, enerjinin yanlış kullanımı toplam maliyeti olumsuz yönde etkileyecektir.

Burada unutulmaması gereken husus, patlayıcının performans parametrelerinin veya başka bir deyişle kayaya verilebilecek toplam enerji ile bu enerjinin, kırma ve itme bileşenlerinin, delik çapı, patlayıcı, formasyonun kaya mekaniksel değerleri ile patlayıcının kolonu tam doldurup doldurmamasının (decoupling effect) birlikte bir fonksiyonu olduğudur.

Başka bir deyişle, aynı kimyasal kompozisyondaki bir patlayıcının, kullanılabilir enerjisi ile bu enerjinin bileşenleri, delik çapı, her formasyon özelliği ve her şarj şekli (deliğin tamamen dolması ve patlayıcının kartuşla şarjı) için değişkendir (Granlund ve Tosun, 1991).

Dolayısıyla, toplam maliyeti en azda tutmak için, her işletmede istenilen patlatma sonucuna ve formasyonun özelliklerine göre, uygun patlayıcı, delik çapı ve şarj şeklinin seçilmesi gereklidir.

### 3. OPTİMUM DELME PATLAMA İÇİN BAZI KONTROL EDİLEBİLİR PARAMETRELER

#### 3.1 .Yüzey Tasarımı ve Ateşleme Düzeni

Ateşleme düzeni ve yüzey delik tasarımı (yük mesafesi delik aralığı) birbirleriyle iç içe iki olaydır.

Elde edilecek gerçek kaya hacmini, istenen performansı sağlayarak en büyük değerine ulaştırmak, yüzey delik ve ateşleme düzeniyle de yakından bağlantılıdır.

Hesaplama ilk etapta en çok yük mesafesi bulunur. En büyük yük mesafesi için bugün dünyada çeşitli yaklaşımlar ve ilgili formüller kullanılmaktadır. Kullanımdaki formüllerin hemen hepsi deneysel (empirical) olduklarından, deneyin yapıldığı ortam ve parametreler doğrultusunda çalışırlar. Başka bir şekilde kullanılabilirlikleri, yapılmış deneyin değişkenlerini bilip, bu

## madencilik

değişkenlerin, işletmenin kendi şartlarına uyarlanması ile mümkündür. Bu işlem ise, deneyin yapıldığı delik çapının, formasyonun kaya mekaniği ve jeolojik yapı değerlerinin, kullanılan patlayıcının performans parametrelerinin bilinmesini gerektirir. Örnek olarak Stig Olafson'un verdiği Langefors ve Kihlström'ün, Granit-Daynamex ikilisi ile homojen yapıda yaptıkları deney sonuçlarından elde ettikleri formülün kısaltılmış şeklini ele alalım. Formülün orijinali;

$$B_{max} = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{p.s}{\bar{C}.f.s/B}} \quad (1)$$

(Langefors, Kihlström; 1979 ) şeklindedir.

$B_{max}$  = En büyük yük mesafesi (m)

d= Delik çapı (mm)

s= Kullanılan patlayıcının eşit ağırlıktaki ANFO'ya oranla kuvveti

c=(kaya sabiti + 0,05)

f=Eğim faktörü

s/B= Delik aralığının yük mesafesine oranı

Bu denklemler basitleştirilirse aşağıda verilen Olafson formülü elde edilir.

$$B_{max} = C - V I b \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (2)$$

$B_{max}$  = En büyük yük mesafesi (m)

Ib = patlayıcının delikteki yoğunluğu (kg/m)

c = kaya sabiti ve 1,25 delik aralığı /delik mesafesi katsayısı kullanılarak elde edilen bir sabit

$R_1$  = Delik eğimiyle ilgili düzeltme faktörü.

$R_2$  = 0,4 kaya sabiti harici durumlar için düzeltme faktörü.

Bu denklemlerde kullanılmış bulunan ANFO'ya oranla patlayıcının ağırlıkça kuvveti teriminin yetersiz bir parametre olması formülün geliştirilmesi gereksimini doğurmuştur. For-

mü.patlatmanın kırma veya itirme kontrollü olmasına göre iki alternatifli olarak aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (Tosun, 1991). Formül ön tasarım aşaması için öngörülmüştür,

Patlatma kırma kontrollü ise;

$$B_{max} = \left[ \frac{0,45}{CF} \cdot \left( \frac{S}{B} \right)^{-0,5} \right] \cdot \left( \frac{\Pi}{4} \right)^{0,5} \cdot D \cdot \rho_L^{0,5} \cdot R_1/R_2 \quad (3)$$

Patlatma itme kontrollü ise;

$$B_{max} = \left[ \frac{0,45}{HG} \cdot \left( \frac{S}{B} \right)^{-0,5} \right] \cdot \left( \frac{\Pi}{4} \right)^{0,5} \cdot D \cdot \rho_L^{0,5} \cdot R_1/R_2 \quad (4)$$

$B_{max}$  = En büyük yük mesafesi (m)

CF = Patlayıcının kayaya "1.786" mJ/kg kinetik kırma enerjisi verebilmesi için gereken özgül şarj (\*).

S/B = Delik aralığı/yük mesafesi oranı

D = Delik çapı (m)

$\rho_L$  = Patlayıcının delik içindeki yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

HG = Patlayıcının, kayada "114" birimlik itme enerjisi endeksi yaratabilmesi için gereken özgül şarj (\*).

$R_1$  = Eğimli delikler için düzeltme katsayısı

$R_2$  = Aynı sırada, aynı anda patlatılan deliklerle ilgili düzeltme katsayısı.

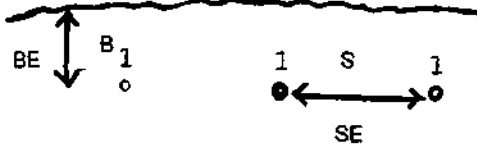
Dikkat edilirse, denklemde S/B, (delik aralığı/ayna mesafesi) değerinin ön sabit olarak verilmesi gereklidir. Bu oran ise gene istenen patlatma sonucuna bağlıdır. Bu oran ise gene , istenen patlatma sonucuna bağlıdır ve amaca göre 1 ile 5 arasında değişebilir. (Hagan, 1986)

(\*) Patlayıcının, kimyasal kompozisyonunun, patlama hızının ve delik çapının, formasyonun kaya mekaniği ve jeolojik değerlerinin, patlayıcının deliğe şarj şeklinin (decoupling effect), birlikte fonksiyonu.

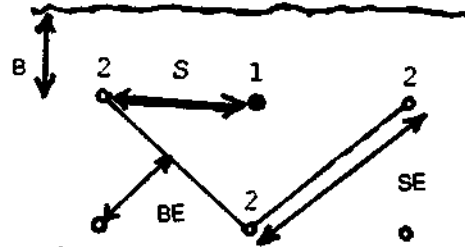
## madencilik

Yukarıdaki parametrelerin detaylı incelenmesi ayrı bir yazı konusu olduğundan burada detaya girilmemiştir.

Yük mesafesi ve delik aralığı saptandıktan sonra, kaya tipine ve istenen etkiyi göre, gecikmelerin ve ateşleme düzeninin "etkin yük mesafesi" ve ateşleme düzeninin "etkin delik aralığı"ni değiştireceği unutulmamalıdır. Örnek olarak şekil 4 ve 5'de görülen ateşleme düzenlerini ele alalım. İki alternatifte delinen yük mesafesi ve delik aralığı mesafesi aynı olmasına karşın, ateşleme düzeninin değişmesi ile, Şekil 5'de görülen düzende "Etkin yük mesafesi ve "etkin delik aralığı" değişmektedir.



Şekil 4. Sıra atımı (BE = B) ve (SE = S)



Şekil 5. V atımı (BE < B) ve (SE > S)

- BE = Etkin yük mesafesi
- B = Delinen yük mesafesi
- SE = Etkin delik aralığı mesafesi
- S = Delinen Delik aralığı

Örneğin yük mesafesinin 1 metre, delik aralığının 1.25 metre delindiği, ateşleme düzenininse "V" atımı olarak tasarlandığı (Şekil 5) bir yüzey tasarımında gerçek yük mesafesi (BE), 0,78 metre; gerçek delik aralığı ise (SE), 1,60 metre olacaktır. Dolayısıyla V, V<sup>1</sup>, V<sup>2</sup>, V<sup>3</sup> atımları ve benzeri olarak tasarlanan atımlarda gerçek yük ve delik aralığı atım şekline göre değişecektir.

### 3.2. Gecikme Zamanları

Patlatılan delikler veya delik grupları arasındaki gecikme zamanları, patlatma sonucuna ve bağlı maliyete (özellikle pasa gevşemesi ve geometrisi açısından) doğrudan etki eder.

Aynanın yıkılması istenen durumlarda, sıralar arasındaki gecikme zamanının, bir önceki sıranın, yük mesafesinin en az 1/3'ü kadar nareket etmesine imkan sağlayacak kadar olması gerekliliği genelleşmiş bir ön tasarım kuralı olarak kabul edilebilir (Bu amaçla önce teorik bir ayna hızı hesaplanması gerekmektedir).

Gecikmenin yeteri kadar olmaması, patlatılan sıraların sıkışması ve gevşek olmayan bir pasa geometrisi ile, gereğinden fazla olması, yayılmış bir pasa geometrisi ile sonuçlanacaktır. Her iki durum da, yüklemeye zorluk yaratılması sonucunu doğuracaktır.

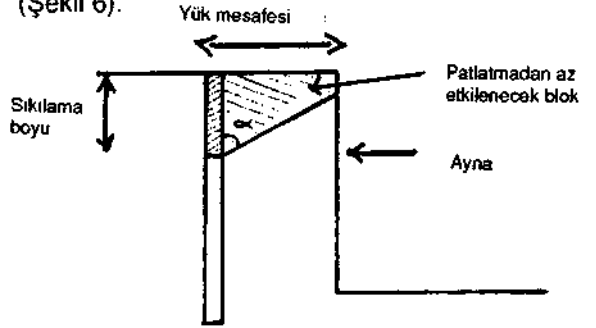
Aynanın yıkılması istenmeyen, sadece gevşeme istenen atımlarda ise; gecikme zamanları hava şoku ve titreşim açısından önemlidir.

Her iki durum için de gecikme zamanlarının hesaplanması özel tekniklerle yapılır. Konu kapsamlı olduğundan burada detaya girilmemiştir.

### 3.3. Sıkılama, Ara Sıkılama, Dip Delgi

#### 3.3.1. Sıkılama

Sıkılamanın boyu patlama sonrası elde edilecek kaba malzeme (patar) miktarını doğrudan etkiler. Sıkılamanın fazla olması durumunda patlatmadan etkilenmeyecek veya gereken ölçüde etkilenmeyecek malzemenin hacmi artar (Şekil 6).



$\alpha$  = Yarım kırılma açısı

Şekil 6. Sıkılama boyu ve kaba malzeme ilişkisi

Sıkılamanın az olması durumunda ise hava şoku, kaya fırlaması ve bazı durumlarda, deto-

## madencilik

nasyon ürünü gazların, aynaya ulaşmadan tepeden boşalarak patlayıcıdan alınabilecek performansın alınamaması sonuçları doğar.

Sıkılama malzemesinin evsafı ve boyutu da, patlatma sonucuna tesir eden parametrelerdir.

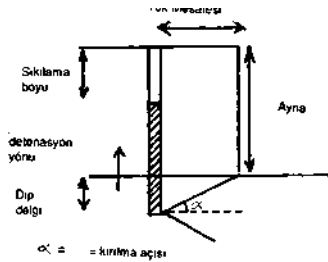
### 3.3.2. Ara Sıkılama

Ara sıkılama özellikle büyük çaplı deliklerde şarjı bölmek için kullanılan bir tekniktir. Ara sıkılamanın boyu da, patlatmadan etkilenmeyecek kaya hacmi açısından dikkatle planlanması gereken bir ön tasarım parametresidir.

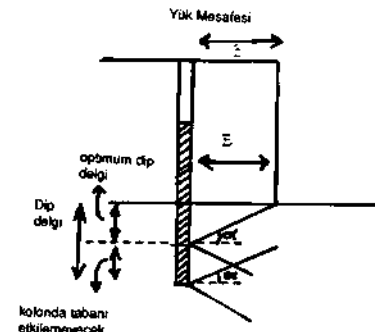
### 3.3.3. Dip Şarj, Dip Delgi

Aynanın sökülmesi en zor kısmı dip kısmı olması nedeniyle (Tosun, 1991) bu kısma ekstra güç verilmesi gerekir. Bu amaçla, daha kuvvetli bir patlayıcı ile dip şarj (patlayıcı kolonu boyunun % 20-% 40 kadarı) ve dip delgi, alınması gereken önlemlerdir. Optimum dip şarj miktarı, ayna yüksekliği, formasyon özellikleri gibi işletmenin kendi şartlarının fonksiyonudur. Optimum dip delgi derinliği kaya tipinin ve buna bağlı kırılma açısının bir fonksiyonudur.

Optimum dip delgiden daha derin delinmiş deliklerde kullanılan patlayıcı, boşa harcanmış olacaktır (Şekil 7a ve 7b).



Şekil 7a. Optimum dip delgi



Şekil 7b. Fazla dip delgi etkisi

Şekil 7b'de de görüldüğü gibi fazla uzun dip delgi yapılması durumunda deliğin o kısmında kullanılan patlayıcı tabanı sökmeye yaramayacaktır. Bu da, patlayıcı sarfiyatı ve fazla delmeden dolayı olan, delme maliyetinin artması ile sonuçlanacaktır.

Ön tasarım amacı ile aşağıdaki yaklaşımlar, optimum dip delgi miktarını verir (Tosun, 1991).

Kaya Tipi	Yarım Kırılma Açısı	Optimum Dip delgi
Çok yumuşak	63°	0,5 x B
Yumuşak	68°	0,4 x B
Orta sert	73°	0,3 x B
Sert	78°	0,2 x B

B= Yük mesafesi

Yarım kırılma açısı sismik dalga hızının ve oluşan çatlakların ilerleme hızının bir fonksiyonudur ve teorik limitleri 63 ile 84 derece arasındadır. Açının hesaplanması mümkün olup bu yazının amacı dışında olduğu için, burada yer verilmeyecektir.

## 4. SONUÇ

Toplam delme-patlatma-yükleme birim maliyetini en aza indirmek için, delme-patlatmanın optimum koşullarda yapılması gereklidir.

Bu amaçla, istenen patlatma sonucuna uygun delme ekipmanının patlayıcı cinsinin seçilmesi ön koşuldur. Unutulmaması gereken noktalar; madencilikte kullanılan patlayıcıların çoğunluğunun ideal olmayan (nonideal) patlayıcılar olduğu, dolayısıyla, patlama hızları ve buna bağlı enerji bölüşüm mekanizmalarının delik çapıyla ve şarj şekliyle bağlantılı olduğu, ayrıca seçilen patlayıcının performans parametrelerinin formasyona uygun olması gerekliliğidir. Sözü edilen önkoşulların herhangi birinde yapılacak yanlış seçim, operasyonun diğer aşamalarında katlanarak büyüyecektir.

Ön seçimin sağlıklı olarak yapılmasından sonra kontrol edilebilir patlatma parametreleri vasıtasıyla, optimum bir ön tasarım yapılmalı, deneme patlatmaları yolu ile de işletmenin delme-patlatma planı sabitleştirilmelidir. Tasarım

bilimsel temellere dayanmalı ve konunun uzmanları tarafından yapılmalıdır.

Toplam maliyete, birim maliyet "(delme + patlatma + yükleme masrafları)/bir patlatmadan elde edilebilen kullanılabilir gerçek kaya hacmi" olarak bakmakta yarar vardır. Bu da işletmenin kendi maliyetlerini tek, tek analiz becerisi ile orantılıdır.

#### KAYNAKLAR

GRANLUND, L ve TOSUN, S., 1991; "Fragmentation and Heave performance of Explosives", Nitro Nobel AB, Sweden, Internal Report.

HAGAN, N.T. 1986; "The Influence of Some Controllable Blast Parameters Upon Muckpile Characteristics and Open Pit Mining Costs", The AU-SIMM/IE Aust Newman Combined Group, Large Open Pit Mining Conference.

LANGEFORS, V. ve KIHLESTRÖM.B, 1979; "The Modern Technique of Rock Blasting", Almquist-Wiksell, Uppsala, Sweden.

OLOFSSON, O. "Applied Explosives Technology for Construction and Mining".

TOSUN, S., 1991; "Madencilikte Patlatılacak Ortama Uygun Patlayıcı Seçimi" Madencilik Dergisi, Araştırma, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını.