

## *Madencilikte Patlatılacak Ortama Uygun Patlayıcı Madde Seçimi*

Optimum Selection of Explosives in Mining

Serdar TOSUN (\*)

### ÖZET

Madencilikte yaygın olarak kullanılan patlatmada, en az toplam maliyetin (harcanan toplam para/elde edilen toplam kaya hacmi) elde edilebilmesi patlatılacak kayanın özelliğine uygun patlayıcı madde seçimi ve bu ikiliye (kaya-patlayıcı madde) uygun patlatma dizaynının yapılması ile olmaktadır.

En az toplam maliyet-optimum sonucu elde etmek için ilk aşama, istenen sonucu sağlayabilecek patlayıcı madde özelliklerine sahip patlayıcının seçimidir. Bunun için patlayıcı maddeleri ideal ve ideal olmayanlar olarak iki sınıfa ayırıp her sınıftaki patlayıcının, şok (kıırma) ve taşıma enerjilerinin tanımlanması gerekir.

Bu yazının amacı, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan patlayıcıların genel olarak sınıflandırılması ve patlatılacak ortama göre patlayıcı madde seçiminde yardımcı olunabilmesidir.

### ABSTRACT

In blasting operation, which is a common method used in mining, obtaining the minimum total cost (total cost/total volume of rock obtained) depends upon, firstly coupling the rock and explosive and choosing the suitable explosive according to rock properties, and secondly coupling the blast pattern to rock-explosive system.

In order to obtain the minimum total cost-optimum results first step is the selection of explosive having suitable properties to achieve the goals. In choosing an explosive, first, explosives should be classified into two groups (ideal and nonideal) and related properties, like shock and heave energies, must be identified.

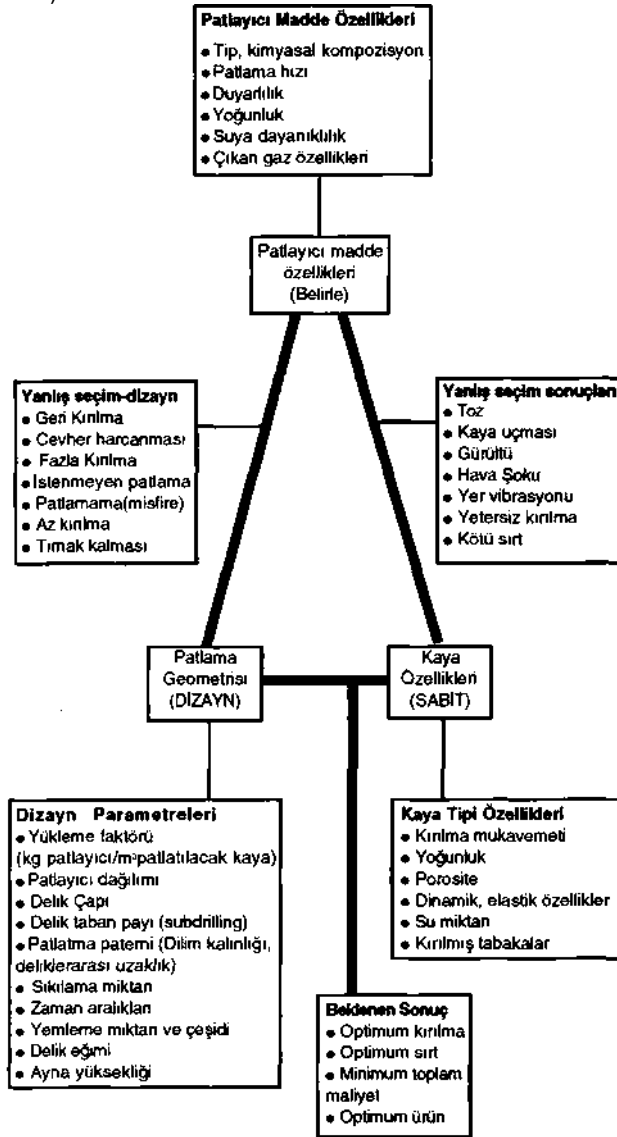
The aim of this paper is a general classification of most common explosives in Turkish market and showing some guidelines for selection of suitable explosive for blasting, depending upon rock properties.

(\*) Kimya Müh., Nitromak AŞ., ANKARA

## 1. GİRİŞ

Patlayıcı maddelerin madencilik ve inşaat sektörlerindeki kullanımları karmaşık ve ülkemizde henüz tam olarak anlaşılammış bir konudur.

Patlatma detaylı bir konu olup, patlatmadan elde edilecek sonuç, seçilen patlayıcı madde, patlatılacak kaya ya da kütlenin özellikleri, patlatma geometrisi ve zamanlamasının (Blast Design) ayrı ayrı ve birlikte fonksiyonudur (Şekil 1)-



Şekil 1. Patlatma geometrisi ve zamanlamasının fonksiyonu

Bir patlatmanın verimli sonuçlanması kaya tipi, patlayıcı madde, dizayn değişkenlerinin birbirine uygunluğuna bağlıdır. Verimli bir patlatma sonucu ise; ikincil patlatmaya gerek görmeyecek, kırıcıyı durdurmaya meydan bırakmayacak bir kırılma, kazmaya uygun ve kazma yükleme işlemi esnasında harcanacak zamanı ve maliyeti en aza indirecek bir yığın, askıda kaya kalmamış ve geri kırılma yapmamış emniyetli bir ayna, eğer patlatma yerleşim merkezi etrafında yapılıyorsa, çevre binalara zarar vermeyecek bir yer titreşimi ve hava şoku elde edilmesi, gibi özelliklerle ölçülür.

Olaya maliyet açısından bakıldığında ise, delme maliyeti, patlayıcı madde maliyeti ve patlatmadan sonraki, yukarıda belirtilen ikincil işlemlerin maliyetlerine, toplam (patlatma maliyeti) olarak bakmak gerekir. Optimum maliyet, ancak elde edilen birim hacim ya da ağırlıktaki kayanın, en az toplam maliyetle elde edilmesidir. Dolayısıyla eğer maliyet faktörü, harcanan toplam para/elde edilen kaya, olarak alınırsa, optimum patlatma sonucu, ancak toplam maliyeti en aza indirmekle olanaklıdır.

Batı ülkelerinde artık ayrı bir mühendislik dalı haline gelen patlatma mühendisliğine göre, patlatma toplam maliyetinin en aza indirilip optimum patlatma sonucunun elde edilebilmesi, ilk olarak patlatılacak ortamın özelliğine uygun patlayıcı madde seçimi ve daha sonra bu ikiliye uygun patlatma geometrisinin ve şeklinin seçimi ile olanaklıdır.

## 2. ORTAMA UYGUN PATLAYICI SEÇİMİ

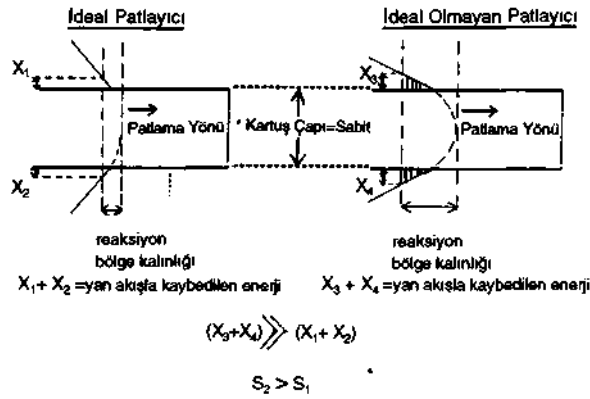
### 2.1. Patlayıcı Seçiminde Aranması Gereken Değişkenler

Şekil 1'den de anlaşılacağı gibi optimum bir patlatma sonucu ve ekonomisi önce uygun bir patlayıcının seçimi ile olanaklıdır. Bunun için de önce patlayıcı maddelerin performanslarını doğru olarak tanımlayabilmek gerekir.

Patlayıcı maddeleri ideal ve ideal olmayan olarak iki sınıfa gruba ayırmak olasıdır.

İdeal patlayıcılar genel olarak, patlama hızları (VOD) kartuşlama çapına ya da kartuş sertliğine göre değişmeyen ya da çok az

değişen patlayıcılar olup örnek olarak askeri amaçlı patlayıcılar verilebilir (RDI, HMI...). Bu tür patlayıcılarda tepkime bölgesi kalınlığı çok ince olduğu için patlama esnasında yan akışta kaybedilen enerji en aza indirgenmiştir. Dolayısıyla patlayıcının kimyasal kompozisyonundaki enerjinin çok büyük bir kısmı hızla şok dalgasına dönüşebilir. Bu çok hızlı reaksiyonun sonucu olarakta yüksek patlama hızları (700-1000 metre/saniye) ve yüksek şok enerjileri gözlenir (Şekil 2).

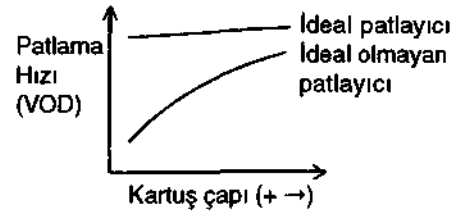


Şekil 2. İdeal ve ideal olmayan patlayıcılarda tepkime bölgesi kalınlığına bağlı, yan akışla kaybedilen enerjinin karşılaştırılması

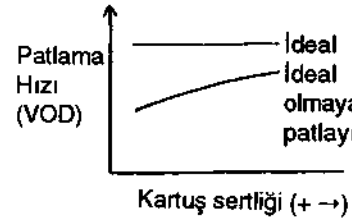
Patlatma mühendisliğinde kullanılan patlayıcılar ise askeri amaçlı patlayıcıların karşısı ideal olmayan bir davranış gösterirler. Dolayısıyla büyüyen kartuş ya da patlatma deliği çapıyla patlama hızları büyür (Şekil 3). Aynı zamanda kartuş sertliğinin artması ile de patlama hızları artar (Şekil 4). Bunun sebebi ise büyüyen kartuş çapı ya da artan sertlikle yan akım kayıplarının oranının küçülmesidir. Bu durumda bir patlayıcının yan akış kompozisyonundaki toplam enerji üçe ayrılabilir:

- Şok enerjisi (kıırma enerjisi);
- Taşıma enerjisi;
- Harcanan, kullanılmayan enerji (hava şok dalgası, kaya fırlaması, gürültü ve toz olarak ortaya çıkar).

Patlatmada kullanılan patlayıcılardaki toplam kimyasal enerjinin yukarıdaki 3 bölge arasındaki dağılımı, delik çapına ve kartuş sertliğine (emülsiyon usulü patlayıcılarda, kartuş görevini çevre kaya gördüğü için, kayanın sertliğine) bağlı olarak değişir.



Şekil 3. İdeal ve ideal olmayan patlayıcılarda, büyüyen kartuş ya da delik çapıyla patlama hızları arasındaki ilişki



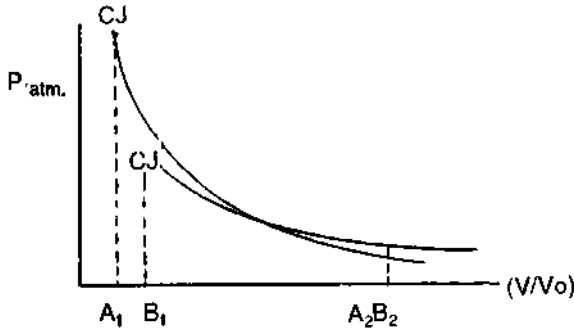
Şekil 4. İdeal ve ideal olmayan patlayıcılarda, büyüyen kartuş sertliği ile patlama hızları arasındaki ilişki

Patlatma mühendisliğindeki ilk adım, patlatılacak kayanın ne tür patlayıcı özellikleri gerektirdiğini öngörebilmektir. Sert kayalarda, şok enerjisinin fazla olması, yumuşak ve orta sertlikte kayalarda ise taşıma enerjisinin fazla tutulması optimum patlayıcı seçiminde ilk yol göstericidir.

Genel olarak bir patlayıcıdaki ideal olmayan yanma özelliğinin artması, artan taşıma kuvvetiyle, ideede yakın patlama özelliğinin de artan şok enerjisi ile karakterize edildiği söylenebilir. Başka bir deyişle, bir patlayıcıdaki toplam mevcut kimyasal enerjinin şok ve taşıma bölümleri arasındaki dağılımı doğrudan doğruya patlayıcının ne kadar ideal olduğu ile ilgilidir. Patlayıcı idealleştikçe, şok

enerjisinin, taşıma enerjisine oranı büyür. Yani ANFO gibi, patlama hızı, delik çapı büyürken doğru orantılı olarak artan, yüksek derecede ideal olmayan patlayıcıların yumuşak kayalarda, dinamit, emulite türü çok daha ideal karakterdeki patlayıcıların da orta sertlikte ve sert kayalarda kullanılması en verimli sonuçları verecektir.

Konuya termodinamik açıdan yaklaşıldığında ise, patlayıcının performansını basınç, genişleme ekseninde tarif etmek daha yararlıdır (Şekil 5).



Şekil 5. İdeal ve ideal olmayan patlayıcıların karakteristik genişleme eğrileri

$P_{atm}$  = Basınç (atmosfer)

$VA_0$  = Orijinal hacimin kaç katı genişleme olduğunu verir

A = Patlayıcının karakteristik genişleme eğrisi (ideal bir patlayıcı, yüksek hız)

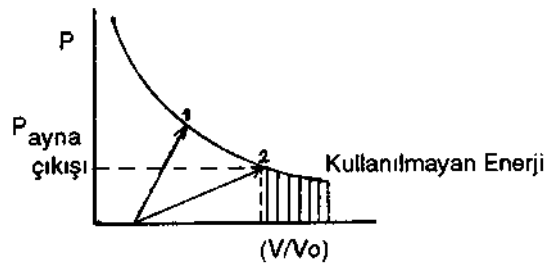
B = Daha idealden uzak bir patlayıcının genişleme eğrisi (daha düşük patlama hızı)

CJ = Hızı karakterize eden Chapman-Jouget (C-J) noktası

Yukarıda da görüldüğü gibi, patlayıcının performansı çıkan gazların karakteristik genişleme eğrileriyle gösterildiğinde toplam enerjiyi eğrinin altındaki alan olarak hesaplamak olanaklıdır.

$$E = \int_{P_1V_1}^{P_2V_2} PdV$$

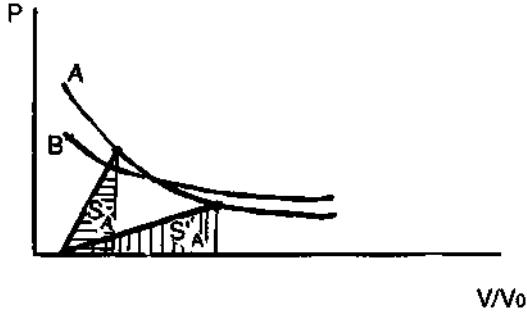
İdeal ve ideal olmayan iki patlayıcının genişleme eğrileri karşılaştırıldığında (A ve B eğrileri) ideal patlayıcılardaki toplam enerjinin yani eğrinin altındaki alanın daha büyük olduğu görülür. Ancak konu kaya kırma olduğu için, daha önce de belirtildiği gibi olaya kullanılabilir şok ve taşıma enerjisi bölgelerine bölerek bakmakta yarar vardır. Bu işlemin yapılabilmesi için de patlama sırasındaki çevre kayanın reaksiyonunun incelenmesi gerekir. Bu konuda değişik kuramlar varolmasına karşın, bütün kuramlardaki ortak noktalardan yola çıkılırsa, kayanın reaksiyona iki fazlı bir olay olarak bakmak oldukça gerçekçidir. Birinci fazda, yani şok dalgası ile delik etrafının ilk temasıyla kayada şok gerilmesi oluşur. Bu ilk şok kayanın elastik limitini (Hugoniot Elastic Limit) geçtikten sonra patlatma deliğinin genişlemesi ve etrafının kırılması ile sonuçlanır. İkinci fazda şok dalgası ayna yüzeyine doğru hareket etmeye devam eder. Hareket halindeki şok dalgası kayaya elastik ve kinetik enerji depolar. Serbest yüzeye doğru çatlaklar genişledikçe çatlakların arasında yol alan gaz kütleyi sıkıştırır ve serbest yüzeye ulaştığı anda kayaya depolamış olduğu kinetik enerjisi ve delikten ivmeyle boşalırken yarattığı itme enerjisini kullanarak taşımaya yarar. Gaz serbest yüzeye ulaştıktan sonra kalan enerji ise kullanılmayan enerji olarak ortaya çıkar. Bu iki faz genişleme eğrisi diyagramında gösterilirse, enerjinin bölüşümü daha kolay anlaşılabilir (Lownds, 1986), (Şekil 6).



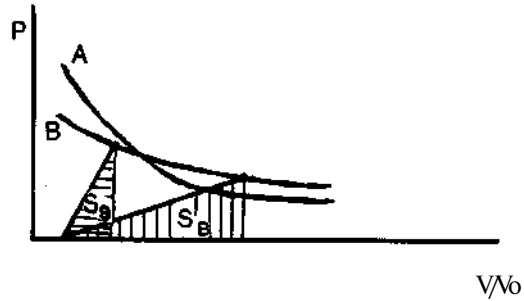
(1) Birinci fazdaki kaya tepkisi  
(2) İkinci fazdaki kaya tepkisi  
Şekil 6. Kaya tipine göre enerjinin bölüşümü  
(Tosun ve Gronlund, 1991)

1 numaralı faz eğrisinin altında kalan alan şok enerjisi, 2 numaralı faz eğrisinin altında kalan alan ise taşıma enerjisi olarak gösterilir. Aynı diyagramda ideal ve ideal olmayan iki patlayıcı karşılaştırıldığında zaman ise, ideal patlayıcıların şok enerjisinin, ideal olmayan patlayıcıların

ise taşıma enerjisinin toplam enerji içindeki paylarının daha büyük olduğu görülür (Şekil 7).



a- İdeal patlayıcılarda enerji bölüşümü



b- İdeal olmayan patlayıcılarda enerji bölüşümü

Şekil 7. İdeal ve ideal olmayan patlayıcılarda, enerjinin bölüşümünün karşılaştırılması (Tosun ve Gronlund, 1991)

- A = İdeal patlayıcının genişleme eğrisi,
- B = İdeal olmayan patlayıcının genişleme eğrisi,
- S = Şok enerjisini gösteren alan,
- S' = Taşıma enerjisini gösteren alan,
- S<sub>A</sub> = İdeal patlayıcının şok enerjisi,
- S<sub>B</sub> = İdeal olmayan patlayıcının şok enerjisini gösteren alan,
- S'<sub>A</sub> = İdeal patlayıcının taşıma enerjisi,
- S'<sub>B</sub> = İdeal olmayan patlayıcının taşıma enerjisini gösteren alan'dır.

Bu durumda patlayıcıların enerji bölüşümleri arasında;

$$S_A > S_B$$

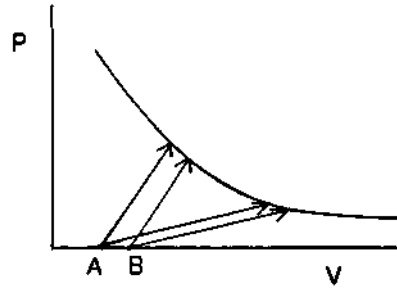
$$S'_B > S'_A$$

bağıntıları olacaktır.

Her patlayıcının genişleme eğrisi, kendi kimyasal kompozisyonunun bir fonksiyonu olduğundan, şok ve taşıma enerjisi karakterleri değişiktir. Karışım patlayıcılarda ise (emülsiyon-ANFO, water gel-ANFO..) bu eğri sonuç karışımının bir fonksiyonu olduğu için değişen oranlardaki, ideal ve ideal olmayan patlayıcı karışımları, istenen patlama özelliklerini verecektir.

## 2.2. Kartuş Çapının Delik Çapına Oranı

Patlama sırasında kayanın tepkilerini (birinci ve ikinci fazda) ve kullanılabilen toplam enerjinin miktarını belirleyen bir diğer önemli parametreye de kartuşlanmış patlayıcı kullanımında, kartuş çapının, delik çapına oranıdır (Decoupling). Kartuşun çapı ile delik çapı arasındaki fark büyüdükçe, kartuş boyunca salınan şok dalgasının, çevre kayaya ulaşması için geçecek zaman artar. Dolayısıyla, şok kayaya ulaştığında daha düşük bir basınçta etki yapacaktır. Kaya tepkisi faz eğrileri 1 ve 2'nin V/V<sub>0</sub> eksenindeki başlangıç noktaları sola doğru kayacak, altlarındaki alan küçülecektir (Şekil 8). Bu da kullanılan enerji miktarının düşmesi demektir. Buna ek olarak, delik tam dolmadığından, delik başına kullanılan patlayıcı miktarı ile delik başına kullanılacak toplam patlayıcı miktarı ve enerji de düşecektir.



- A = Tamamen doldurulmuş delikteki kaya tepkisi
- B = Kartuş çapının delik çapından küçük olduğu kaya tepkisi

Şekil 8. Patlatma deliğinin enerji bölüşümüne etkisi (Tosun ve Gronlund, 1991)

Sonuç olarak kuvvetli etki istenen patlamalarda delik çapına en yakın kartuş çapı, zayıf etki istenen patlamalarda ise, delik çapından küçük çaplı kartuşların kullanılması daha uygundur.

### 2.3. Dip Şarj

Patlayıcı seçiminde gözönünde bulundurulması gereken bir diğer olay da, deliklerde iki ayrı cins patlayıcının dip ve kolon şarjı olarak birlikte kullanımınıdır (Şekil 9).

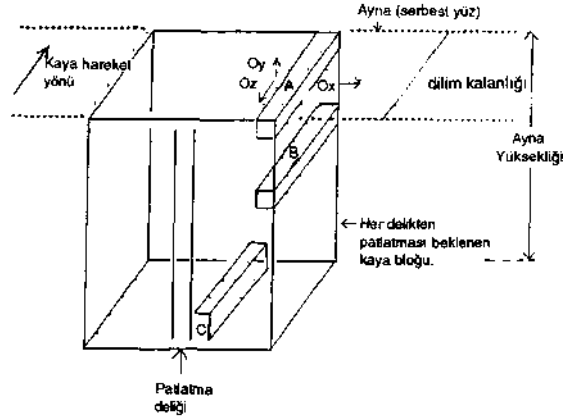


Şekil 9. Patlatma deliğinin kesiti

Patlatılacak bloğun ya da bir deliğin toplam yüküne bakılırsa, kırılması en zor bölgenin bloğun dip bölümleri olduğu görülür. Eğer patlatılacak toplam bloğu, hayali küçük bölümlere bölünür ve incelenirse, her bölümü çevreleyen toplam kaya bloğunun, o bölümdeki toplam gerilmeyi yarattığı (situ stres alanında) varsayılabilir. Dolayısıyla patlatılacak toplam bloğun patlamaya en mukavemetli bölümünün, kendisini çevreleyen kaya kütesinin en fazla olduğu alt bölüm olduğu söylenebilir (Şekil 10). Buradan yola çıkarak, bu bölgede ideale yakın özellikli, şok enerjisi yüksek bir patlayıcının kullanılması, kolonun yukarı kısımlarında kullanılacak daha zayıf bir patlayıcı ile hemen hemen aynı etkiyi verecektir.

Bütün kolonun rr/rr "tlayıcı ile patlatılması ise, sonuçta elde edilen , /anın çok değişik parça büyüklüğünde olmasını, eğer patlayıcının şok

enerjisi, dipteki kaya bloğunun kırılma direncini geçemiyorsa da, tırnak problemini doğuracaktır.



Şekil 10. Toplam kaya yükünde, patlamaya direncin dağılımı

Sonuç olarak, her bloğa gereken oranda şok enerjisi verebilmek ve buna bağlı olarak homojen ve yeterli bir kırılma elde edebilmek için, deliğin dibinde, patlatılacak kayanın sertliğine göre %20-40 oranında yüksek hızlı, ideale yakın bir patlayıcının (dinamit - emülsiyon - water gel-gibi), geri kalanında ise daha düşük hızlı ve daha zayıf bir patlayıcının kullanımı (ANFO gibi) toplam maliyet olarak (toplam para/elde edilen kaya) çok daha iyi sonuçlar verecektir.

## 3. TÜRKİYE'DEKİ DURUM VE SINIFLANDIRMA

### 3.1. İdeal Patlayıcılar

Türkiye'de patlatmada kullanılan patlayıcılar arasında Nitrogliserin-glikol bazlı patlayıcılar (dinamit ve türevleri), emülsiyon usulü patlayıcılar, ideal patlayıcılar sınıfında değerlendirilebilir. Bu türler yüksek şok enerjisi ile bağlantılı olarak, yüksek kırma enerjisi taşırlar.

### 3.2.İdeal Olmayan Patlayıcılar

Piril Amonyum Nitrat-Fuel Oil (ANFO) patlayıcıları ideal olmayan patlayıcılar sınıfında değerlendirmek olasıdır. Yalnız burada unutulmaması gereken çok önemli konulardan bazıları şunlardır:

- Pirit amonyum nitratın tane büyüklüğü ve porositesi, performansını etkileyen çok önemli iki değişkendir. Büyüyen tane büyüklüğü ideal tanımdan uzaklaşmayla büyüyen porositede piritin fuel oili daha fazla emme kapasitesiyle sonuçlanır.

- Kullanılan amonyum nitratın mutlaka piritlenmiş olması gerekmektedir. Aksi durumda kristal yapısındaki amonyum nitratın fuel oil'i emmesi çok az miktarda olduğundan, patlayıcının içindeki yakılabilir karbon miktarı sağlıklı bir yanma için gereken değerin çok altına indiğinden, patlama sağlıklı olmayacak ve kullanılan amonyum nitratın çoğu (her ne kadar patlamış gibi görünse de!) çek düşük hızlı (1000-1500 metre/saniye) sağlıksız bir patlama ile tüketilecektir. Patlatma sonucuna ekonomik açıdan bakıldığında da, her ne kadar patlayıcı maliyeti düşük görünse de, kazma, yeniden delme ve kırma maliyeti ve harcanan zaman çok arttığından sonuç ekonomik açıdan kötü olacaktır.

- Islak ortamlarda, su amonyum nitratı çözeceğinden ANFO'nun patlama hızı, artan su miktarı ile doğru orantılı olarak düşecektir. Delikteki su miktarı kullanılan ANFO'nun %10'una ulaştığında ise, patlama olmayacağından ANFO kullanımından kaçınmak gerekir.

### 3.3. Karışımlar

İdeale yakın patlayıcılar ile ideal olneivancaların karışımı sonucunda elde edilir. Örnek olarak emülsiyon, ANFO karışımları gösterilebilir. Değişen karışım miktarları, değişen kimyasal kompozisyon ve buna bağlı değişen şok ve taşıma enerjisi karakteristikleriyle sonuçlanır.

## 4. SONUÇ

Patlatma mühendisliğindeki ilk olay, genel

maliyeti analiz edebilme yeteneğidir. Yalnız patlayıcı maliyetine değil, patlatmadan önceki ve sonraki olayların (delme ve yeniden delme, yeniden kırma, toplam harcanan zaman, işçi ücretleri gibi) toplam maliyetine, dolayısıyla elde edilen birim ağırlık ya da hacimdeki kayanın maliyetine bakılmalıdır.

En az toplam maliyeti elde etmenin ilk koşulu ise, istenen işi yapabilecek patlayıcının seçimidir. İlk etapta seçilen patlayıcının maliyeti yüksek dahi görünse, son maliyet aşamasında, iyi seçilmiş bir patlayıcı daha düşük bir toplam maliyet verir.

Patlayıcı seçiminde en önemli değişken ise patlatılacak kayanın yoğunluğu ve sertliğidir. Sert ve orta sertlikteki kayalarda, ideale yakın patlayıcıların (nitrogliserin-glikol bazlı, emülsiyon, water gel gibi) kullanılması, yumuşak ve çok yumuşak kayalarda ise pirit amonyum nitrat-fuel oil (ANFO) türü patlayıcıların kullanılması optimum sonucu verir. Yumuşak ve orta sertlik arası kayalarda ise, ideal ve ideal olmayan patlayıcıların kullanılması (emülsiyon-ANFO, water gel-ANFO) istenilen sonucu verir.

Genel olarak, ANFO kullanılan deliklerde de dip şarj olarak ideale yakın özellikli bir patlayıcının kullanılması, patar, tırnak ve kötü yığın problemini çözüp daha iyi sonuç verir.

Patlayıcı seçiminden sonraki ikinci iş dizaynının yapılması olup, ayrı olarak incelenmesi gerekmektedir.

### KAYNAKLAR

LOWNDS, C. M., 1986; The Strength of Explosives. The Planning and Operation of Open Pit and Strip Mines. Johannesburg, SAIMM, pp. 151-159.

TOSUN., S. ve GRANLUND. L., 1991; "Fragmentation and Heave Performance of Explosives", Nitronobel A.B. Sweden, 1.1991, Internal Report.

# Kaya Şev Stabilitesi

## Yazarlar

E. Hoek & J.W. Bray

## Çevrenler

Prof. Dr. A. Günhan Paşamehmetoğlu  
Doç. Dr. Abdurrahim Özgenoğlu, Doç. Dr. Celal Karpuz



TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINI

## Fiyatı

Üye :40.000.-TL

Öğrenci :35.000.-TL

Diğer :75.000.-TL

İsteme Adresi: TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
Selanik Caddesi 19/3, 06650 Kızılay-Ankara