

Kayalarda Delme Ve Patlatma

(Rock Drilling and Blasting)

Metin ÖZDOĞAN*

ÖZET

Bu makalede açık işletmecilikte delme ve patlatma işlemlerinin günümüzdeki kuramsal ve pratik durumu sunulmaktadır.

Kayanın mekanik olarak parçalanması bölümünde vurmali ve dönmeli delme dizgeleri verilmiştir. Kayanın devinik olarak parçalanması başlığı altında ise patlatma incelenmiş ve patlatma işlemini etkileyen etmenler, patlatma kuşakları, yansıma kuramı, krater deneylerine değinilmiştir.

SUMMARY

In this paper, a survey of the present situation of drilling and blasting operations in surface mining is presented.

Percussive and rotary drilling systems are given in the section called mechanical attack to rock. Under the following heading, dynamic attack to rock, blasting is studied and factors effecting blasting, blasting zones, reflection theory and crater experiments are given.

* Maden Y. Mühendisi, Yurtören Ltd., ANKARA.

1. GİRİŞ

Bir kayayı parçalamak için o kayaya doğrudan ya da dolaylı olarak enerji uygulamak gerekir. Uygulanacak enerjinin düzeyi, kayanın özelliğine ve enerji verme biçimine bağlı olarak değişir. Kayaya verilen enerji yeni yüzey yaratılmasında, sürtünme ve esnek dalga dağılımı biçiminde kullanılır.

En az enerji gerektiren parçalanma biçimi, tek eksenli çekme dayanımı yenilmesi biçiminde olan kırılmadır. Ancak, çevresel basıncın da var olduğu koşullarda, parçalanma için daha çok enerjiye gereksinime duyulduğu da bir gerçektir.

Kaya-aygıt etkileşimi sürekli izlenip denetlenmelidir. Bu, kayanın yenilmesi için gereken ve delik makinesi tarafından verilen enerjinin en uygun durumda tutulması için gereklidir.

Kuramsal olarak, en kolay ve verimli kaya delme işlemi, makinenin kayada tek eksenli çekme yenilmesi yaratarak delmeyi gerçekleştirmesi durumudur. Ancak, bugüne değin böyle bir yerdelgi düzeneği geliştirilmiş değildir.

Günümüz yerdelgi makineleri yüksek sürtünme ve enerji kayıpları koşullarında çalışmaktadır. Çünkü, bu makineler kayanın iki eksenli basma dayanımını yenerek delmek durumundadırlar. Çağdaş delik makineleri kayaya çok yüksek düzeyde enerji aktarabilmektedirler. Ancak bu makineleri, kayanın parçalanıp delinmesinde tükettikleri enerji yönünden ele alırsak, hiç de yüksek verimli makineler olmadıklarını görürüz.

Daha yüksek verimli delik makineleri geliştirebilmek için, kaya özelliklerinin, kaya kırılmasını (parçalanmasını) nasıl etkilediğinin araştırılması gerekmektedir. Günümüzde bu konu yeterince çalışılmamış olup, parçalanmayı doğrudan etkileyen kaya etmenleri henüz tam olarak tanımlanabilmiş değildir (1).

Kayaların birbirine göre kırılabilme kolaylığını anlamada (kestirmede) bazı mekanik ve fiziksel özelliklerden ölçüt olarak yararlanılmaya çalışılmaktadır (1). Bunlar kayanın tek eksenli çekme ve basma dayanımlarıdır. Göz önünde bulundurulması gereken bir nokta da kaya dayanımının yan basınç, gözenek sıvı basıncı, yük uygulama hızı ve ısı gibi çevresel koşullardan etkilendiğidir.

Bazı araştırmacılar, kayanın fiziksel özelliklerinin, bunların genellikle daha kolay ve daha ucuz belirlenmesi gerekçesi ile, kırılabilme (parçalanabilme) kolaylığının kestirilmesinde ölçüt olarak kullanılabileceği kanısındadırlar. Ancak, parçalanabilirlik ile kayanın fiziksel özellikleri arasında ilişkiler bulunmakla birlikte, bu ilişki henüz tam ve kesin bir matematik bağıntı biçimine sokulabilmiş değildir. Bu yaklaşım daha çok, çok zayıf kaya ve kömür gibi deney örneği hazırlanma güçlüğü bulunan oluşumlarda yeğlenmektedir. Parçalanabilirle ölçütü olarak kullanılanlar daha çok yoğunluk, sertlik ve gözeneklilik gibi özelliklerdir.

Araştırmacılardan bazıları ise, daha güvenilir deneysel kaya parçalanabilme kolaylığı yaklaşımları getirebilmek için, hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin birlikte ele alınmasının daha sağlıklı olacağını söylemektedirler (1).

2. DELME, KAYANIN MEKANİK OLARAK PARÇALANMASI

2.1. Giriş

Patlatmaya yönelik delme işleminin amacı, kayaya mekanik enerji uygulayarak içine patlayıcı yük konabilecek bir boşluk yaratmaktır. Bu boşluk delici ucun baskı ile kaya içinde ilerlemesiyle açılır. Kaya içinde mekanik olarak ilerlemenin, vurmali (percussive) ve dönmeli (rotary) olmak üzere iki ana yöntemi bulunmaktadır. Delme, çatlak yaratılması ve bu çatlaklardan kopartılan parçacıkların dışarı atılması olmak üzere iki evreden oluşur. Motorun ürettiği mekanik enerji, makinenin delme motoru yardımıyla delme borusu-delici uç dizisine iletilerek kaya, mekanik olarak parçalanıp ilerleme sağlanır.

Delici uç ile tabana yapılan baskı, kaya basma dayanımını yener yenmez kaya delinmeye başlar. Kayanın, delici ucun içinde ilerlemesine karşı gösterdiği dirence, delme dayanımı adı verilmektedir. Bu, kayanın bilinen mekanik dayanım tanımından oldukça değişik bir kavramdır.

Kayanın parçalanarak yenilmesine çatlama yenilmesi, esneklik sınırı dışına çıkarak biçim değiştirmesine de kırılma yenilmesi denilmektedir. Çeşitli bileşik gerilmeler etkisinde kayanın yenilme ölçütü bu şekilde tanımlanabilmektedir. Ancak, bu her iki yenilme türünün geçerli olmadığı durumlarda bulunabildiğinden bir genelleme yapmak yanılsız olabilir.

2.2. Kayada Delerek ilerlemenin Mekanikliği

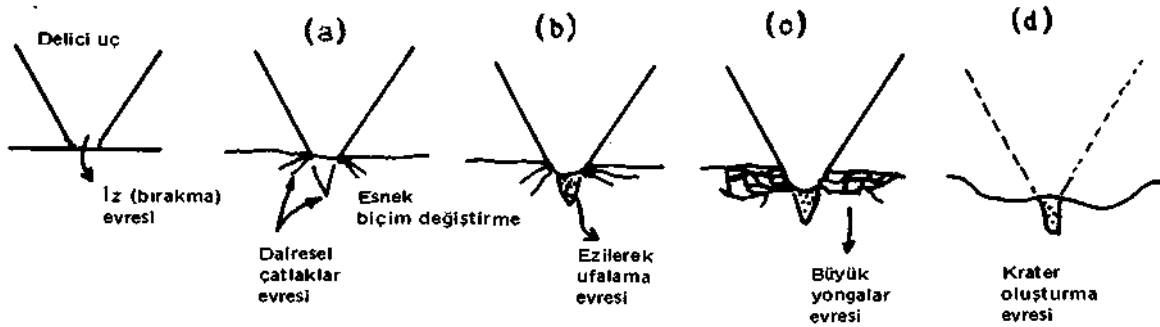
Bu konuda bugün elimizde bulunan bilgiler deneysel ve kuramsal model çalışmaları yardımıyla elde edilmiştir. Analitik tanımlar ise, mekanik ilkeler, esneklik ve plastik kuramları ve deneysel yöntemlerden yararlanılarak türetilmiş bulunmaktadır (1). Model çalışmalarında ideal koşullar varsayılır ve analizi kolaylaştıracak varsayımlar yapılır. Gerek vurmali, gerekse dönmeli kaya delme yönteminin her ikisinin de delici uç biçimi, uca yapılan baskı ve kayanın delmeye karşı gösterdiği tepki gibi ana öğeleri bulunmaktadır.

Hernekadar, model çözümleme çalışmaları bu etmenler arasında bulunan gerçek bağıntıların kesin olarak belirlenmesini sağlamaya yetmemekteyse de, yine de bu kuramsal çalışmalar delici uç ilerleme mekanizmasının kavranmasına bir ölçüde yardımcı olmaktadır (1).

2.2.1. Vurmali Delik Delme

Bu tür delmede, delici uç kayayı birbiri ardına vuruşlarla parçalayarak ilerler. Şekil 1, delici ucun her bir vuruşunda krater biçimli bir oyuk oluşturmalarının evrelerini göstermektedir. Bu evreler aşağıda verilmiştir (2).

- Yüzeyde çıkıntılar ezilir ve kaya esneyen biçim değiştirme evresindedir.
- Yüzey altında çekme gerilmesi çatlakları olduğu sanılan ana çatlaklar oluşur ve delici uç çevresindeki gerilme yığılımlarından aşağıya doğru yayılır.
- Delici uç çevresinde, ezilerek parçalanma başlar.
- İkincil çatlaklar yüzey boyunca ilerleyerek kesme gerilmesi yaratır, ve daha büyükçe parçalar ya da yongalar kopartır.



Şekil 1. Vurmali delme işleminde kaya yenilmesi evreleri (2).

- Kırılıp kopan parçacıklar, basınçlı hava ile yukarıya atılır ve "V" biçimli bir oyuk oluşur.

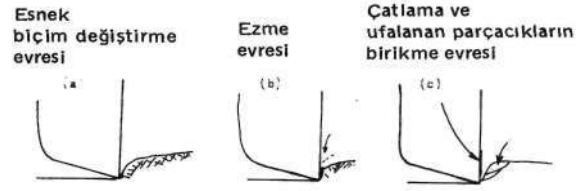
Delici uç, vurmali delmede kırarak ve yonga çıkartarak kaya içinde ilerler.

2.2.2. Dönmeli Delik Delme

Bu yöntemde dönerek kopartma egemen olup ilerleme, baskı ve tork ile sağlanır (Şekil 2). Bu tür delmede kayanın yenilme evreleri aşağıda açıklanmıştır.

- Delici uç-kaya dokanağında kaya esnek biçim değiştirme evresindedir.
- Delici uca bitişik yüksek gerilme bölgesinde kaya parçalanır.
- Kesme çatlakları yüzey boyunca ilerleyerek yonga kopartır.
- Koparılan yongalar (kırıntılar) basınçlı hava ile dışarıya atılır.

Bu yöntemde de kırma ve kopartma yoluyla delme sağlanır.



Şekil 2. Dönmeli delme işleminde kaya yenilmesi evreleri (2).

2.2.2.1. Döner Delici Uc ve Kaya

Enerji, delme boru dizisi yardımıyla delici uca aktarılır. Delici uca enerji, baskı ve dönme devrimi tarafından sağlanır. Döner delici uç kayayı, kırma devrimini, koparma devrimini ya da genellikle

her iki devinin bileşkesi ile deler. Delici ucun dişlerinde, kayanın dayanımını yenebilecek bir düzeyde gerilme yaratmak için delme borusu dizisine yeterli baskı uygulanmalıdır.

Delinecek kayaya uygun delici uç seçilebilmesi için, oluşumun önceden bilinmesi çok önemlidir. Delme hızı, düşük basma dayanımlı kayalarda yüksek, yüksek basma dayanımlı kayalarda ise düşüktür. Genel bir kural olarak, kayada delme hızının, kayanın tekeksenli basma dayanımı ile ters orantılı olduğu söylenebilir.

Döner delici uç, üzerinde kesici dişler bulunan üç konik kısım ve bunların üstüne takıldığı çelik bir gövdeden oluşur. Konik parçalar bilya yataklı olup, uç döndükçe bunlar da döner ve kesici dişler kayayı parçalar. Bu tip uçlarda bulunan hava kanalları, yatakları soğutma, konik parçaları ve delik tabanını temizleme işlevi görürler.

Kaya delinebilirlik deneyleri, delici uç üreticileri tarafından genellikle ücretsiz yapılmaktadır. Yapımcı firma, yaptığı deneyler sonucu delinecek oluşum için kullanılacak uç türünü seçmekte ve beklenen delme hızı hakkında bir ön bilgi vermektedir. Kayanın yumuşak, orta sert ya da sert olmasına göre kullanılacak delici uç yüzeyindeki dişlerin biçimi, sıklığı, dizilimi ve gereci değişmektedir. Yapımcı firmalar, yerinde ve deneyinde yapılan delinebilirlik deneyleri sonuçlarının çok iyi bağdaştığını ileri sürmektedirler (3).

3. PATLATMA, KAYANIN DEVİNİK OLARAK PARÇALANMASI

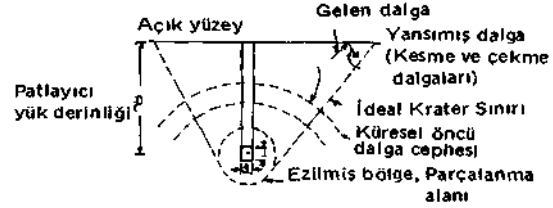
3.1. Giriş

Açık yüzeye yapılan patlatmanın işlevi, madencilerce yıllar önce anlaşılmıştır. Madenciler, bu yolla kayanın kırılma ve parçalanmaya karşı direncinin daha kolay yenilebildiğini farketmişlerdir.

Amerikalı bir maden mühendisi olan Livingstone, 1960'larda krater deneylerini geliştirmiştir. Bu araştırmacı, patlayıcı özdek yükünün açık yüzeyden hangi derinlikte en büyük krater hacmi oluşturduğunu deneysel olarak belirlemeyi amaçlıyordu. Livingstone belirli kaya türleri için yaptığı krater denemeleri sonucu, o kayalar için geçerli olan kazı basamağı patlatma tasarımı yapmayı bir ölçüde başarabilmiştir.

Ancak, patlatmada açık yüzeylerin işlevinin kuantal açıklanması deneysel veri birikimlerinin bir

sonucu olarak 1970'lerde yapılabilmektedir. Ayrıca, patlatma sonucu patlayıcı yükün yakın çevresinde oluşan parçalanma bölgeleri de bugün artık anlaşılmış ve açıklanmış bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Patlatma kuşakları (4).

Patlatmayı etkilediği bilinen kaya, delik doldurma ve patlayıcı öğelerinin etkilerinin belirlenmesi için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ancak istatistiksel olarak geçerli olabilmektedir. Çoğu kayaların çokyapıllık (heterojenlik) göstermeleri nedeniyle kesin sonuçlar elde edebilmek için daha çok sayıda araştırmaya gerek duyulmaktadır.

3.2. Kayaların Patlatılıp Parçalanmasında Yansıma Kuramı

Bu alanda yapılan deneysel araştırmalar ile patlatmada, inanılanın tersine parçalanmanın ans*! olarak oluşan gazların çevresindeki kayaları kırmasından değil, açık yüzeyden yansıyarak geri dönen çekme gerilmesi dalgalarınca gerçekleştirildiği kanıtlanmıştır.

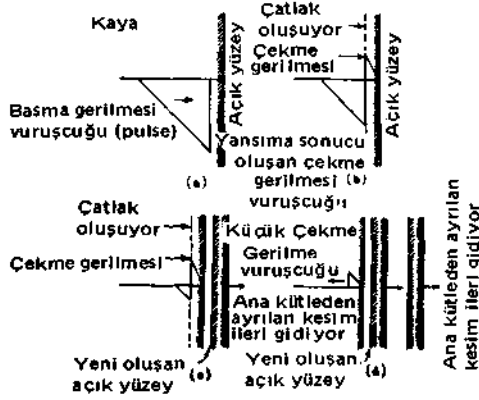
Ansal olarak etkiyen gaz, çevrede basma gerilmesi vuruşukları (compressive stress pulse) yaratır. Bu vuruşuklar patlatma yapılan noktadan dış doğru dairesel olarak (radyal) ilerler. Basma gerilmesi vuruşuğu kısa süreli bir basınç dalgası olup hızlı yükselme, yavaş düşme süresi özelliği göstermesi ile tanınır.

Patlama noktasının hemen çevresinde oluşan kırılma ve parçalanma bölgesi (alanı), sözü edilen vuruşukların kayanın basma dayanımını yendiğini göstermektedir (Şekil 3). Bu alandan uzaklaştıkça vuruşuğun şiddeti hızla düşer, çünkü dalga yayıldıkça enerjisi kaya tarafından yutulmaktadır.

öncü basınç dalgası, açık yüzeye ulaşır buradan geriye yansıdığında çekme ve kesme dalgaları olmak üzere iki çeşit yansımış dalga ortaya çıkar. Yansıyarak ortaya çıkan çekme dalgası hızının daha yüksek olması nedeniyle, kayayı kesme dalga-

sindan daha önce etkiler. Kayanın çekmede, kesmeye göre 5-6 kat daha dayanıksız olduğu bilinmektedir. Bütün bunlar, kaya parçalanmasının asıl yansıma çekme gerilmesi (dalgası) vuruşuğu tarafından gerçekleştirildiğini kanıtlamaktadır.

Şekil 4, basma gerilmesi vuruşuğu yansıması sonucu oluşan çekme gerilmesinin kayayı nasıl parçaladığını göstermektedir. Bu olgu, çekme çatlatması ile ayrılması, üçgen biçimli basma gerilmesinin yansıması evreleriyle Şekil 4'de açıklanmıştır. Bu şekilde:



Şekil 4. Yansıma kuramına göre çekme yenilmesi ile parçalanma (5).

a) Basınç vuruşuğu açık yüzeye ulaşmazdan önce,

b) Yansıyan çekme dalgasının şiddeti kayanın çekme dayanımını yenecek düzeye ulaşarak çatlak düzlemi oluşturuyor.

c) Çatlak düzleminde ayrılarak kopan kısım ileri doğru gidiyor. Ayrılma düzlemi yeni bir açık yüzey işlevi görüyor ve basma dalgasının geri kalan bölümü bu yüzeyden yansıyarak, ikinci bir çatlak düzlemi oluşturuyor. Ayrılarak kopan kısım ileri doğru itiliyor.

d) Bu ayrılarak kopma olgusu, gerilme dalgası sönüncüye kadar yinelenip sürer. İlk ulaşan basma gerilmesi dalgaları daha çok enerji taşıdığı için birbirini izleyen her ayrılma ve öteye itilme, bir öncekinden daha yavaş ve daha güçsüz olur.

Gerçek koşullarda, küresel sayılabilen patlayıcı yüklerle yapılan deneysel atımlarda gözlenen parçalanma ve çatlak biçimleri, oluşan kraterlerin derinlik ve biçimi, kuramsal açıklamalarla uyum göstermektedir.

Şekil 5, tebeşir bloklarda yatay deliklerle yapılan krater deneyleri sonuçlarını göstermektedir. Bu kraterlerin, yansıma kuramına uygun olarak oluştuğu gözlenmektedir. İzlenebileceği gibi, patlayıcı yükü noktası ile, oluşan krater boşluğu arasında herhangi bir çatlak ya da kırılma bağlantısı yoktur. Bu da, kraterin, açık yüzeyden yansıyarak oluşan çekme dalgaları tarafından oluşturulduğunu kanıtlamaktadır.

3.3. Patlatma İşleminde Kaya Öğelerinin Parçalanmaya Etkisi

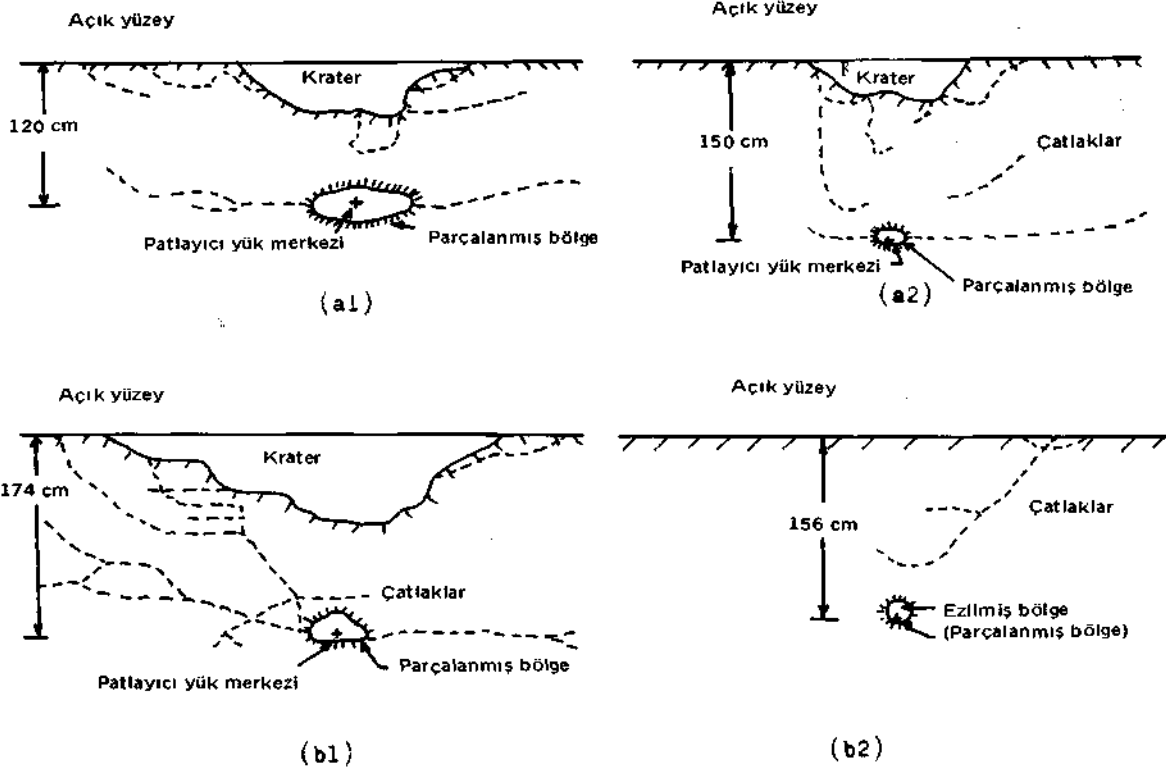
Bir patlayıcı yükün patlatılmasıyla ortaya çıkan enerjinin, kayaya geçiş ve onu parçalaması mekaniği, karmaşıklığı nedeniyle henüz tam olarak anlaşılabilmiş ve çözülebilmemiş değildir (6).

Yapılan araştırmalar, parçalanmanın üç ana öğeler kümesince etkilendiğini göstermektedir. Bunlar patlayıcıya ilişkin öğeler, patlayıcı yükleme ve doldurma öğeleri, kaya öğeleridir.

Patlayıcıya İlişkin Öğeler: Patlayıcının yoğunluğu, patlama hızı, patlama empedansı, patlama basıncı, gaz hacmi ve açığa çıkan enerji. Patlayıcının kendisi ile ilgili olan bu öğelerin, kaya parçalanmasını etkiledikleri bilinmektedir. Bu sayılanlar arasından patlama basıncı, patlayıcının kayayı parçalayabilirle gücünü en iyi belirten öğe olduğu sanılmaktadır. Oluşan gaz hacminin de, zayıf ve doğal çatlaklı kayaların gevşetilmesinde, ve parçalanmanın daha sonraki aşamalarında önemli olduğu sanılmaktadır.

Patlayıcının patlatılması sonucu açığa çıkan enerjiye, o patlayıcının gücü denilmektedir. Uzun süre patlayıcı gücü kavramı, patlayıcının kayayı parçalamaya yeteneği ölçütü olarak kullanılmamıştır. Ancak bu kavramın tek başına kaya parçalamaya düzeyini kestirebilmede yeterli olmadığını, gerek uygulama, gerekse deneysel çalışmalar göstermektedir.

Patlayıcı Yükleme ve Doldurmaya İlişkin Öğeler: Patlayıcı yükün çapı ve boyu, sıkılma dolgusu, patlayıcı yük ile delik yüzeyi arasındaki açıklık, yemleme türü, yemleme noktasının yeri. Bu öğeler, genellikle kaya parçalamasını, patlayıcının kendi özelliklerinden daha çok etkilemektedir. Gerçekten de, bazı patlayıcı türlerinde delik çapı patlayıcı yük ile delik arasındaki "fiziksel kavrama" (physical coupling), patlayıcı yükü yemleme biçimi ve çeşidi



Şekil 5. Tebeşir bloklarda yatay deliklerle yapılan krater deneyleri (4).

kaya gevşetilmesini doğrudan etkilemektedir. Delik çapının patlayıcı yük çapına oranına fiziksel kavrama (sıklık) denilmektedir. Deneysel çalışmalar fiziksel kavramanın, patlayıcının iş görme yeteneğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

3.3.1. Parçalanmayı Etkileyen Kaya Ögeleri

Bunlar, yoğunluk, dalga yayılma hızı, basma ve çekme dayanımı, esneme özellikleri, özyapısal empedans (karakteristik impedance), eşyapılılık (homojenlik); çatlak, boşluk ve yarık varlığı ve sayısı gibi öğelerdir.

Yoğunluk Ögesi: Yoğunluk, kayanın parçalanabilme zorluğunun genel bir ölçütü olarak benimsenmektedir. Gerçekten de yüksek yoğunluklu kayalar parçalamanın, düşük yoğunluklara göre daha çok patlama basıncı gerektireceği açıktır. Ancak, bu genellenenin dışında kalan durumlar da bulunmaktadır; örneğin, gözenekli kayalar, yoğunlukları düşük olmasına karşın, enerjiyi yuttuğu için parçalanmaları oldukça zor olabilmektedir.

Yayıma Hızı Ögesi: Oluşan gerilme dalgalarının, kaya içinde yayılma hızının bilinmesi önemlidir. Kayanın dalgaları iletme yeteneği, patlama ile kayaya uygulanan gerilmenin dağılımını etkilemektedir. Öte yandan, dalganın ilerleme hızının, kayanın esneklik özelliklerinin bir ölçütü olduğu da bilinmektedir.

Özyapısal Empedans Ögesi: Kaya yoğunluğu ile dalga iletme hızının çarpımına özyapısal empedans denilmektedir. Tanımlanan bu öge, patlama dalgasının kayaya gerilme dalgası olarak geçişinin çözümlenmesinde yararlı olmaktadır.

Basma ve Çekme Dayanımı Ögesi: Bu öge, kayanın patlayıcı ile parçalanma kolaylığının belirlenip dizelenmesinde işe yaramaktadır. Basma dayanımı/çekme dayanımı oranının yüksekliği kayaların ortak bir özelliğidir. Bu oranın değeri, 10-100 arasında değişmektedir. Bunun nedeni, kayaların büyük çoğunluğunun çekmeye karşı çok dayanıksız olduğudur. Bu orana patlatılabilirlik katsayısı da denilmektedir; çünkü, bu katsayının sayısal değeri ne kadar büyükse, kaya o kadar kolay parçala-

nabilmektedir. Diğer bir deyişle, katsayının büyük olması, kayanın çekmeye karşı o denli zayıf olduğunu, dolayısıyla yansıma kuramına göre daha kolay yenilebileceğini gösterir.

Esneklik Öğeleri: Kaya parçalanmasını etkileyen esneklik öğeleri, Young esneklik katsayısı ve Poisson oranıdır. Bu öğeler, kayanın parçalanma öncesi ve sonrasında biçim değişimine karşı gösterdiği direnmeyi gösterir.

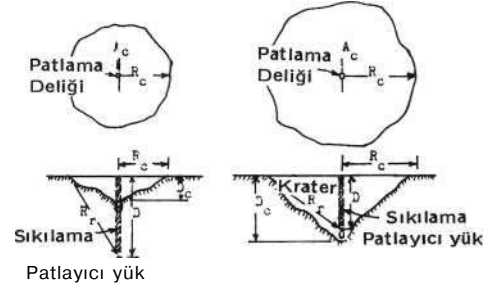
Eşyapılılık Öğesi: Kayanın diğer önemli bir özelliği de değişken yapı göstermesidir. Kaya genellikle, mühendislikte kullanılan gereçler gibi eşyapılı (homojen) ve eşyönlü (izotropik) değildir. Kaya özellikleri, yer ve yöne göre değişiklik gösterir. Bu da kuşkusuz, parçalanmayı etkilemektedir, örneğin, eşyapılılığı (homojenliği) zayıf kayalarda çok değişken parçalanma beklenmelidir. Kayaların çoğunlukla çokyapılılık (heterojenlik) göstermesi nedeniyle, kaya patlama deneyleri kütleli istatistiksel olarak temsil edecek biçimde gerçekleştirilmelidir.

Yapısal Öğeler: Bunlar, katmanlaşma yüzeyleri, eklemler, yerkırıklar (faylar) gibi büyük süreksizliklerdir. Bu süreksizliklerin doğası, boyutu ve sayısı kaya kütlelerinin parçalanmasını doğrudan etkiler. Patlatma tasarımı ve delik düzenleri bu yapısal etmenler gözönüne alınarak yapılmalıdır. Genel bir kural olarak patlayıcı yükler, süreksizlikler dışında bırakılacak biçimde sağlam bloklar içine yerleştirilmelidir. Yoksa, patlama sonucu oluşan enerji süreksizlikleri geçerken yutulduğundan, gevşetme verimi düşer.

Tüm bu öğeler, kazı basamağında yapılan yerinde ölçümlerle belirlenmeye çalışılmalıdır. Buna olanak yoksa, kaya kütlelerinden alınmış örnekler üzerinde deneyinde elde edilen sonuçların, yerinde alınan ölçümler kadar güvenilir olmayacağı da akıldan çıkarılmamalıdır.

3.4. Krater Deneyleri

Şekil 6'da görüldüğü gibi bir delik, küresel bir patlayıcı yük ile doldurulup patlatıldığında kayada bir krater oluşturur. Küresel yük; boyu, çapının sekizde biri ya da daha küçük olan patlayıcı yük olarak tanımlanmaktadır (4). Oluşan kraterin boyutları patlayıcı miktarına, patlayıcı yükün yüzeye olan uzaklığına, kayanın özelliklerine bağlı olarak değişir.



Şekil 6. Krater deneyi değişkenleri (4).

Krater boyutları terimleri aşağıda verilmiştir;

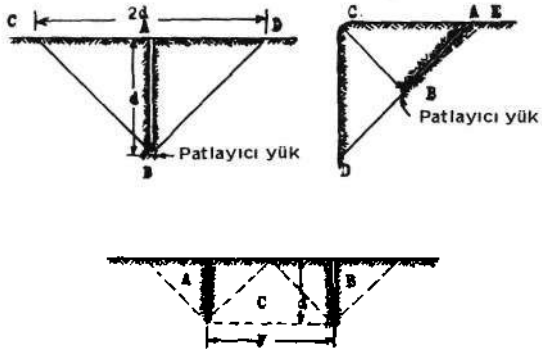
- D : Patlayıcı yük ağırlık merkezinin yüzeye uzaklığı
- Re : Kraterin yüzeydeki yarıçapı
- De : Kraterin derinliği
- Rr : Kopma yarıçapı
- Ve : Krater hunisinin hacmi
- Ac : Krater yüzeyinin alanı

İlk araştırmacılarca, çeşitli kayalarda çok sayıda krater deneyleri yapılmıştır. İlk bakışta, gerçek kazı basamağı patlatması (uzun silindirik patlayıcı yükün dikey açık yüzeye patlatılması) ile küresel yükün yatay açık yüzeye patlatılması arasında pek ilişki bulunmadığı düşünülebilir. Oysa bu deneylerin sonuçları basamak patlatmasına uygulanarak bir ölçüde pratik başarı sağlanabilmektedir.

İlk kuşak araştırmacılar, krater deneylerini pratik amaçlar için yapmışlardır. İkinci kuşak araştırmacılar ise, bu deney sonuçlarını yorumlayarak yansıma kuramını geliştirmişlerdir. Gerçekten de, Şekil 3 ve Şekil 5'te izleneceği gibi, bu deneyler kayanın açık yüzeyden içeriye doğru kırıldığının kanıtlanmasını sağlamıştır.

Şekil 7 yalın bir modeli göstermektedir. Bu delik, uygun bir patlayıcı yükü ile doldurulup patlatıldığında, kayayı ideal bir krater oluşturacak biçimde parçalar. Bir diğer deyiş ile, derinliği, d, yüzeydeki çapı, 2d olan konik bir boşluk (patlatma ağızı) oluşturur (4). Bu boşluğun yaklaşık hacmi $V = \pi r d^2, d/3$ ya da $V = d^3$ olur. Kayanın yapısal özelliği için bir "m" katsayısı varsayılırsa, bu hacin $V=md^3$ biçimine dönüşür. İdeal kaya koşullarında $m = 1$ alınabilir; oysa gerçek koşullarda $m > 1$ ya da $m < 1$ değerindedir.

Birden çok açık yüzey bulunduğu durumlarda, bu bağıntı $V = nmd^3$ biçiminde yazılabilir. Burada "n" açık yüzey sayısını göstermektedir. Şe-

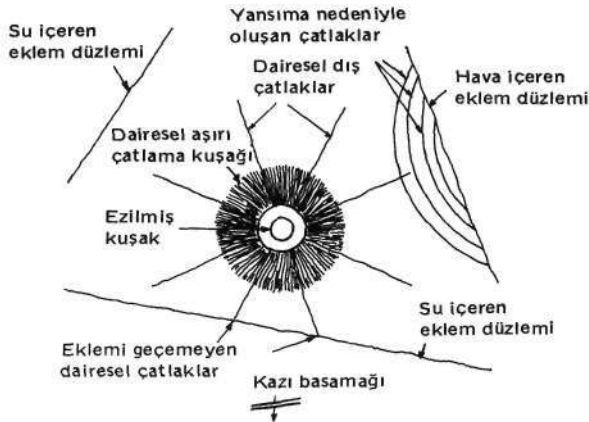


Şekil 7. İdeal krater hacminin hesaplanmasında kullanılan yalınlaştırılmış model (4).

kil 7'de görülen A ve B delikleri aynı anda ateşlendiğinde iki delik arasındaki uzaklık "y" çok büyük olmamak koşuluyla "c" ile gösterilen kesim de parçalanır.

Yapılan krater deneyleri, küresel yükün hemen çevresinde aşırı parçalanma ve çatlama oluştuğunu göstermektedir. Bu deneyler, bu aşırı parçalanma kuşağının oluşma biçiminin açıklanmasına yardımcı olmuştur. Aşırı parçalanma kuşağı, kayanın basma ve kesme yenilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Şekil 8).

Patlamanın etkilerini iki bölgede incelemek olasıdır (7). Birinci bölge, patlayıcı yükün hemen çevresinde olup esnek olmayan kuşaktır. Bu kuşakta, kayada aşırı parçalanma görülür. İkinci bölge ise, patlayıcı yükten daha uzakta olup esnek olan kuşaktır. Bu kesimde esnek titreşimler söz konusudur.

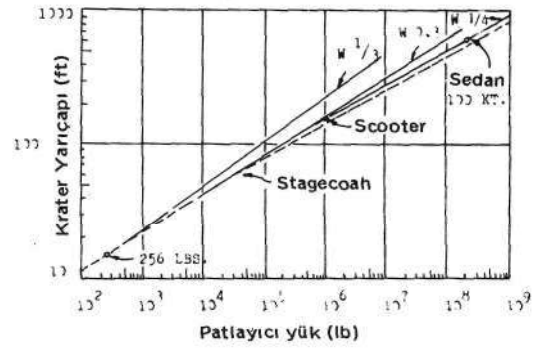


Şekil 8. Patlatma deliği çevresinde oluşan kaya parçalanma kuşakları (7).

Esnek olmayan kuşakta karşılaşılan fiziksel olay aşırı parçalanma, esnek kuşaktaki olay ise titreşimdir. Birinci kuşakta, üç ana kuşakçık gözlemlenir: Patlayıcı yükün oluşturduğu boşluk kuşakçığı, ezik kuşakçık, çevresel çatlaklar kuşakçığı. Boşluk ve ezik kuşakçıkları kayanın basma yenilmesi, çatlak kuşakçığı ise kayanın kesme yenilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

T.N. H AĞAN (8)'a göre, esnek olmayan kuşak ötesinde de aşırı parçalanma ile karşılaşılabilmektedir. Bunun koşulları Şekil 8'de görülmektedir. İçsel yansıma, esneklik modülü karşıtlığı sınırı boyunca çatlama, çatlaklar boyunca gaz genişlemesi, yük boşalma çatlama gibi etkenler ikinci kuşakta da aşırı parçalanma yaratabilmektedir.

Yapılan atımlar sonucu, ne düzeyde ve boyutta bir gevşetme beklenebileceğini önceden kestirebilmek için deneysel bağıntılar bulunmaya çalışılmıştır. Patlama sonucu oluşan krater konisi yarıçapının, Re, delikteki patlayıcı özdek yükü ağırlığının, W, küp kökü ile orantılı olduğunu denemeler göstermektedir (7). Buradan da, krater yarıçapını iki katına çıkartabilmek için, kullanılan patlayıcı miktarını sekiz kat artırmak gerektiği anlaşılmaktadır (Şekil 9). Yatay açık yüzeye yapılan atımlar için, aşağıda verilen deneysel bağıntı geçerli olmaktadır.



Şekil 9. Patlayıcı yük ağırlığı ile krater yarıçapının değişimi (7).

$$R_c = K_1 W^{1/3}$$

Burada; R_c : Krater yarıçapı
 K_1 : Kaya katsayısı
 W : Patlayıcı miktarı

Oluşan kraterin derinliği, D, ise, patlayıcı miktarının dördüncü kökü ile orantılı olarak değişmek-

tedir. Patlayıcı yük miktarı ile krater yarıçap ve derinliği, kopma yarıçapı arasındaki deneysel bağıntı da aşağıda verilmiştir.

$$\frac{R_r}{W^{1/3}} = K_2 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{1/4}$$

Burada; R_r : Kopma yarıçapı
 K_2 : Kaya katsayısı (değeri 2,5-3,2 arasında değişir)
 W : Patlayıcı miktarı
 D : Krater derinliği

Kaya kütlelerinde varolan süreksizliklerin geometrisi de, kayada oluşan kraterin boyut ve biçimini önemli ölçüde etkilemektedir.

Açık işletmecilikte kazı basamağında yapılan atımlar, iki açık yüzeye yapılan patlatmalardır. Bu bakımdan, tek açık yatay yüzeye yapılan krater deneylerinden elde edilen bağıntıları gerçek açık işletme koşullarında kullanmamız yanlış olur. Ancak, gene de bazen geometrik benzerlik bulunduğu durumlarda krater deneyleri bağıntılarından yararlanmak olasıdır. Kazı basamağı patlatmasının daha etkin ve verimli olduğu kesindir.

4. SONUÇ

Kaya mekaniği ile uğraşan bilimadamları, çalışmalarını daha çok kayalarda kazı ve kaya yapılında yenilme konularında yoğunlaştırdıklarından, kuram ve veriler durağan yükler için geliştirilmiştir. Bu bakımdan, kaya yenilme ölçütünün kayada daha yüksek yükleme hızları (devinik yükler) için uyarlanması ya da geliştirilmesi gerekmektedir. Kaya parçalanması için gereken özgül enerjiyi azaltmak için kayada çekme yenilmesi (çatlaması) yaratmanın yöntemleri incelenmeli ve araştırılmalıdır (2).

Kayayı etkin ve verimli bir biçimde parçalayabilmek için gereken delik düzeni ve patlayıcı özdek miktarını saptayabilmek kolay olmayıp, bir takım değerleri yerine koyup bunu kolayca hesaplayabileceğimiz evrensel ve standart bir bağıntı da henüz bulunamamıştır. Ancak, patlatma tasarımında bir ölçüde yararlanılabilecek bazı deneysel bağıntılar varsa da; günümüzde delme patlatma işlemleri hala büyük ölçüde sınama yanılma yöntemlerine ve ocak deneyimlerine dayanmaktadır (5). Bu konunun daha fazla geliştirilebilmesi için, açık işletmelerde delme patlatma işlemleri üstüne daha çok sayıda uygulamalı araştırma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. CUMMINS, GIVEN, SME Mining Engineering Handbook, Volume 1, AIME Publication, 1973, New York, USA.
2. BİRTEK, N., "Rock Mechanics Approach to the Comminution of Rocks", Yayınlanmamış Dönem Makalesi, 1982, ODTÜ, Ankara.
3. Drilling and Blasting Application Book, Marion Dresser, 1980, Ohio, USA.
4. LEWIS, R.S. and CLARK, G.B., Elements of Mining, John Wiley and Sons, Inc. Publication, 1964, New York, USA
5. WOODRUFF, S.D., Methods of Working Coal and Metal Mines, Volume 3, Pergamon Press, 1966, New York, USA.
6. PFLEIDER, E.P., Surface Mining, AIME Publication 1972, New York, USA.
7. ORIARD, L.L., "Blasting Effects and Their Control in Open Pit Mining", Geotechnical Practice for Stability In Open Pit Mining, CO. Brawner and V. Milligan, Editors, SME/AIME Publication, 1972, New York, USA.
8. HAGAN, T.N., "The Influence of Blasting in Mine Stability", Stability in Coal Mining, CO. Brawner and IPF. Dorling, Editors, Miller Freeman Publications, San Francisco, 1979, USA.