
AÇIK OCAK BASAMAK PATLATMALARINDA SIK GÖRÜLEN HATALI UYGULAMALAR, ETKİLERİ VE GİDERİLMESİ

H.Aydin BİLGİN (*)

ÖZET

Açık ocak basamak patlatması işlemleri hem dekapaj hem de üretim amacı ile yapılmaktadır. Basamak patlatması işlemlerinde yapılabilecek uygulama hataları sadece işyeri güvenliğini değil, üretim maliyetini de etkilemektedir. Bu bildiri de, bugüne değin ziyaret ettiğimiz metal ve kömür açık ocaklarında sıkça rastladığımız uygulama hataları verilmiş, bunların yolaçtığı olumsuz sonuçlar sıralanmış ve doğru uygulama yöntemleri önerilmiştir.

ABSTRACT

In open pit mines, bench blasting operations are carried out for both overburden removal and production purposes. Faulty applications in bench blasting operations affect not only the safety, but also the cost of production. In this paper, incorrect applications frequently observed in blasting operations in several coal and metal open pit mines visited upto now are given, the negative results- created are stated, and the correct ways of application are suggested.

* öğretim Görevlisi, Maden Y. Müh., Maden Müh, Bölümü, ODTÜ, ANKARA

1. GİRİŞ

Açık ocak basamak patlatmalarında kullanılan başlıca terimler Şekil 1'de açıklanmıştır (1). Basamak alını, kayanın sağlamlığına ve yapısına (fay, eklem, tabakalanma vb.) ve delik eğimine bağlı olarak dik veya 90 dereceden az meyilli bir şev oluşturur. Bu şev, kayanın parçalanmasını özendiren ve parçalanmış kayanın ötelenebilmesine (kabarmasına) olanak sağlayan bir serbest yüzeydir. Bir atımın basamak patlatması olarak adlandırılabilmesi için dilim kalınlığı (B), basamak yüksekliği (K)'nın en çok yarısına ($B \leq K/2$) eşit olmalıdır (2, 3).

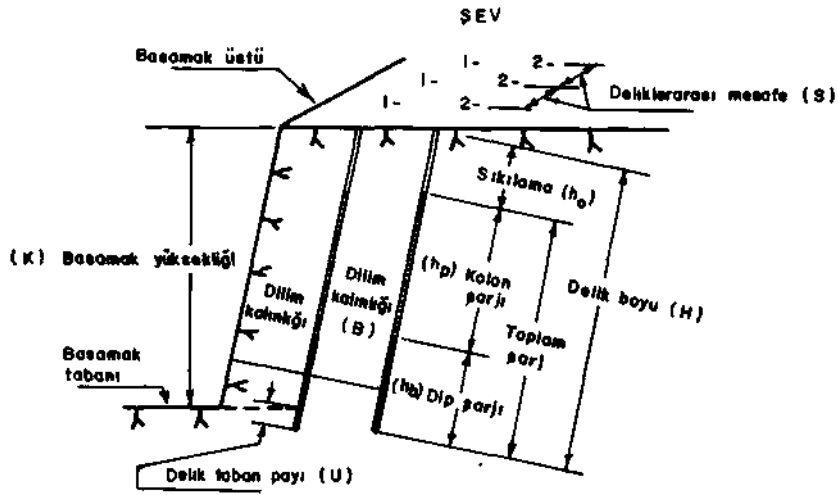
Patlatma işleminin başlıca iki amacı vardır. Bunlar; 1) Parçalama, 2) Kayanın (ileri fırlatılması) ötelenmesidir. Parçalamadan amaç kayanın kazı makinesinin kepçesine kolayca girebilecek ve makinenin çalışmasını olumsuz yönde etkilemeyecek ve patar atımı gerektirmeyecek boyutta kırılmış olmasıdır. Kayanın ötelenmesi ise kırılan kayanın kabarması sonucu gereken hacim artışını karşılayarak yığının sıkı değil, gevşek ve kolay kazılabilir olmasını sağlamak için gereklidir. Bu amaçlara ulaşılması ancak iyi bir patlatma tasarımı ve uygulaması yapmakla mümkündür. Ancak ne kadar iyi tasarlanmış olursa olsun, uygulamada olabilecek hatalar, sonuçları olumsuz yönde ve çok etkileyecektir.

İyi parçalanmış, kolay kazılabilir ve yüklenebilir gevşeklikte ve yükseklikte bir yığın elde etmek ve patlatma sırasında çalışanlara, makinalara ve çevreye zarar vermemek birçok etkene bağlıdır. Bunlar şöyle sıralanabilir (4, 5, 6):

- Patlayıcı maddenin miktarı ve dağılımı
- Delik yeri, çapı (d), eğimi ve boyu (H)
- Patlatma geometrisi
 - basamak aynalarının şekli ve durumu
 - delik düzeni tipinin etkileri
 - dilim kalınlığı (B) ve deliklerarası mesafenin' (S) etkileri
 - delik taban payı (U) 'nın etkileri
 - sıkılama malzemesi ve boyu (ho)'nun etkileri
 - atım grubu şekli ve boyutunun etkileri
- Yemleme ve ateşleme düzeninin etkileri
- Ateşleme sırasının etkileri
- Gecikme zamanının etkileri

2. UYGULAMADA SIK GÖRÜLEN EKSİKLİKLER

Yukarıda sıralanan etmenlerin tartışmasına geçmeden önce açık ocaklarda sıkça rastlanan yanlış uygulamalara değinmekte yarar vardır:



Şekil 1 — Meyilli Delikler Kullanılan Bir Atım (I)

Deliklerin belirli bir düzen içinde ve birbirlerinden eşit uzaklıkta delinmelerinin sağlanmaması, delik yerlerinin şerit metre ile ölçüm sonucu kazık çakılarak belirlenmemesi, bunun operatörlerin inisiyatifine bırakılması ve denetlenmemesi,

Delik derinliklerinin patlatmadan önce ölçülmemesi, böylece gereğinden derin delinmiş deliklerin dip tarafını yeterince doldurarak ve (veya) kısa delikleri derinleştirerek, bu mümkün olmaz ise kısa deliklerin yanına istenen boyda yeni delik delerek boy eşitsizliklerinin giderilmemesi,

Delik boylarının eşit olmayışı sonucu aşırı yersarsıntıları, alt basamakta aşın jatlama, tırnak oluşumu.

Delik derinliklerinin, basamak yüksekliği ve dilim kalınlığı göz önünde tutularak saptanmasında eksiklikler,

Özellikle ilk sıra deliklerde dilim kalınlığının uygun seçilmemesi, bunun sonucunda gürültü, fırlayan-kaya, sıkı-yığın veya yetersiz parçalanma, aşırı yersarsıntısı ve aşırı geri-çatlatma oluşumu,

6. Bazı ocaklarda, önceden patlatılmış fakat henüz kazılıp yüklenmemiş yığın(lar) ile engellenmiş atımlar yapılması,

Deliklerde su bulunması halinde, genellikle delik diplerinin taşla doldurularak derinliğin azaltılması ve patlayıcı maddenin daha yukarıya yerleştirilmesi sonucu tabanda tırnak oluşumu,

Bazı ocaklarda uygulandığı halde çoğu ocaklarda sulu deliklerde ANFO'nun delik çapına yakın çaptaki naylon torbalara konulması ve hiçbir ocakta delikteki suyu boşaltacak seyyar pompa bulunmayışı sonucu ıslanan ANFO'nun veriminin düşmesi veya

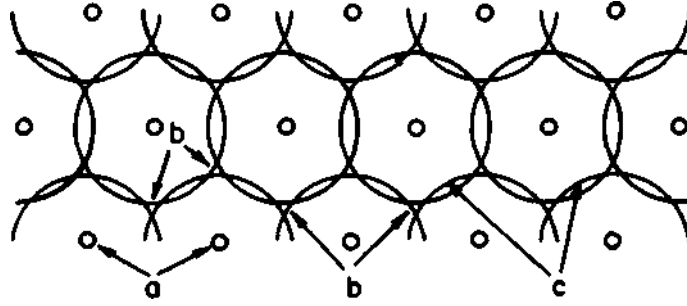
- hiç patlamaması, su geliri çok fazla olan ve kurutulamayan deliklerde çamursu süspansiyon (Slurry) veya emülsiyon (Emulsion) tipi suya dayanıklı patlayıcı maddelerin hiçbir ocakta kullanılmaması,
9. Bazı ocaklarda teknik amonyum nitratın (AN), yakıt (FO-fuel oil, mazot vb.) ile doğru oranda ve betoniyer kullanılarak homojen şekilde karıştırılmasına rağmen, pekçok ocakta AN mazot ile bir teknede üstünkörü karıştırılarak hazırlandığından, hatta bazı ocaklarda deliğe bir taraftan AN dökülürken, diğer yandan mazot püskürtüldüğünden ANFO'nun düşük verimle patlaması,
 10. Delik dibine konan patlayıcı maddenin, delikte işgal ettiği yüksekliğin dilim kalınlığına oranına önem verilmemesi,
 11. Yüksek basamaklarda şarjın kademeli olarak kullanılmayışı, kademe şarjı konumunun ve yüksekliğin formasyona uygun seçilmemesi, kademe şarjlarının sert kaya bantlarına rastlatılmaması,
 12. Sıkılama boyunun dilim kalınlığı, delik içindeki patlayıcının yüksekliği, delik derinliği gözönünde tutularak seçilmemesi, bunun sonucunda ya deliklerin fora yapması (ağızdan püskürmesi) veya basamak üst kısımlarında patar oluşması,
 13. Gecikmeli kapsüllerin çok az kullanılması veya hiç kullanılmaması,
 14. Bazı ocaklarda yemleme için gereğinden çok fazla, bazılarında ise daha az dinamit kullanılması ve yem konumunun iyi seçilmemesi, bunun sonucunda ANFO'nun sürekli ve yeterli bir patlama (detonation) hızına ulaşamaması,
 15. Elektrikli ateşlemede ommetre, galvanometre gibi kapsül ve devre kontrol araçlarının çoğu ocaklarda bulunmayışı veya kullanılmayışı,
 16. Elektrikle ateşlemede kablo ek yerlerinin izola bantla sanılmayışı veya başka yolla yalıtılmayışı ve elektrikli ateşleme ile ilgili diğer emniyet tedbirlerine yeterince özen gösterilmeyışı.

3. PATLATMA SONUÇLARINI ETKİLEYEN ETKENLERİN TARTIŞILMASI VE UYGULAMAYA DÖNÜK ÖNERİLER

3.1. Delik Yeri

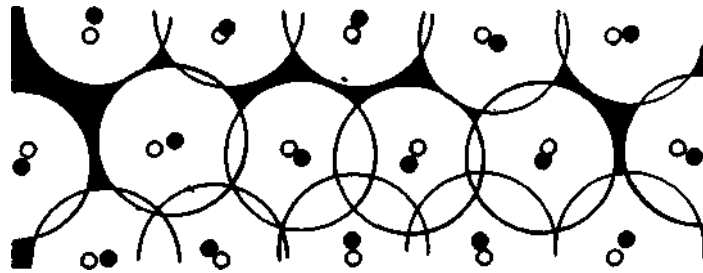
Deliklerin mühendisçe verilen (kare, üçgen, dikdörtgen vb.) düzende ve mesafelerde delinmesi önemlidir. Şekil 2 düzgün bir düzende ve eşit uzaklıklarda delinen deliklerde, her deliğin (veya patlayıcı maddenin) etki alanını gösteren dairelerin nasıl uygun bir biçimde kesiştiklerini ve en az miktarda patlatmadan etkilenmeyen (şarj kudretinin erişemediği) kısım kaldığını göstermektedir. Şekil 3 ise de-

liklerin tasarlanan yere delinmemesi durumunda delik etki alanlarının uygunsuz şekilde kesiştiklerini göstermektedir. Bu durumda dairelerin fazla çakıştıkları kısımlarda kayanın aşırı kırılması, dairelerin kesişmediği yerlerde ise yetersiz parçalanma meydana gelmektedir. Yetersiz parçalanma bölgeleri basamak taban kısmında tırnaklar (parçalanmamış kaya yükseltileri) basamak üst kısımlarında ise patarlar (ekskavatörün kepçesine sığmayan bloklar) oluşturmaktadır. Bu nedenle delinecek delik yerlerinin önceden ölçülüp, kazık çakılarak belirlenmesi deliklerin istenen düzende delinmelerini sağlayacaktır. Bu durumda delik yeri sasırsa bile bu çok az ve ihmal edilebilir olacaktır.



- a Patlatma deliği
- b Patlatmadan etkilenmeyen kısım
- c Patlatma (delik) etki alanı

Şekil 2 — Üçgen delik düzeninde patlatma enerjisinin kaya içindeki dağılımı (7)

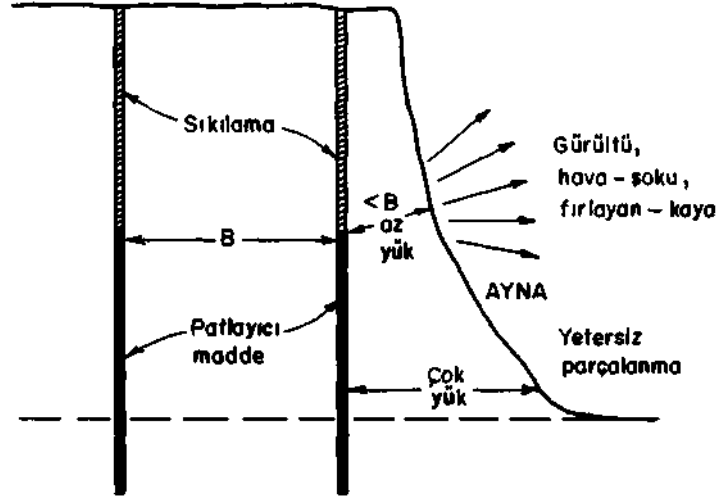


- Kayanın az parçalandığı bölge
- Tasarlanan delik yeri
- Operatörün deldiği delik yeri

Şekil 3 — Delik delme hatalarının patlatmaya etkisi (7)

3.2. Delik Eğimi

Açık ocaklarda basamak aynaları daima eğimli bir şev oluşturur. Buna karşın, açık ocaklarda delikler genellikle dik delinmektedir. Bu durumda deliğe doldurulmuş patlayıcı maddenin önündeki, parçalanması ve ileri atması istenen yük delik dip tarafında fazla, üst tarafında az olur (Şekil 4). Bu ise gürültü, hava-şoku, fırlayan-kaya sorunları ve yetersiz parçalanma sonucunu yaratır. Bu sorunun çözümü aynaya paralel delik delinmesidir (Şekil 5). Eğimli delik delmek daha zordur ama aşağıda sıralanan pekçok yararı vardır:



Şekil 4 — Dik delik - Eğimli ayna sorunları (6)

Patlama sonucunda daha ufak parça ve daha gevşek yığın elde edilir

Sabit dilim kalınlığı (B) vererek tabanda maksimum dilim kalınlığının (B_{mas}) aşılması riskini yokeder

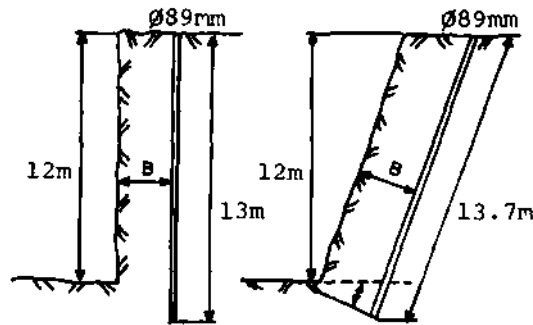
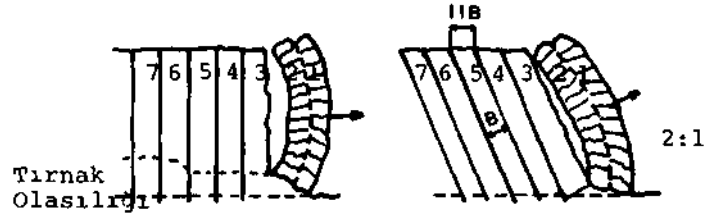
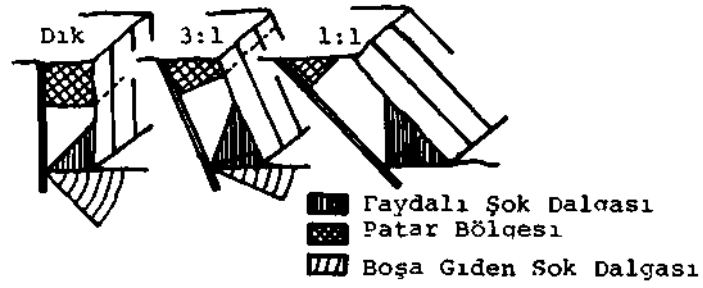
Alt basamaktaki aşırı çatlama nedeniyle bu basamakta olabilecek delme zorluklarını azaltır

Şarjın geri tepmesini önleyerek geri-çatlatmayı azaltır, böylece düzgün ayna ve duraylı şev oluşur

Daha fazla sayıda delik sırası ile atımı mümkün kılar

Dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafelerin artışına yol açarak patlatma randımanını artışına neden olur (şekil 5).

Tabanda tırnak kalması ve üstte patar sorununu azaltır veya yokeder



	Dik Delik	Eğimli Delik
Dilim Kalınlığı, B	3.2m	3.5m
Deliklerarası mesafe, S	4.0m	4.4m
Randıman		
Hacim/Delik, $m^3/Ad.$	153.6 m^3	194.7 m^3
Hacim/m-delik	11.9 m^3	14.3 m^3

Şekil 5 — Eğimli Deliklerin Dik Deliklere Gore Üstünlükleri (7)

3.3. Delik Boyu

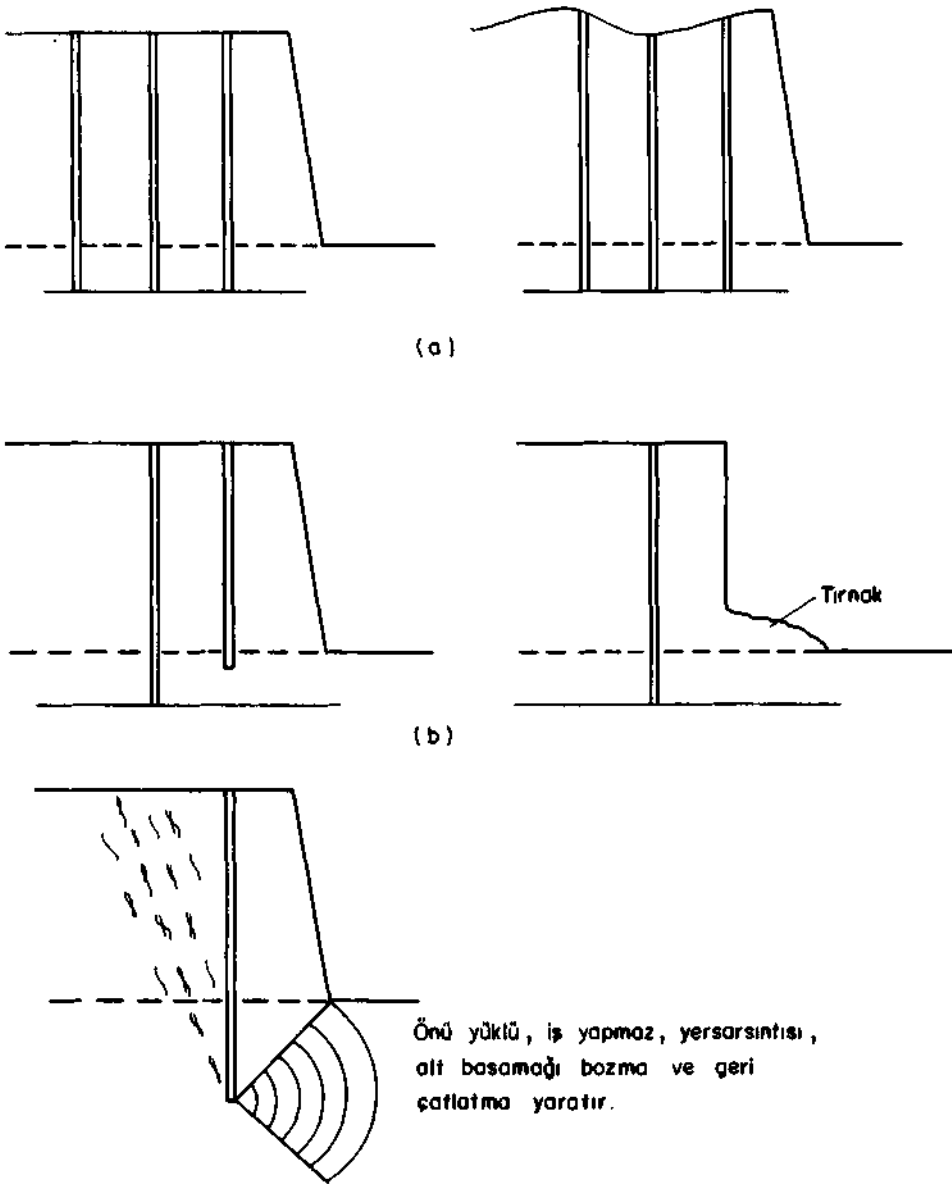
Delikler dik ise delik boyu (H), basamak yüksekliği (K) ile delik taban payı (U)'nın toplamına eşittir ($H=K+U$). Delikler eğimli olduğunda $H=(K+U)/\sin\theta$ olup, θ delik eğim açısıdır. Düzgün ve yatay bir basamak taban profili oluşturabilmek için deliklerin taban seviyelerinin aynı kotta olması gerekir. Bunu sağlamak için düzgün basamaklarda eşit boyda, engebeli basamaklarda ise değişik boyda delikler delmek gerekir (Şekil 6.a). Düzgün bir basamakta, eşit boyda olmayan deliklerden kısa olanı ön sırada ise tabanda tırnak kaldığı gibi arka sıralardaki deliklerin de başarısını olumsuz etkiler (Şekil 6.b). Delik boyu çok fazla olursa Şekil 6.c'de belirtilen sakıncaları yaratır. Delik boylarının etkisi Şekil 7'de de açıklanmıştır.

3.4. Patlayıcı Madde Miktarı ve Delikiçindeki Dağılımı

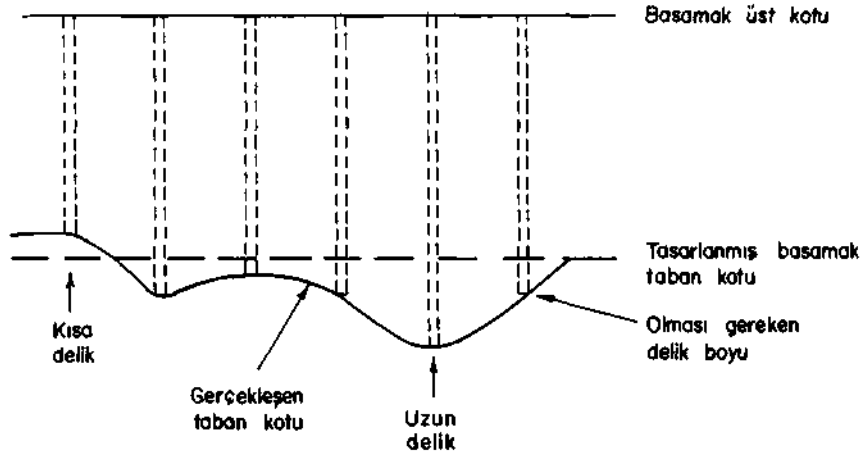
Her deliğe konulan patlayıcı madde miktarı, deliğin etki (patlama) alanına giren belirli bir hacimdeki kayanın patlatılmasına yeterli olmalıdır. Diğer bir deyişle kullanılan delik çapı, istenen düzeyde patlatma yapmaya yetecek miktardaki patlayıcı maddeyi alabilecek hacmi sağlamalıdır. Yeterli miktardaki patlayıcı, delik çapının çok geniş olması nedeniyle delik dibinde kalıyorsa (Şekil 8.a) patlayıcı madde basamakta düşey yönde iyi dağıtılmamış demektir. Diğer bir deyişle şarj yakın olan basamak alt kısımlarında parçalanma iyi olacak, buna karşılık sıkılamanın olduğu basamak üst kısımlarında zayıf parçalanma ve iri bloklar (patar) oluşacaktır.

Patlayıcı madde büyük delik uygulamasında daha büyük fakat daha uzak kütleler halinde kayaya dağıtılmış olmaktadır (Şekil 8.b). Küçük delik uygulamasında ise patlayıcı madde daha küçük ve daha kütleler halinde daha iyi serpiştirilmiş olmaktadır. Daha iyi dağıtılmış patlayıcıyla daha iyi parçalanma elde edilir.

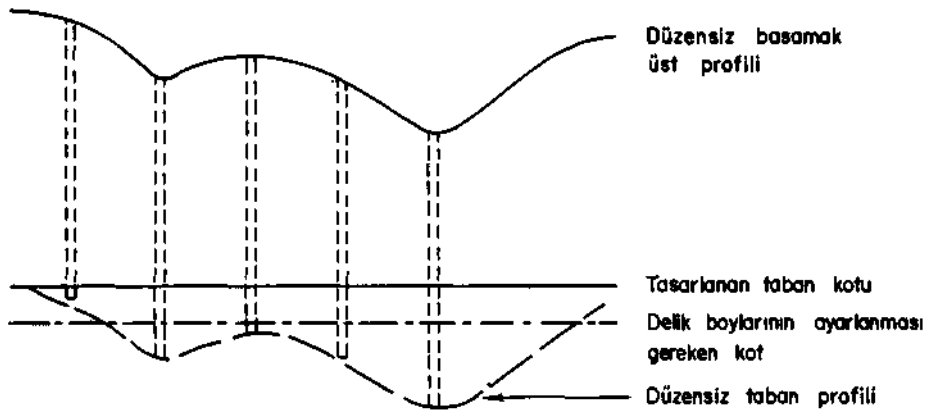
Zayıf ve kuvvetli kayaların ardalanmalı olarak bulunduğu deliklerde şarj kademeleri kuvvetli kaya, sıkılama kademeleri zayıf kaya bantlarına yerleştirilmelidir (Şekil 9). Aksi uygulandığı takdirde zayıf kayada delik kovan yapacak, sert kaya bandı ise çok az parçalanacak ve iri bloklar oluşacaktır. Basamak yüksekliği/delik çapı (K/d) oranının 60'dan az olduğu açık işletmelerde delikler iki kademeli şarj uygun değildir. Kademeli şarj K/d oranı 60'dan büyük olduğunda kullanılmalıdır (6). Tek kademeli şarj uygulandığında delik içindeki patlayıcı maddenin yüksekliği $hb = 1,3x Bo$ veya ona yakın alınmalıdır.



Şekil 6 — Delik boyunun etkileri (1)

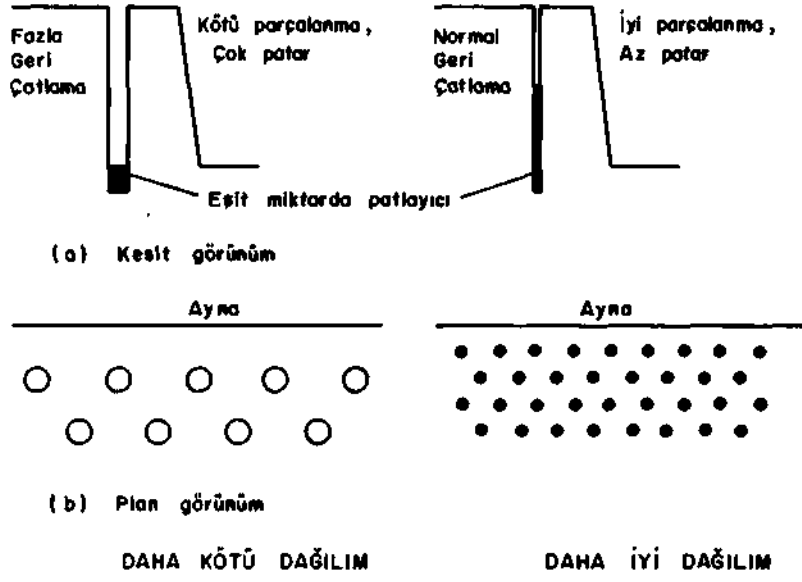


(a) Düzgün taban kotlu bir basamakta eşit olmayan deliklerin yolaçtıflı taban sorunu

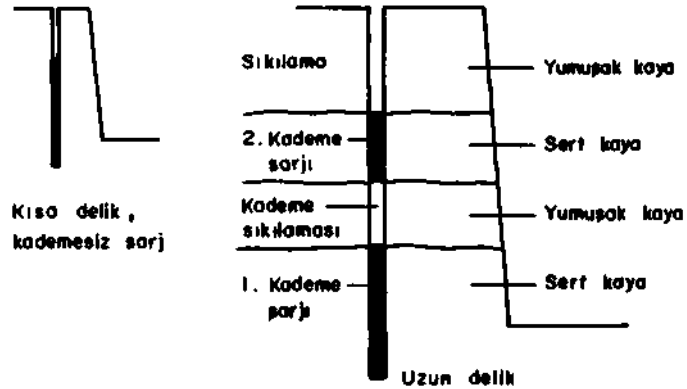


(b) Düzgün olmayan üst profilli bir basamakta eşit boydaki deliklerin taban sorununu devam ettirmesi ve bunun çözümü

Şekil 7 — Eşit Olmayan Delik Boylarının Etkisi (9)

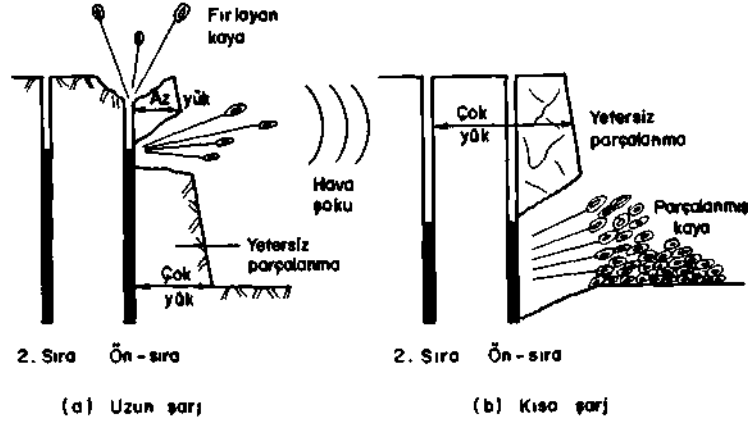


Şekil 8 — Eşit miktardaki patlayıcı maddelerin farklı dağılımlarının sonuçları (1)



Şekil 9 — Kademesiz ve kademeli sarj örnekleri (1)

Açık işletmelerde çok sıralı atımlarda yüksek etkinlik için, özellikle basamak aynalarının az meyilli, deliklerin ise dik olduğu durumlarda, ön-sıra deliklerde şarj boyu ve dağılımı çok önemlidir. Ön-sıra şarjları çok uzun tutulursa şarjın üst taraftan püskürmesi olasılığı nedeniyle hava-şoku ve fırlayan-kaya oluşur (Şekil 10 a). Ön-sırada şarj boyu kısa tutulursa, üst tarafta parçalanma yetersiz olacağından ikinci sıra deliklerinin üst kısımlarında dilim kalınlığı (yük) çok artar ve atım başarısız olur (Şekil 10.b). Bu sorun basamak aynasına paralel delikler delerek giderilebilir.

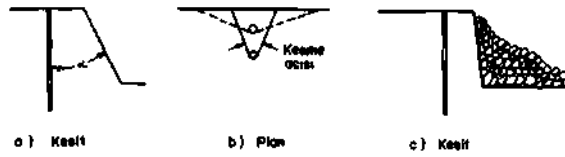


Şekil 10 — Az meyilli aynalar ve dik delik uygulamasında şarj boyunun etkileri (1)

3.3. Basamak Aynalarının Şekli ve Durumu

İyi parçalanmış ve gevşek (yeterince ileri fırlatılmış) bir yığın elde edebilmek aşağıda verilen koşullarda zordur;

- Ayna delik eksenine çok büyük bir açı oluşturuyorsa (ayna paralellikten çok uzaksa, Şekil 11.a)
- Delik aynayı küçük bir açıyla atıyorsa (Şekil 11.b)
- Ayna önceki atımlarda biraz çatlatılmadı ise veya çok fazla (aşırı) çatlatıldı ise
- Ayna önceki atımdan kalan pasa ile engellenmişse (Şekil 11.c)



Şekil 11 — Basamak aynalarının durumu (1)

En başarılı atımlar aynaya paralel, aynaya yeterince yakın (kesme açısı büyük) ve önündeki eskiden kalma pasa yığınlarıyla engellenmemiş deliklerle yapılır. Aynadaki yığın ve düzensizlikler atım serbestisini (serbest yüzey fonksiyonunu) etkileyerek parçalamayı yetersiz kılar. Atımlar daima serbest yüzeye doğru yapılmalıdır. Bir önceki atımın yarattığı ve aynaya uzanan çatlaklardan patlatma gazları atmosfere kaçarak yetersiz parçalanma sorununa yolaçabilir.

3.6. Fasa Kabarmasının Etkileri

Bilindiği gibi kayalar parçalanınca kabarır. Diğer bir deyişle kayanın yerinde hacmi, kaya kırılınca artar. Parçalar küçüldükçe hacim artışı da artar. Ateşleme gecikmesiz kapsüllerle yapılıyorsa tüm delikler (öndekiler ve arkadakiler) aynı anda patladığından kabarma az, fakat yığın sıkı ve kazması güç olur. Gecikmeli kapsül kullanımında yeterli gecikme zamanı ile doğru ateşleme sırası uygulandığında kabarma fazla ve yığın gevşek ve kazmayı kolay olur.

3.7. Delik Düzeni Tipinin. Etkileri

Açık maden ocaklarında basamak patlatmalarında kullanılan başlıca delik düzenleri kare, üçgen ve dikdörtgendir. Bunlardan kare düzeninde dilim kalınlıkları, deliklerarası mesafelere eşit alınır. Diğer bir deyişle delikler bir karenin dört köşesini oluşturacak şekilde delinir. Bu düzende delikler biribiri arkasına geldiğinden basamak içinde patlayıcı madde iyi dağıtılmamış olur ve iriparça ve tırnak oluşum riski artar. Bu düzen daha çok yumuşak malzemelerin (örneğin kömür) patlatılmasında tatminkar sonuçlar verir. Şeşbeş delik düzeninde ise delikler bir eşkenar üçgenin üç köşesini oluşturacak şekilde delinir. Bu düzende deliklerarası mesafe, dilim kalınlığının %115'i ($S = 1.15xB$). değerinde olup, patlayıcı madde basamak içinde daha iyi dağıtılmış olur. Dikdörtgen (İsveç) düzeninde ise delikler çok fazla şaşırtılarak deliklerarası mesafenin dilim kalınlığının dört katma ($S = 4xB$) eşit olması sağlanır. Bu düzende aynı sıradaki deliklerin biribirleriyle yardımlaşması daha az olacağından bu düzen daha çok masif, homojen ve sert yapıdaki kayalar için uygundur.

Halen birçok işletmeciler işaretlemesi ve delmesi kolay olduğundan kare veya dikdörtgen delik düzenlerini kullanmaktadır. Bununla birlikte gittikçe daha açık bir şekilde anlaşılmaktadır ki şeşbeş delik düzeni daha etkilidir. Ayrıca bu düzen gecikmeli kapsülle ateşlemede, ateşleme sırası ve böylece atım yönünü değiştirebilmede son derece esneklik imkanı verir.

3.8. Dilim Kalınlığı ve Deliklerarası Mesafenin Etkileri

Belirli patlatma koşulları altında, uygun şekilde parçalanmış ve gevşetilmiş kaya hacminin maksimum olduğu ve makul taban koşulları (tırnaksız) sağlayan bir en uygun dilim kalınlığı (B_e) vardır. B_o öyle olmalıdır ki, patlatma gazlarının atmosfere yayıldığı ana kadar gazlar bütün enerjilerini kayayı parçalama işinde kaybetmelidirler.

Ocakta uygulanan dilim kalınlığı (B), en uygun dilim kalınlığı B_o 'dan az ($B < B_o$) olduğunda basınçla oluşan çatlaklar aynaya uzanır ve gazlar bu çatlaklardan kaçarak enerjilerini boşa harcarlar. Kaçan gazların yolaçtığı hava-şoku ve fırlayan kaya olguları (Şekil 10 a) patlatma enerjisinin randımsız kullanımının (düşük verimin) en açık işaretleridir. $B > B_o$ olduğunda, delikteki patlayıcı maddenin önündeki yük fazla demektir. Bunun sonucu olarak kırılma yetersiz, yığın sıkışık ve randıman düşük olur. Ayrıca parçalanmış malzemenin ileri fırlatılması yeterli düzeyde (veya hiç) olmadığından geriye kalan enerji aşırı yersarsıntılara ve geri çatlatmaya neden olur. Daha önceden atılmış yığın kaldırılmadan yapılan atımlarda durum budur (Şekil 11.c). Diğer bir deyişle $B > B_o$ olduğunda malzeme sadece yukarı doğru kabanır ve yersarsıntısı ile geri çatlatmaya yolaçar. Bu olay merminin geri tepmesine benzer.

Çok sıralı atımlarda ön sıra deliklerin dilim kalınlığının çok fazla olmaması çok önemlidir. Gecikmeli kapsüllerle ikinci sıra delikler ateşleninceye kadar geçen süre içinde, eğer ilk sıra şarjlar kendi dilimini kaya külesinden koparmayı başaramaz ise, dilimlerin biribiri peşisıra kopanması asla başlanamayacak, parçalanma ve yığın gevşekliği azalacak ve hem yersansıntıları hem de geri çatlatma artacaktır.

Kuvvetli ve masif kayalarla, çok iri bloklü formasyonlarda iyi parçalanma istendiğinde B ve S oldukça küçük olmalıdır. İri parça isteniyorsa veya formasyon çok çatlaklı (parçalanmayı çatlaklar kontrol ediyor) ise B ve S büyük alınabilir. Genellikle maksimum dilim kalınlığı $B_{max} = 45d$ (delik çapı) alınır (2-4,7,8). Tamrock (7) en uygun dilim kalınlığının, $B_o = 25-40d$ (m) olduğunu söylerken Hagan (6) $B_o = 20-35d$ (m) değerinin açık işletmelerde yaygın olarak kullanıldığını belirtmektedir.

Dilim kalınlığı ile basamak yüksekliği ilişkisine gelince Langefors (3) yüksek basamakları $K > 1.8xB$, Gustafsson (2) ise K^2xB olarak tanımlamaktadır. Alçak basamakları ise Langefors (3) $K < 1.8xB$, Gustafsson (2) $K < 2xB$ olarak tanımlamaktadır. Açık ocaklardaki basamaklar "yüksek basamak" sınıfına girmektedir.

B_o değeri, zayıf ve kuvvetli kayaların aralanmalı olduğu basamaklarda, kuvvetli kaya tabakalarında yeterli parçalanma sağla-

cak şekilde olmalıdır. Tabakalı kayalarda basamak tabanında istenen kesmeyi sağlamalıdır (parçalanma çok önemli değildir). Kuvvetli patlayıcı maddeler kullanıldığında B ve S değerleri arttırılabilir. Zayıf kudretli patlayıcılar kullanıldığında B ve S azaltılmalıdır.

İstenen parçalanma derecesine göre; iri parça isteniyorsa d,B,S değerleri büyütülmeli, küçük parça istendiğinde küçültülmelidir. B ve S küçük tutulduğunda yığın gevşek, kazı işlemi kolay, büyük tutulduğunda yığın sıkı, kazı zor olur. Benzer şekilde, kırılan kayanın ileri fırlaması B ve S küçük olduğunda fazla, büyük olduğunda az olacaktır. Deliklerarası mesafe S_0 , B_0 değeri saptandıktan sonra hesaplanır. Bunun nedeni S_0 ile B_0 ilişkisinin delik düzenine bağlı olmasıdır. Kare delik düzeninde $S_0=B_0$ olur, dikdörtgen düzeninde S_0/B_0 oranı 1 ile 1,5 arasında değişir. Eşkenar üçgen şeşbeş düzeninde $S_0=1,15xBo$ 'dır.

3.9. Delik Taban Payının Etkileri

Delik taban payı (U) deliğin basamak taban seviyesi altında kalan kısmıdır. Açık işletmelerde hızlı ve ucuz kazı-yükleme ve taşıma işlemleri, basamak taban seviyesinde parçalanmanın iyi olmasını gerektirir. Bu da uygun bir delik taban payı uygulamasını zorunlu kılar. Eğer hiç taban payı verilmemişse veya gereğinden az ise basamak, taban seviyesinde iyi kesilemeyecek ve tırnak veya yüksek taban problemleri oluşacaktır. Gereğinden çok delik taban payları da aşağıdaki sorunları yaratacaktır:

- Delme ve patlatma harcamalarında artış
- Yersarsımlarda artış (Şekil 6)
- Basamak tabanında istenmeyen çatlama. Böylesine çatlamış bir formasyon (bir alt basamak) delinirken matkap ve tij sıkışmaları, delme güçlükleri, deliğin yıkıntı yapması ve delik düzenlerinin bozulması olasıdır (Şekil 6)
- Patlamada düşey yönde hareketlerin artışı. Bu durum hem geri çatlamaya hem de arka sıralarda bulunan henüz ateşlenmemiş deliklerin infilaklı fitil veya kablolarının kopmasına yolaçar (Şekil 6).

Delik taban payı uzunluğu kaya tipinden ve delik eğiminden etkilenir. Delik taban payı sert kayalarda normalden biraz uzun, eğimli deliklerde biraz kısa olmalıdır. Delik taban payı hesabında Hoek (4) $U=0,2-0,3xB$, Gustafsson (2), Langefors (3), Nitro Nobel (8) $U=0,3xB$, Tamrock (7) $U=0,3-0,4xB$ bağıntılarını kullanırken Hagan (6) $U=8xd$ (özel hallerde 10-12d) bağıntısını önermektedir. Yetersiz delik taban payı (kısa delik) nedeniyle oluşan "tırnak'm yarattığı problemler aşağıda verilmiştir:

- Kazı güçlüğü, ekskavatörlerde kazma (kepçe dişi) kırılmalarının ve halat kopmalarının artması, ekskavatör tamir ve bakım işleri ile bunların maliyetinin artması

- Ekskavatör kepçe sefer zamanı (cycle time) artar, üretim düşer
- İnişli çıkışlı (tırnaklı) yollar kamyonlarının hızını düşürür, taşıma kapasitesi azalır
- Kamyonlar bozuk sathda ilerlerken sık sık makas ve süspansiyon keserler. Tamir masrafları artar
- Bozuk yollarda sarsıla sarsıla giden kamyonlardan düşen parçalar ile tırnaklar kamyon lastiklerini yırtar, aşındırır veya kopartır. Lastik harcamaları artar
- Arızalar nedeniyle iş makinalarının faal saat yüzdesi düşer ve üretim maliyeti artar
- Daha sonra yapılacak atımın başarısını etkileyebilir.

Tırnak yaratan başlıca sebepler; basamak tabanında B_{max} 'in aşılması, çok yüksek basamaklarda delik sapmaları, yetersiz delik taban payı delik dibinde yetersiz (güçsüz) şarjdır.

3.10. Sıkılamanın Etkileri

Sıkılama patlayıcı madde enerjisinin havaya kaçmasını önleyerek onu kayaya yöneltir ve parçalanma ve yığın gevşekliğine olumlu katkıda bulunur. İyi sıkılama delikteki yüksek gaz basıncını uzun süre muhafaza eder ve kg-patlayıcı madde başına yapılan iş miktarını (patlatma randımanını) artırır.

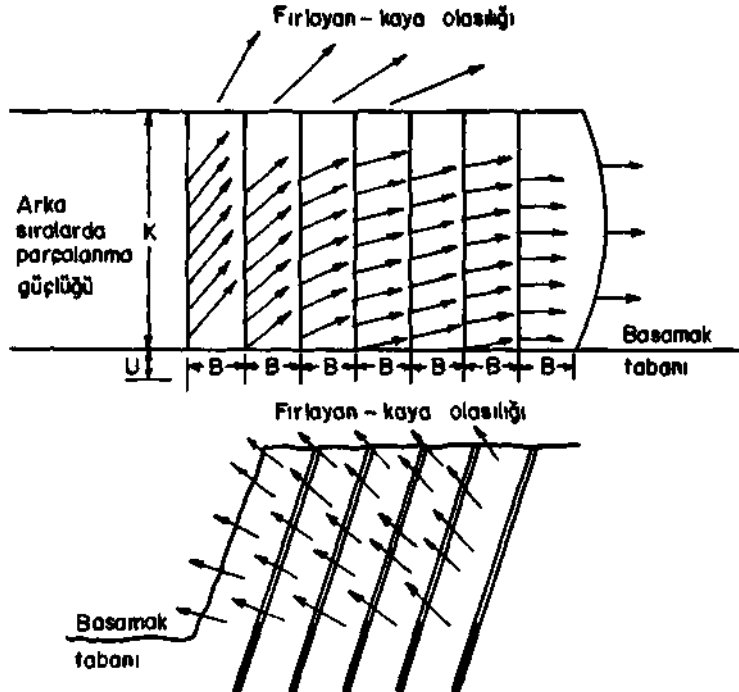
Sıkılama malzemesi olarak iri, köşeli, kırılmış kaya, delme makinası paşası veya kum-çakıl kullanılabilir. Sıkılama malzemesi olarak kırılmış kaya, delme makinası paşasından teknik olarak daha etkindir. Delme paşasının yaygın kullanımı hazır ve ucuz olmasına bağlanabilir. Hangi tür malzeme kullanılırsa kullanılsın, bunun kuru olmasına dikkat edilmelidir. Yaş ve gerekenden kısa boyda olan sıkılama malzemesi tüpteki diğ macunu gibi delik ağzından püskürerek dışarı atılmakta (delik fora yapmakta) ve patlayıcı madde enerjisinin kaybına yolaçarak patlatma verimini düşürmektedir. Sıkılama boyu hesabında Tamrock (7) $h_o=0.7-lxB$, Heok (4) $h_o=0.67-2xB$, Gustafsson (2), Langefors (3) ve Nitro Nobel (8) $h_o=B$ ve Hagan (6) $h_o=20-60d$ bağıntılarını kullanmaktadırlar.

Zayıf ve çok çatlaklı kayalarda uzun sıkılama boyları gerekirken, sağlam ve masif kayalarda kısa sıkılama boylarının yeterli olabildiği tecrübelerle görülmüştür. Sıkılama boylarının uzun olduğu durumlarda basamak üst tarafında parçalamanın iyi olması için sıkılama kolonu arasına bir cep şarjı (3-5 Kg dinamit, 25-30 kg nitrat, "pocket charge") konulabilir (6). Yetersiz sıkılamanın yaratabileceği problemler patar, tırnak ve geri çatlatma oluşumu ile hava-şoku, gürültü ve fırlayan kaya sorunlarıdır.

3.11. Atım Grubu Şekli ve Boyutunun Etkileri

Olabildiğince çok sayıda delikten oluşan büyük atım grupları oluşturulmalıdır. Çok sayıda küçük atım grupları uygulaması elektrikli ekskavatörlerin enerji kablolarının daha fazla kez toplanıp serilmesine, böylece ekskavatörlerin üretimden daha çok sayıda çekilmesine ve sonuçta ekskavatör faal zamanı ve kapasitesinin düşmesine, üretim maliyetinin artmasına zorunlu olarak yolaçacaktır (9). Diğer taraftan atım gruplarının her iki kenarında kayanın yırtılmasının güç, parçalanmasının sınırlı olduğu, buna karşın atım grubu ortasında kırılma ve parçalanmanın daha iyi olduğu bilinmektedir (7). Bu nedenle atım gruplarının uzunluğu fazla, derinliği (sıra sayısı) az olmalıdır.

Üretkenlik açısından genellikle bir seferde mümkün olduğunca çok delik sırasının ateşlenmesi tercih edilir. Delik sıra sayısı arttıkça genellikle parça küçüklüğü artar (boyut küçülür). Bununla birlikte, maalesef sıra sayısı arttıkça geri çatlatma ve yersansmtıları artar. Bu, çok sıralı bir atımda geriye doğru gidildikçe, dilimlerin birbirleri peşisıra atımlarının daha da güçleşmesindedir (Şekil. 12). Hatta bu durum fırlayan kaya sorunlarına bile yolaçabilir. Tecrübelerimize göre gecikmesiz kapsüllerle en çok iki sıra, gecikmeli kapsüllerle de en çok 5-6 sıra kullanıldığında pratik olarak sorun görülmemektedir (9).



Şekil 12 — Delik sırası sayısının etkileri (7)

3.12. Yem Cinsi, Miktarı, Konumu ve Ateşleme Yönü

Yem, ateşleme hızları ve hassasiyetleri düşük olan kuru (ANFO) ve sulu (çamursu süspansiyon veya emülsiyon tipi) patlayıcı karışımlar delikte esas patlayıcı madde olarak kullanıldıklarında bunları ateşlemek için kullanılır. Yem olarak yüksek hızı, hassas ve 8 No kapsülle doğrudan patlatılabilen her türlü patlayıcı madde kullanılabilir. Bugün dünyada ya yerel piyasada mevcut dinamitler veya fabrikasyon Cpüsüs) yemler kullanılmaktadır. Fabrikasyon yemler de esas olarak dinamit hammaddelerinden üretilir ve ambalajlanmış veya kartuşlanmış halde satılır.

Yem miktarına ilişkin olarak belirli bir kural yoktur. Türkiye'de deliğe konan nitrat miktarının % 3-5'i oranında yem koymak gibi bir alışkanlık vardır. Bunun teknik ve bilimsel gerekçesi yoktur. Bu konuda otoriteler yemin ateşlenmesinde önemli olan faktörlerin;

- a — Yemin patlama hızının ANFO patlama hızından (2400-4200 m/sn) daha yüksek olması (örneğin 6000 m/sn)
- b — Yem çapının delik çapına yakın olması

olduğunu vurgulamaktadırlar (2, 6, 10). Yem patlayıcı madde sabit bir hızla ve şarjın mümkün olduğunca en kısa zamanda (tümü birden) ateşlenecek şekilde işlev görmelidir. Örneğin 311 mm çaplı deliklerde dökme ANFO'yu ateşleyebilmek için 150 gramlık paket yemler kullanıldığında, ANFO patlaması belirli bir sabit hıza ancak 1,5 m'lik bir mesafede ulaşabilir (6). Bu nedenle yemin yine de belirli bir miktarın altında (örneğin 1 Kg) olmaması gereklidir.

Yemin konumuna gelince; yem patlayıcı madde kolonunun üst tarafına, ortasına veya alt tarafına gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Alttan ateşlemenin, üstten ateşlemeye göre yararları şunlardır (3):

- a — Ateşleme ve basınç birimde formasyon dalgası cepheleleri, parçalanmayı özendiren (artıran) iki veya daha fazla sayıda serbest yüzeyin bulunduğu delik ağzı bölümüne doğru yayılır. Böylece parçalanma daha iyi olur. Tersine ateşleme dalgası delik dibine doğru yayıldığında, basınç dalgası enerjisi atım yapılan basamağın altındaki basamakta istenmeyen çatlaklar oluşturacağı gibi, serbest yüzey bulunmayışı nedeniyle patlatma enerjisinin geri kalanı da alt basamakta kaybolup gidecektir (yersansmtı-sı).
- b — Ateşleme alttan yapıldığında delik dibinde gaz basıncı üstten ateşlemeye göre daha yavaş düşer. Bu dipte kuvvetli bir patlama tesirinin istendiği basamak taban seviyesinde istenen sonuçta ulaşmaya yardımcı olur.

Açık işletmelerde alttan ateşlemede yem, şarjın en altına değil, basamak taban seviyesi hizasına konulmalıdır. Alttan ateşlemenin yararı özellikle elektrikli ateşlemede belirgindir (6). Dekapajda arda lanmalı yumuşak-sert kayalarda kademeli şarj uygulandığında yem ler şarj kademelerinin ortalarına yerleştirilmelidir.

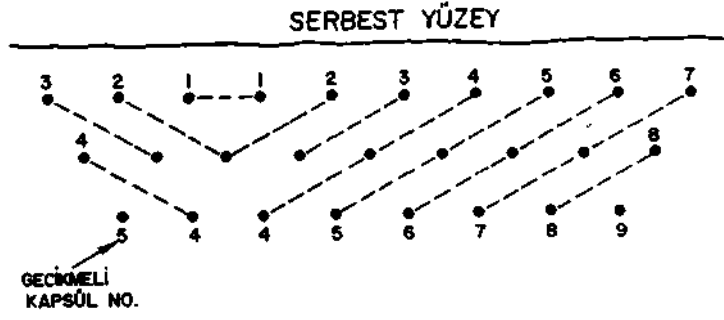
3.13. Ateşleme Sırasının önemi

Yemler ya adi kapsüller ya da gecikmeli kapsüllerle ateşlenir. Gecikmeli kapsül kullanarak aynı anda patlayan delik sayısını (patlayıcı madde miktarını) azaltarak yersarsmtılarını, basamakların bozulmasını ve heyelan olasılığını azaltmak mümkündür. Şekil. 13 Şeş-beş VI düzeninde ($S = 1.15 \times B$) deliklerin gecikmeli kapsüllerle biribiri peşisıra atılmasına bir örnek olarak verilmiştir. Bu şekilde gösterilen sayılar (1, 2, 3 vb) gecikmeli kapsül numaralarıdır. Deliklerin biribiri peşisıra ve belirli zaman aralıklarıyla ateşlenmesi, önce ateşlenen deliklerin parçaladığı kaya bloklarının yeterince ileri fırlatıldığı bir anda, bir sonraki deliklerin ateşlenmesine imkan tanıdığından biribiri peşisıra yeni serbest yüzeyler oluşmakta, böylece kaya daha iyi (küçük) parçalanabilmekte ve yeterince kabarma (gevşek-yığın) oluşabilmektedir.

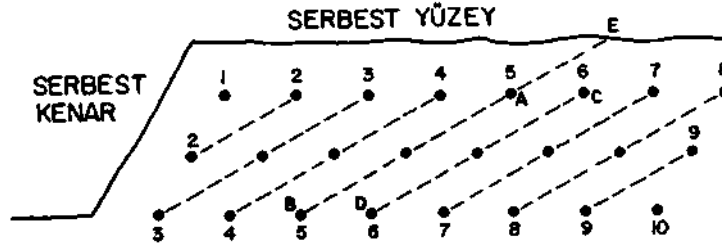
Gecikmesiz kapsül uygulamasında yukarıda belirtilen yararların hiçbiri oluşmaz. Bu nedenle gecikmesiz kapsül uygulamasında iki'den fazla delik sırası kullanılmamalıdır. Gecikmeli kapsül kullanıldığında delik sıra sayısı, eldeki gecikmeli kapsül numaraları ve gecikme süresi ile belirlenir. Çok sıralı atımlarda ateşleme sırası,

- a — Her delikteki patlayıcı maddenin yeterli uzunlukta (tercihan dışbükey) ve gereğince yakın bir serbest yüzeye doğru ateşlenmesini,
- b — Etkin deliklerarası mesafe/etkin dilim kalınlığı (Se/Be) oranının 3,3-4,0 arasında değişimini (Şekil. 14),
- c — Deliklerin olabildiğince şaşkırtmak (şeşbeş) ateşlenmesini sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Bu şekilde yapılan atımdan en iyi sonuç alınır.

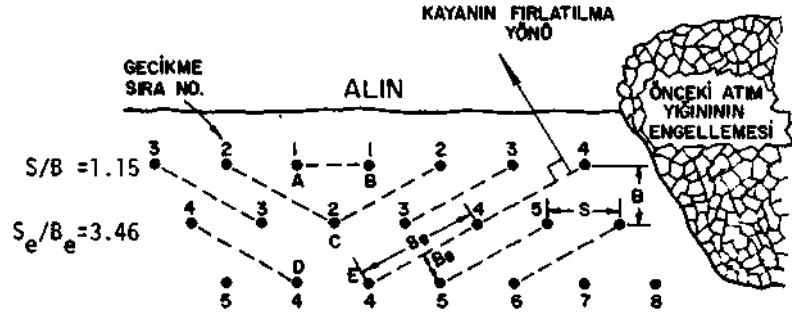
Ateşleme, atım grubunun en fazla sayıda delikler için en uygun biribiri peşisıra serbestleşme ve koparma sağlayacak bir noktasında başlaması çok önemlidir. Eğer atım grubunun her iki tarafı da serbest değil ise (Şekil. 13a), ateşleme atım grubunun bir ucuna yakın (fakat uçta değil) bir noktadan başlamalıdır. Bu simetrik olmayan model daha az aşırı çatlatma ve daha az yersarsmtıları yaratır (6). Eğer atım grubunun herhangi bir ucu serbest ise ateşleme o uçta başlamıştır (Şekil. 13b). Eğer bu serbest kenar bir önceki atımın paşası ile engellenmiş ise ateşleme engellemeden uzak olan uca yakın bir noktadan başlatılmalıdır (Şekil. 14). Eşkenar üçgen şeşbeş düzeninde delinmiş deliklerin şeşbeş VI düzeninde (Şekil. 13) atımı en ideal sonucu verir (6).



Şekil 13a — Bir serbest yüzeye doğru çapraz ateşlenen şaşbeş Vı delik düzeni (6)



Şekil 13b — İki serbest yüzeye doğru çapraz ateşlenen şaşbeş Vı delik düzeni (6)



Şekil 14 — Gecikmeli kapsüllerle atım yönü, dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafenin değiştirilmesi (6)

2.14. Gecikme Süresinin Etkileri

Gecikmeli kapsül uygulamasının daha iyi parçalanma, daha ileri fırlatılarak iyi kabarma ve yığın gevşekliliği verdiği, buna karşın yersarsıntılarını, fırlayan-kaya ve hava-şoku sorunlarını azalttığı anlaşıldıktan sonra gecikme süresinin ne olması gerektiği araştırılmaya başlanmıştır. Langefors (3) en iyi sonucun $t=kxB$ bağıntısı ile alındığını belirtmektedir. Burada:

T : milisaniye olarak gereken gecikme süresi (örneğin 1 ve 2 no.lu kapsüllerin patlaması arasında geçen zaman)

k : 3-5 arasında değişen bir katsayı

B : metre olarak dilim kalınlığıdır.

Hagan (6) ise yüzey gecikme röleleri kullanılarak 229-381 mm (9-15 inç) çaplı deliklerde yapılan gecikmeli atımlarda en uygun sıralararası gecikme:

- Kuvvetli ve masif kayalarda yüksek enerji faktörleri için etkin dilim kalınlığının (B_0) metresi başına 5 milisaniye (msn),
- Zayıf ve/veya çok çatlaklı kayalarda düşük enerji faktörleri için etkin dilim kalınlığının metresi başına 10 msn sürelerle sağlanır.

demektedir. Gustafsson (2) ise Langefors'un (3) belirttiği 3-5 arasında değişen "k" değerinin en fazla iki sıradan oluşan atımlar için uygun olduğunu söyleyerek, kendisi k değerinin 12 olduğuna inanmaktadır. Diğer bir deyişle dilim kalınlığının metresi başına 12 msn gecikme süresini uygun bulmaktadır.

Yukarıda belirtilen değerlerden herhangi biri ocakta kullanılabilir. Elde olunan sonuca göre süre arttırılabilir veya kısaltılabilir. Bunu yaparken, en iyi parçalanma için her delik, bir sonraki delik ateşlenmeden kendi önündeki kaya dilimini, kaya kütesinden etkin bir biçimde koparması gerektiği hatırlanmalıdır. Gecikme zamanı kayanın koparılması için gereken zamandan çok fazla ise parçalanma iyi olmaz ve çok patar çıkar. Gecikme zamanı olması gerekenden çok kısa ise gecikmesiz atımlarda olduğu gibi ikinci delik ateşlendiğinde, bir önceki delik henüz dilimini etkin biçimde parçalayıp ileri atamamış olur. Bu durumda öndeki yük fazlalığı nedeniyle düşey (yukarı doğru) hareketler artarak aşağıda belirtilen kötü sonuçları doğurur:

- Krater oluşumu
- Fırlayan kaya
- Yetersiz parçalanma
- Yetersiz ileri fırlatma
- Aşırı geri çatlatma
- Sıkı yığın

4. SONUÇ

Yukarıda ayrıntıyla tartışılan hususlarda, yapılan öneriler doğrultusunda uygulama yaptığımızda, basamak patlatmalarından çok iyi sonuçlar almanın mümkün olduğu tarafımızca yapılan tecrübelerle (9, 11) kanıtlanmıştır. Bu nedenle sözkonusu önerileri meslektaşlarımıza tavsiye ederim.

KAYNAKLAR

1. BİLGİN, H. Aydın, Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarım, TKİ Gn. Md. ve ODTÜ, Ankara 1986, 102 sayfa.
2. GUSTAFSSON, R., Swedish Blasting Technique, SPI, Gothenburg, Sweden, 1973, 328 pages.
3. LANGEFORS, U., KIHLLSTROM, B., The Modern Technique of Rock Blasting, John-Wiley and Sons, Newyork, 1963, 405 pages.
4. HOEK, E., BRAY, J., Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, 3 rd Edition, London, 1981, 358 pages.
5. HOUGHTON, D.A., Economic Application of Geotechniques to Quarrying, Int. Symp. on Surface Mining and Quarrying, IMM, Bristol, October 4-6, 1983.
6. HAGAN, T.N., The Influence of Controllable Blast Parameters on Fragmentation and Mining Costs, 1st Int. Symp. on Rock Fragmentation By Blasting, Lulea, Sweden, August 1983, Vol. 1, pp. 31-50.
7. Tamrock, Editorial Board, Handbook on Surface Drilling and Blasting, Painofaktorit, Finland, 1984. 310 pages.
8. Nitro Nobel, Blasting Techniques Dept., Charge Calculation Methods for Bench Blasting, Sweden, 1977.
9. PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., BİLGİN, H.A., BOZTAŞ, S., Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü, Nihai Rapor,, ODTÜ, Ankara, 1986, 66 sayfa.
10. Dupont Explosives Products Division, Blasters Handbook, Wilmington Delaware, 1977, 494 pages.
11. PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., BİLGİN, H.A. ve diğerleri, TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m³) Saptanması, Ara rapor, Ankara, 1986, Yayımlanmamış.