

Patlayıcının Duyarsızlaşma ve Etkileşim Yolu ile Bozulması

Explosives Malfunction from Sympathetic Detonation to Shock Desensitization

M. Derya, Ü. Kılıç, V. Alabaş

Madser Patlayıcı Maddeler San. ve Tic. Ltd. Şti., Çankaya/Ankara

ÖZET Patlatma uygulamalarında verimliliği arttırmak için uygulama şartları ve ihtiyaçlar tam olarak anlaşılmalıdır. Bunu gerçekleştirebilmek için kullanılan patlayıcının temel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Patlayıcı maddenin yanlış seçimi veya kullanımı, patlatmanın kısmen ya da tamamen başarısızlıkla sonuçlanmasına yol açacaktır.

Duyarsızlaşma, gaz baloncuklar veya mikro balonlar kullanılarak hassaslaştırılan patlayıcının (emülsiyon, watergel, vb.) ateşlenme duyarlılığını kaybetmesidir. Bu, patlatma performansını olumsuz yönde etkileyen önemli bir sorundur. Duyarsızlaşmanın aksine, patlama sonrası oluşan şok dalgasının komşu delikteki patlayıcıyı ateşlemesine etkileşim yolu ile patlama denir.

Etkileşim yolu ile patlama veya duyarsızlaşma, patlatma tasarımının bozulmasına ve verimliliğin düşmesine yol açacaktır. Bu bildiride, patlayıcının duyarsızlaşarak bozulmasına ve etkileşim yolu ile patlamaya yol açan temel sebepler anlatılmıştır.

ABSTRACT In order to maximize the performance of blasting it is necessary to fully understand their mode of operation and thus requirements. This can only be achieved with knowledge of those properties of explosives. If the explosive is used incorrectly, result in the partial or complete failure of the blast.

The desensitization of an explosive charge refers to the loss of detonation sensitivity of an explosive product that is sensitized via air bubbles or micro-balloons (emulsion, watergel, etc.) which is a serious concern for successful blasting result. Unlike desensitization, sympathetic detonation can occur when an explosive charge is initiated as a result of a shock wave produced by the detonation of a neighboring borehole.

Sympathetic detonation or desensitization directly affects productivity by disrupting blast design. This session will review the basic reasons behind the explosives malfunction.

1 GİRİŞ

Patlayıcın bozulması; patlayıcı madde ve/veya kapsüllerin duyarsızlaşarak patlamaz hale gelmeleri, düşük enerji açığa çıkarmaları veya yanlış zamanda patlamaları anlamına gelmektedir. Patlayıcının bozulması sonrası aşağıda verilen olumsuzluklar ile karşılaşılabilir:

- Deflagraşyon veya düşük patlama hızı
- Zehirli gazların açığa çıkması
- Yanlış zamanda patlama

Sonuç olarak patlayıcının bozulması sonrasında verimlilik ve patlatma işlerinde iş güvenliği olumsuz etkilenmekte, risk bölgelerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntısının kontrolü

güçleşmektedir. Delik içerisinde bulunan patlayıcının ve/veya kapsülün komşu delikteki patlamanın etkisiyle bozulması, uygulamacıların özellikle yer altı patlatmalarında karşılaştığı oldukça önemli bir sorundur. Bununla birlikte karşılaşılan patlayıcı bozulmalarının gerçek sebeplerinin saha çalışmaları ile tespiti oldukça güçtür.

Bu bildirinin konusu; özellikle emülsiyon patlayıcılarda görülen bozulmalar ve bozulmaya yol açan mekanizmaların incelenmesidir. Günümüzde emülsiyon patlayıcıların özellikleri ve performansları hakkında bilinenler doğrultusunda bozulmanın gerisinde yatan sebepler aşağıdakilerin birinin veya birkaçının oluşumu ile gerçekleşmektedir:

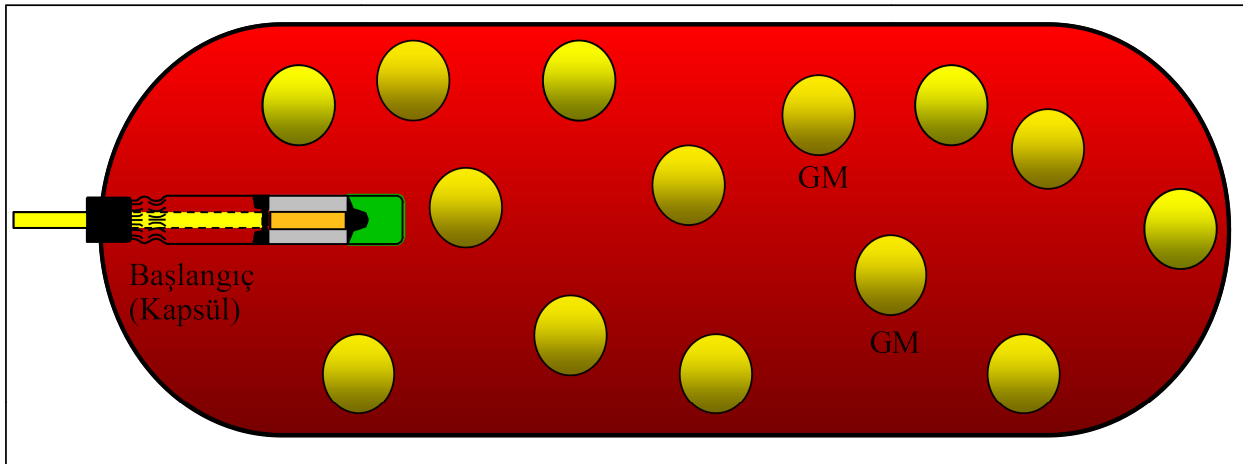
- Patlayıcının duyarsızlaşması (dinamik basınç etkisi)
- Patlayıcının yoğunluğunun değişmesi (hidrostatik basınç etkisi)
- Etkileşim yolu ile patlama
- Kapsülün bozulması

2 EMÜLSİYON PATLAYICILARIN DETONASYONU

2.1 Şok Dalgasının Etkisi İle “Sıcak Nokta” Oluşumu

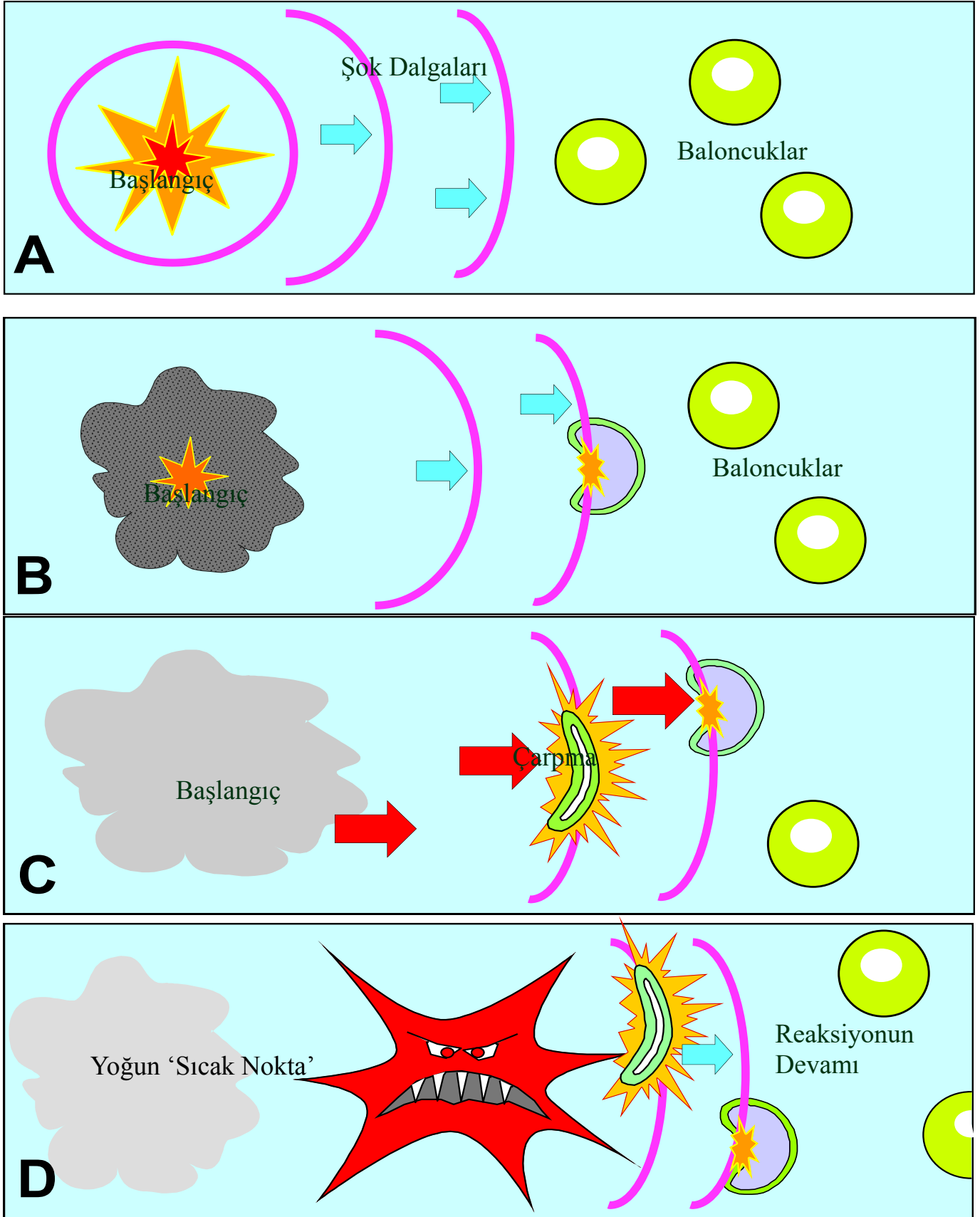
Emülsiyon ve harç patlayıcıların hassaslaştırılması gaz baloncuklar veya mikro balonlar (cam/plastik küreler) vasıtasıyla yapılmaktadır. Cam veya plastik mikro balonlar patlayıcı hamuru (matriksi) ile doğrudan karıştırılmakta, gaz baloncuk ile hassaslaştırma işlemi ise özel gazlama çözeltileri kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 1).

Kapsül tarafından üretilen şok dalgası emülsiyon patlayıcı kolonu içerisinde bulunan baloncuklara çarptığında içerlerinde bulunan havayı sıkıştırır ve ısıtır.



Şekil 1. Patlayıcı içerisinde gaz veya cam baloncuklar ile oluşturulan boşluklar

Bu yüksek sıcaklık ve basınç etkisi ile her bir baloncuk iç yüzeyinden dışa doğru alev alır. Böylelikle, patlayıcının içerisinde sıcak noktalar oluşmakta ve bu bölgelerde kimyasal çözümler başlamaktadır. Bu küçük çözülme alanları reaksiyonun devamını sağlamaktadır. Her bir kimyasal çözülme alanında (sıcak nokta) üretilen yeni şok dalgası sonraki patlayıcı bölgesinin ayrışmasını ve istikrarlı bir patlama sürecinin devamını sağlamaktadır (Şekil 2).

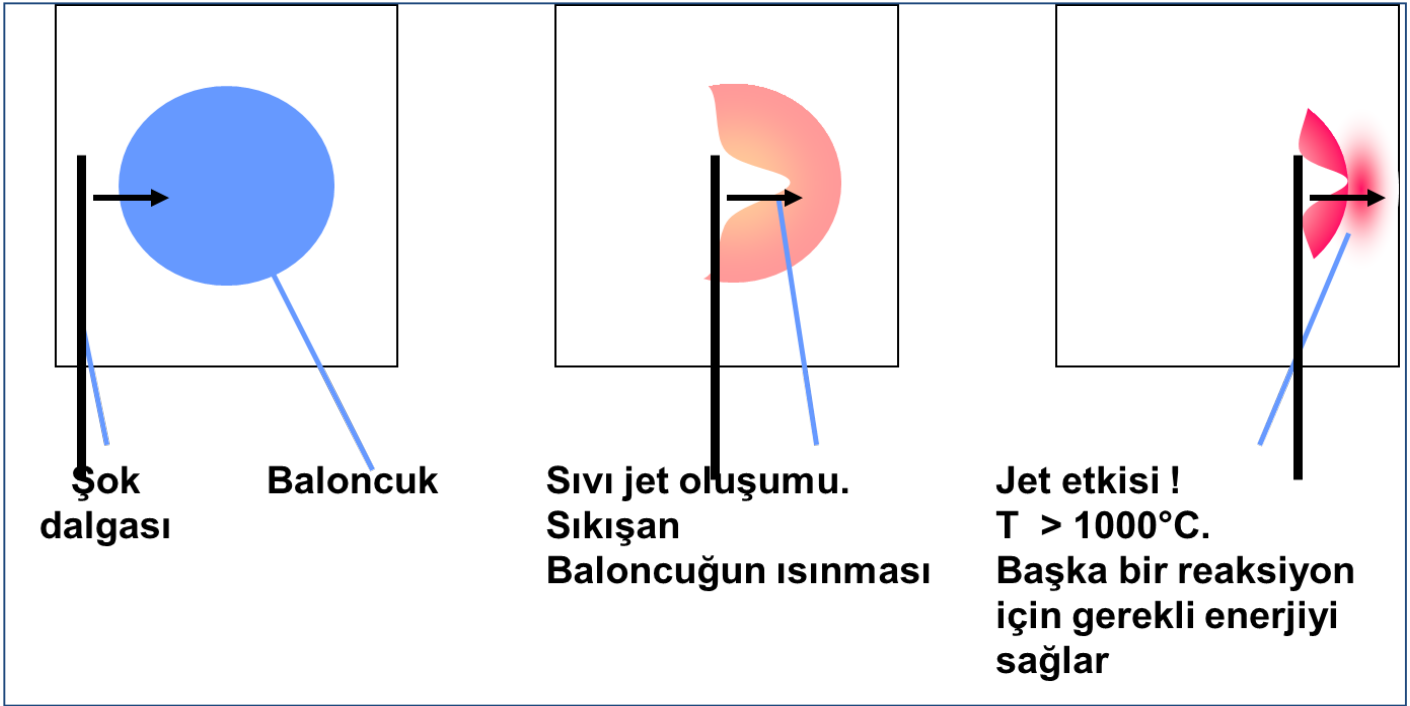


Şekil 2. Sıcak noktaların reaksiyonun devamını sağlaması (Orica Mining Services, 2008)

2.2 Şok Dalgasının Etkisi İle İç Çöken Boşlukların Yarattığı Jet Etkisi

Bir şok dalgasının ön cephesi patlayıcı matrisi içerisinde bulunan baloncunun ön yüzüne ulaştığında/çarpıtığında baloncuk içeri doğru çöker. Baloncunun çevresinin içeri doğru çökmesiyle (akmasıyla) jet etkisi oluşmaktadır (Johansson ve Persson 1970). Jet etkisi aynı

baloncuğun yüzeyine çarpan şok dalgasına göre iki ya da üç kat daha hızlıdır. Bu nedenle gaz veya mikro-balon ile hassaslaştırılan patlayıcıların ateşlenmesinden/patlamasından ve reaksiyonun devamından bu jet etkisinin sorumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Şok dalgasının etkisi ile jet etkisinin oluşumu (Orica Mining Services, 2008)

Bu sıcak noktalar, üzerinde genel olarak uzlaşılan bir bilgidir. Sıcak noktaların kesin fonksiyonları ise tam olarak anlaşılammıştır. Yukarıda anlatılan mekanizmalar nedeniyle patlayıcı içerisinde sıcak noktalar oluşturulmaktadır. Genel bir kural olarak, bu boşlukları (hava baloncuğu, mikro balon) bozmak, yok etmek veya patlayıcının fazını değiştirmek (sıcak noktaların doğasını ve karışımın uygunluğunu değiştirmek) patlayıcının hassasiyetini değiştirecektir.

2.3 Sıcak Nokta Yoğunluğunun Azalmasına ve Bozulmalara Yol Açan Faktörler

Pratikte (sıralı patlatmalarda), boşlukların (sıcak nokta yoğunluğunun) azalmasına aşağıdaki faktörler neden olurlar:

- Komşu delikten yayılan şok dalgası
- Komşu delikten yayılan gaz etkisi (özellikle delikler arasında süreksizlik varsa)
- Delik içerisinde infilaklı fitil kullanımı
- Delik ve patlayıcının çap uyumsuzluğu sonucu oluşan 'Kanal Etkisi'
- Kayanın ötelenmesi sonucu oluşan dinamik kuvvetler

Bu dinamik baskılar veya kanal etkisi sonucunda patlayıcının yoğunluğu değişebilir. Bu durumda oluşan duyarsızlaşma görüldüğünden daha karmaşıktır. Duyarsızlaşan bir patlayıcı ve aksesuarlar tamamen bozulmak yerine çalışmak eğilimindedir. Ancak yanlış zamanda ve yanlış iş gücü (verimlilik) ile çalışacaklarından, olumsuzluğun altında yatan temel mekanizmanın anlaşılması güçleşecektir (Wieland ve Aler 1991). Böylelikle patlatmadan elde edilecek verim, tam patlatma ve hiç patlamama arasında bir yerde olacaktır.

Bir delik patladığında komşu delikler üzerinde oluşan stres dalgaları farklı hızlarda yayılmaktadır (tipik P dalga hızı kireçtaşı için 2500 m/s ve granit için 6000 m/s). Bu durumda delikler arası mesafeye bağlı olarak, oluşan şok dalgaları komşu deliklere 1 ms'den daha kısa bir sürede ulaşacaktır. Bu nedenle duyarsızlaşmanın bu süreden kısa bir süre sonra oluşacağı

söylenbilir. Diğer taraftan patlatma deliğini çevreleyen kayanın kırılıp yırtılması 10 - 20 ms sonra gerçekleşmektedir (Wieland 1987). Gecikme aralıklarının ise genellikle 25 ms ve üzerinde olduğu düşünülürse, şok ve yırtılma etkisinin bozulmalar üzerinde son derece etkili olduğu söylenebilir. Ancak bazı patlayıcılarda geri dönüş periyodu sonrasında patlayıcı tekrar patlayabilir hale gelmektedir. Bu geri dönüş için patlayıcıya gerekli süre tanınmalıdır.

Wieland (1987) bu işlemin karmaşıklığını anlamış ve patlayıcıları 2 kategoriye ayırmıştır: Esnek ve esnek olmayan patlayıcılar.

Esnek patlayıcılarda geri dönüş için gerekli bir bekleme süresi vardır. Darbe ile sıkıştırılan patlayıcı geçici bir duyarsızlaşmaya uğrar ve bir süre sonra kısmi olarak geri döner, tekrar ateşlenebilir hale gelir. Eğer patlayıcının geri dönmesi için gerekli süre verilmez ise bu patlatmanın dinamiklerini olumsuz etkileyecektir. Wieland'ın (1992) araştırmalarına göre harç ve emülsiyon patlayıcılar genellikle bu kategoridedirler.

Esnek olmayan patlayıcılarda, duyarsızlaşma olduğunda patlayıcı durumunu korumak eğilimindedir. Daha önce belirtildiği üzere patlayıcının içerisinde bulunan mikro-balonların veya gaz baloncukların baskı sonucu bozulması duyarsızlaşma sebebidir. Bu patlayıcının yoğunluğunun artmasına yol açar ve performans kaybı veya tam duyarsızlaşma ile sonuçlanır. Wieland'ın (1990)'ın yaptığı deneyler sonucunda esnek olmayan patlayıcılarda geri dönülemez faz değişiklikleri sonrası mikro yapıda gerçekleşen bozulmaların kalıcı olduğunu görmüştür. Emülsiyonlar ise duyarsızlaştıktan sonra duyarsızlaşmanın büyüklüğüne göre belli ölçülerde geri dönme eğilimli patlayıcılardır.

3. PATLAYICININ BOZULMASI

3.1 Duyarsızlaşma

Pek çok patlayıcı yüksek yoğunluklarda daha az duyarlı hale gelmektedir. Bu ilişki gaz veya mikro balonla (GMB) hassaslaştırılan patlayıcılarda daha belirgindir. Fiziksel duyarsızlaşma gaz baloncukların veya mikro balonların bozulması ile olur. Sıkışma ile duyarsızlaşma “**Dead Press**” olarak adlandırılır. GMB ile hassaslaştırılan patlayıcılar gaz baloncuklarla hassaslaştırılanlara göre daha az duyarlıdır. Çünkü gaz baloncuklar ile hassaslaştırılan patlayıcıların belli ölçülerde geri dönebilme yetenekleri vardır.

Duyarsızlaşma aşağıda verilen temel nedenlerle olur;

- Hidrostatik basınç
- Dinamik basınç
- Dinamik ve hidrostatik basınç kombinasyonu

Duyarsızlaşma kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için emülsiyon patlayıcılarda kullanılan hassaslaştırıcı tipleri, özellikleri ve reaksiyon içerisindeki görevleri bilinmelidir.

3.1.1 Yoğunluk değişimi ile duyarsızlaşma

Ticari patlayıcıların seçim kriterlerinden biri de yoğunluktur. Yoğunluktaki küçük bir değişim patlayıcının patlama özellikleri, duyarlılığı ve performansını ciddi olarak etkileyebilir. Herhangi bir nedenle patlayıcının yoğunluğu artarsa, spesifik enerjisi ve ideal patlama hızı artar. Ancak yoğunluk belli bir kritik noktanın üzerine çıkarsa patlayıcı kararlı hızına ulaşamaz. Bu duruma ‘**dead press**’ denir. Bu durumda patlayıcının içerisindeki gaz baloncuk ve mikro-balon ile oluşturulan boşluklar kaybolacak ve yeterli sıcak nokta oluşmadığından reaksiyon gerçekleşmeyecektir. Emülsiyon ve harç patlayıcılarda gaz ve mikro balonlar bulunmaktadır. Bunların iki temel amacı; performans parametresinin kontrolü ve hassasiyet kontrolüdür. Eğer yoğunluk dışarıdan gelen bir basınç sebebiyle delik içerisinde artarsa (değişirse), örneğin; komşu delikten kaynaklanan bir patlama sonucu şok dalgası diğer delikteki patlayıcının yoğunluğunu arttırırsa, onun duyarlılığını ve performansını etkileyecektir. Oluşan etki kalıcı

veya geçici olabilir. Bu etki, gaz baloncuklarının üzerinde olan hasarın derecesine ve patlayıcı fazındaki hasarın derecesine bağlıdır.

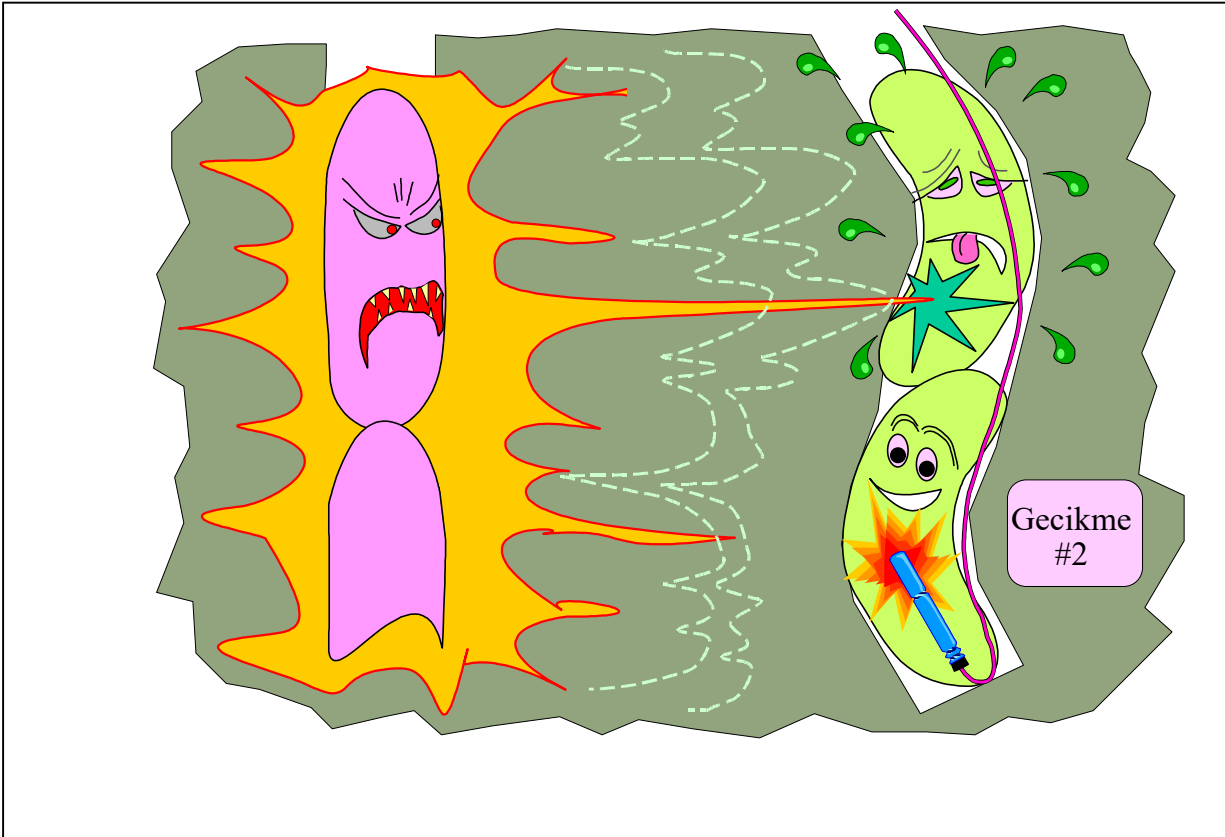
3.1.2 Basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Patlatma delikleri birbirine yaklaştıklarında (sapma, delme hatası, vb.) önce patlayan delikler diğer delikteki patlayıcıyı çeşitli şekillerde etkileyebilir:

- Patlayıcı gazları çatlaklar/süreksizlikler vasıtasıyla komşu deliğe ulaşabilir.
- Önce patlayan delikten gelen şok dalgalarının yarattığı baskı vasıtasıyla etkilenebilir (Şekil 4).
- Yanal bozulma sonrası su ve kaya hareketi ile diğer delikte bulunan patlayıcının etkilenmesi söz konusu olabilir.

3.1.2.1 Dinamik basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Özellikle yeraltı patlatmalarında patlatma deliklerinin dipleri birbirlerine delgi hatası vb. sebepler nedeniyle tasarımda belirlenenden daha fazla yaklaşabilirler. Bunun dışında delikler arasında süreksizlik kontakları bulunabilir. Böyle durumlarda önce patlayan delikler gecikme süresini bekleyen deliklerdeki patlayıcıyı gaz veya şok dalgalarının baskısıyla duyarsızlaştırmasına dinamik basınç etkisi ile duyarsızlaştırma denir (Şekil 4). Patlatma sonrası yığın içerisinde görülen patlamamış patlayıcı kartuşları dinamik basınç etkisi ile olan duyarsızlaşmanın işareti olabilir (Şekil 5-7). Açık ocaklarda delikler arası mesafelerin büyüklükleri nedeniyle bu tip duyarsızlık problemi ile karşılaşılmaz.



Şekil 4. Önce patlayan deliğin gecikme sırasını bekleyen delikteki patlayıcıyı etkilemesi



Şekil 5. Kapsül patlamasına rağmen patlamamış kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı



Şekil 6. Patlamayan kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcının kalıntıları



Şekil 7. Kapsüle duyarlı patlamamış emülsiyon patlayıcının kalıntıları

3.1.2.2 Hidrostatik basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Patlayıcı kolonuna patlayıcının dayanabileceğinden fazla hidrostatik basınç uygulandığı durumlarda gaz veya mikro balonlarla hassaslaştırılmış dökme ve paketli ürünler duyarsızlaşabilir. Derin (delik boyu > 5m) ve sulu deliklerle yapılan patlatmalarda hidrostatik basınç etkisi ile patlayıcı kolonu içerisinde bulunan boşluklar bozularak patlayıcının yoğunluğu artabilir. Bu nedenle kullanılan patlayıcının özellikleri iyi bilinmeli ve üreticinin tavsiye ettiği ürünler kullanılmalıdır.

Moharty ve Deshares (1989) değişik patlayıcılar üzerinde dinamik ve statik basınçların duyarsızlaşmaya etkisi üzerinde çalışmışlardır. Buna göre statik ve şok basıncının benzer etkileri bulunmaktadır. Ancak aynı yoğunluk değişikliğini yaratmak için dinamik basıncın statik basınca göre iki kat büyüklükte olması gerekmektedir.

3.1.3 Kanal etkisi ile duyarsızlaşma

Kanal etkisi ile duyarsızlaşma özel bir bozulma türüdür. Delik içerisinde patlayan patlayıcı aynı delikteki diğer patlayıcıları patlatmak yerine duyarsızlaştırabilir. Bunun sebebi patlama sonrası oluşan şok dalgalarının oluşturacağı basıncın diğer patlayıcıların patlamasına fırsat vermeden onların yoğunluğunu arttırmasıdır. Bu olaya kanal etkisi denir. Kanal etkisiyle duyarsızlaşmanın başlıca sebebi delik çapından çok daha küçük çapta patlayıcı kartuşu kullanılmasıdır. Son kesme deliklerinde uygulanan patlatma tekniği nedeniyle kullanılan küçük çaplı patlayıcının delik içerisinde çıkarılmış, patlamamış kartuşları Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Son kesme deliklerinde kullanılan özel patlayıcılar

3.2 Etkileşim Yolu İle Patlama (Sympathetic Detonation)

Etkileşim yolu ile patlatma komşu delikte patlayan patlayıcının diğer delikteki patlayıcıyı ateşlemesi anlamına gelmektedir. Bu durum gecikme sürelerinin bozulmasına, ilerlemenin düşmesine ve sarsıntı kontrolü güçleşmesine yol açacaktır.

Etkileşim yolu (paralel deliklerde veya ara sıkılmalarda) ile patlamaya yol açan birçok parametre vardır.

- Deliklerin sapması – delik diplerinin yaklaşması
- Komşu deliklerin (etkileyen – etkilenen) birbirine çok yakın olması
- Delik çapı
- Şarjlar arası uzaklık (ara sıkılama)
- Yemlemenin yeri ve konumu
- Kayaç yapısı
- Diğer delikten gelen gazın etkisi
- Diğer delikten gelen stres dalgasının etkisi

Yer altı patlatmalarında dar bir alanda birden fazla patlatma deliği farklı gecikme sürelerine sahip kapsüllerle doldurulur. Delik diplerinin birbirine çok yaklaştığı durumlarda mesafeye bağlı olarak önce patlayan patlayıcı, bekleyen patlayıcıyı etkileyerek patlatabilir. Bu tip patlamaları önlemek için deliklerin birbirlerinden ayrılma mesafelerinin tayini önemlidir.

Emülsiyon patlayıcılar daha az hassas olduklarından delikler arasında direk bağlantı/süreksizlik bulunmuyorsa, 200 mm'nin üzerindeki mesafelerde etkileşim yolu ile patlamaları pek mümkün değildir. Geçmiş saha deneyimlerimize istinaden Türkiye'de kullandığımız emülsiyon patlayıcıların hassaslaştırma elemanları da göz önüne alındığında 100 mm ve altı mesafede etkileşim yolu ile patlama 200 ile 500 mm mesafe aralığında ise duyarsızlaşma eğiliminde oldukları söyleyebiliriz.

3.2.1 Kapsülün bozulması

Pek çok araştırmacı bozulmaları araştırırken piroteknik gecikmeli kapsüllerin rolü üzerinde durmuşlardır. Wieland (1990) su altında şok dalgası testleri yaparak işin doğası ve potansiyel problemler üzerinde durmuştur. Araştırmalarında temel olarak kapsüllerin etkileşim yolu ile patlamaya veya yapısal hasara karşı olan duyarlılığını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Harç patlayıcılar kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde kapsüllerin 62 ila 164 cm mesafelerde ve farklı gecikme sürelerinde (25, 75, 175, 250 ms) bozulduğu sonucuna varmıştır. Kapsüllerde oluşan bozulmaları köprü telinin açılması, hasarlanan kovanlar ve etkileşim yolu ile patlamalar olarak rapor etmiştir.

3.3 Patlayıcıların Bozulmasının Bilinmeyen Olumsuz Etkileri

Patlayıcıların bozulmaları (duyarsızlaşma ve etkileşim yolu ile patlamaları) sonucu aşağıda verilen olumsuzluklar gerçekleşmektedir:

- Verimlilik – ilerleme problemleri
- Parçalanma – ötelenme problemleri
- Güvenlik problemleri
- Sarsıntı kontrolünde güçlükler

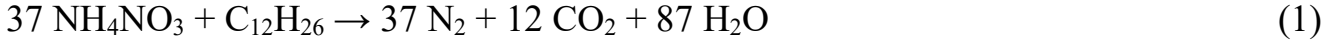
Yukarıda sayılan olumsuzluklar uygulamacılar tarafından genel olarak bilinmektedir. Bunun dışında bozulan patlayıcının patlama hızının (VOD) düşmesi ve yüksek oranda zehirli gaz açığa çıkardığı uygulamacılar tarafından pek bilinmemektedir.

3.3.1 Patlatma sonrası oluşan gazlar ve düşük patlama hızı

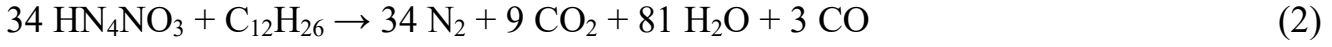
Wieland ve Ruhe (1991)'ye göre şok/basınç etkisi sonrası patlayıcıda orta derecede bir duyarsızlaşma olursa tam bozulma yerine deflagrasyon (parlama) ve/veya düşük hızda patlama gerçekleşebilir. Bozulan reaksiyon sonrası zehirli dumanlar CO ve NO_x oluşur.

Normal bir patlatmada amonyum nitrat bazlı patlayıcılar ayrışarak temel olarak Nitrojen (N₂), Karbondioksit (CO₂) ve Su (H₂O) oluşur. Ancak şok dalgası sonrası oluşan duyarsızlaşma durumunda, kimyasal reaksiyon tamamlanamaz ve CO ve NO_x (NO, NO₂ ve N₂O) gibi zehirli gazlar açığa çıkar. Oksijen eksikliği durumunda karbonmonoksit, oksijen fazlalığı durumunda ise nitrojen oksit gazları açığa çıkar. Bu nedenle oksijen dengesi patlayıcının reaksiyon sonrası ürettiği zehirli gaz seviyesini belirler. Bu zehirlilik seviyesi ise farklılık göstermektedir. Örneğin; NO gazı CO gazına göre 6 kata kadar daha zehirlidir. Yine de zehirli gazların oluşması sonucu toplam patlayıcının ürettiği enerji düşecek ve kayanın kırılması amaçlı yapılan iş miktarı azalacaktır.

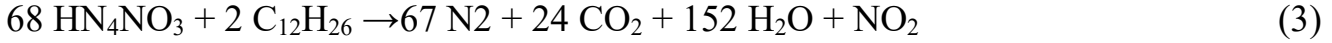
Patlatma sonrası oluşması gereken H₂O, N₂ ve CO₂ yerine NO, NO₂, N₂O ve CO oluşması sonucu toplam enerji azalacaktır. Örneğin ANFO'yu ele alırsak normal bir oksijen dengesindeki patlama durumunda aşağıdaki reaksiyon oluşur:



1000 g. ANFO için (946 g. NH_2NO_3 ve 54 g $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$) açığa çıkan enerji **3797 kJ/kg**
Diğer tarafta, reaksiyon CO üretirse denklem;



1000 g. ANFO için (946 g. NH_2NO_3 ve 54 g $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$) için açığa çıkan enerji **3723 kJ/kg**
Ancak reaksiyon NO_2 gazı oluştursa denklem;



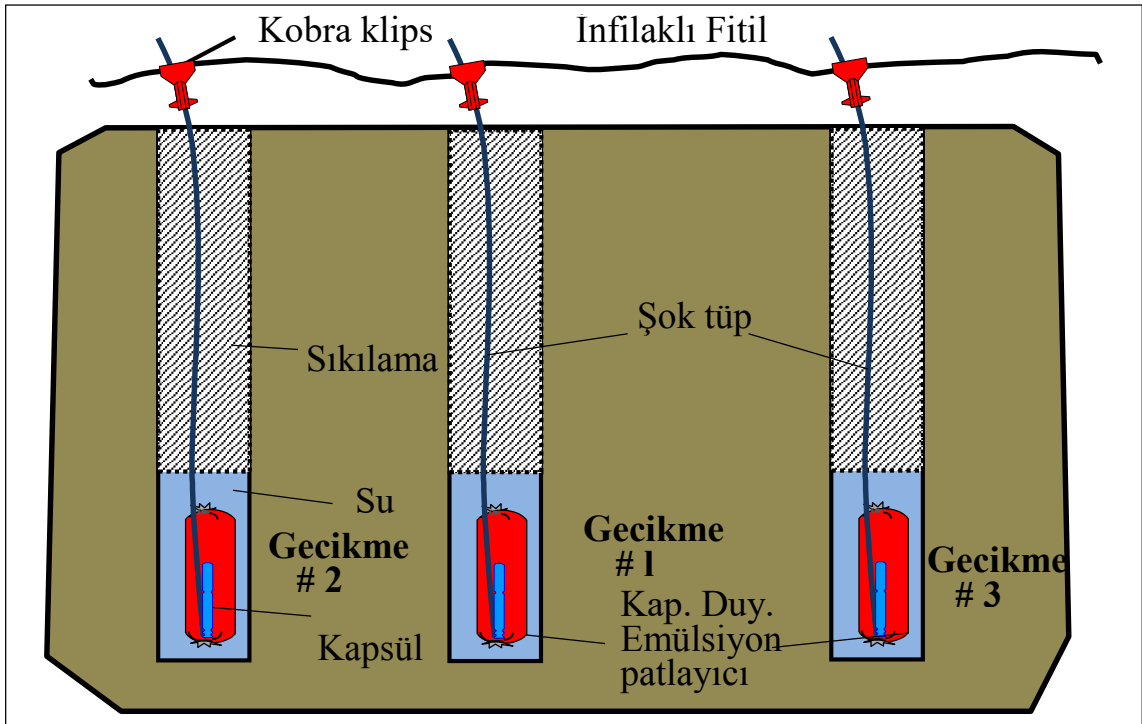
Bu durumda aynı kompozisyon için enerji miktarı bu sefer **3610 kJ/kg** olacaktır.

(2) numaralı denklemde (1) numaralı denkleme göre kg patlayıcı başına % 2'lik bir düşüş gerçekleşmiştir. (3) numaralı denkleme göre ise her kg patlayıcı başına % 5'lik bir düşüş gerçekleşmiştir. Başlangıçta bu miktarlar fazla görünmese de, her patlatmada gerçekleşecek % 5'e varan bir enerji kaybının ciddi etkileri olacaktır. Daha kötüsü, zehirli gazlar yeraltı çalışma ortamının güvenliğini bozacak ve zaman kaybına yol açacaktır.

4 DUYARSIZLAŞMA DENEYLERİ

Patlayıcıların duyarsızlaşması konusunda yapılan bazı denemeler de mevcuttur. Denemelerde amaçlanan patlayıcı şarjlarının hangi mesafelerde duyarsızlaştığının tespitine yöneliktir.

Queens Üniversitesi (1993) tarafından yapılan duyarsızlaşma testlerinde, birbirine paralel, 5 metre derinlikte ve 45 mm çapta delikler delinmiştir. Granit içerisine delinen bu deliklerin birbirlerine olan mesafeleri farklı tutulmuştur. Her defasında bir delik ateşlenmiş ve farklı gecikme ve mesafelerdeki diğer deliklerde bulunan patlayıcılar üzerindeki etkileri gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Deney deliklerinin görünümü

Denemeler sırasında delik içi VOD ölçerler kullanılarak patlayıcıların patlama hızları ve titreşim ölçerler vasıtasıyla parçacık hızları (PPV) ölçülmüştür. Tüm deliklere su konularak patlayıcı ve delik çapı arasında kontak ve uyum iyileştirilmiştir.

Şarj boyları 1,2 ila 1,6 metre olarak seçilmiştir. Gazlama solüsyonu kullanılarak hassaslaştırılan kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcının yoğunluğu 1,15 g/cm³'tür.

Çizelge 1. 5 metrelik deliklerle yapılan testlerin sonuçları

Test No	İlk Delik VOD (m/s)	Delik Uzaklıkları (mm)	Gecikme Süresi (ms)	Patlama Zamanı (ms)	Yorum
1	4950	180	25	6,3	Bozulma
2	4730	180	25	11,4	Bozulma
3	4650	200	50	45,7	Patlama hızı = 4940 m/s
4	5060	200	50	48,4	Patlama hızı = 5270 m/s
5	4730	200	75	0,94	Bozulma
6	4950	200	75	0,41	Etkileşim yolu ile patlama Patlama hızı = 6000 m/s
7	5230	230	25	16,42	Bozulma
8	4960	230	25	18,97	Bozulma
9	5230	230	50	21,2	Bozulma Patlama hızı = 2430 m/s (ilk anda alınan kayıt)
10	4960	230	50	47,61	Bozulma
11	4650	230	100	45,9	Bozulma
12	5060	230	100	0,45	Etkileşim yolu ile patlama Patlama hızı = 1470 - 940 m/s

Test sonuçları kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcıların bu mesafelerde (180-230mm) sıklıkla bozulma eğiliminde olduklarını, etkileşim yolu ile patlamalara karşı ise daha dayanıklı olduklarını düşündürmektedir. Emülsiyon patlayıcıların düşük hassasiyet dereceleri göz önüne alındığında, sonuçların tutarlılık gösterdiği söylenebilir.

5 SONUÇ

Maden ve İnşaat sektörlerinde patlayıcı kullanımının temel amacı kaya kütlelerinin kırılması, ötelenmesi veya gevşetilerek yüklenebilir hale getirilmesidir. Ancak bazı nedenlerle delik içerisinde bulunan patlayıcının duyarsızlaşarak patlamaz hale gelmesi, düşük hızda patlaması veya yanlış zamanda patlaması, verimlilik ve patlatma iş güvenliğini olumsuz etkilemekte, riskli bölgelerde patlatma kaynaklı yer sarsıntısının kontrolünü güçleştirmektedir.

Delik içerisinde bulunan patlayıcının ve/veya kapsülün komşu delikteki patlamanın etkisiyle bozulması, özellikle yer altı patlatmalarında karşılaşılan oldukça önemli bir sorundur. Bununla birlikte karşılaşılan patlayıcı bozulmalarının gerçek sebeplerinin saha çalışmaları ile tespiti oldukça güçtür.

Patlayıcıların bozulmaları üzerinde delik sapmaları, delik çapı ile uyumsuz patlayıcı çapı kullanımı, kayaç yapısı, yanlış patlatma tasarımı, uygun olmayan gecikme süreleri, patlayıcıda kullanılan hassaslaştırma elemanının çeşidi, patlayıcıda kullanılan emülgatörün (emülsiyonlaştırıcı) etkisi, vb. pek çok etken rol oynayabilir.

Bir başka deyişle patlayıcıların bozulmaları konusunda yeterli deneyime sahip olmaksızın yapılan tespitler doğru olmayabilir. Patlayıcı üreten firmalarda çalışan mühendisler zaman zaman bu yanılığa düşmekte, yığın üzerinde bulunan patlamamış patlayıcı kartuşları için duyarsızlaşma teşhisini kolayca koyabilmektedirler. Kullanıcılar ise patlamamış kartuşlar ile karşılaştıklarında genellikle bu durumun ürün kalitesinden kaynaklandığını düşünmektedirler. Bir başka yanılış ise duyarsızlaşmanın sıkça atım kesmeleri ile karıştırılmasıdır. Bazen de uygulamacılar fark edilemeyen bir hataya bağlı olarak düşük VOD ile patlatmalar yapmakta, üretici firma mühendislerine ürünün gücü veya zehirli gazlar ile ilgili şikâyetler iletmektedirler.

Bu tip arızaların çalışma ortamında tespiti oldukça güç ve deneyim isteyen iştir. Genellikle arızalanan şarjlar kötü kırılma, kötü ilerleme dışında çok belirgin izler bırakmaz ve bu kötü sonuçların gerçek sebebinin anlaşılması oldukça güçtür.

Özetle patlayıcı ile çalışan uygulamacılar kullandıkları patlayıcıların özelliklerinin yanı sıra uyguladıkları patlatma metodunun gereklilikleri hakkında ne kadar çok bilgi sahibi olurlarsa o kadar bilinçli ve verimli patlatmalar yaparak yüksek güvenlikte çalışabilirler.

KAYNAKLAR

- Johansson C.H., Persson P.A., *Detonation of High Explosives*, Academic Press, New York, 1970.
- Aler J.T., Wieland M.S., *The Waiting Time Recovery Test*, 17th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, ISEE, Solon, OH, 1991.
- Wieland M.S., *The Desensitization and Malfunction of Coal-Mine Explosives*, 13th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Cleveland, OH, 1987.
- Mohanty B., Deshaies R., *Pressure Effects on Density of Small Diameter Explosives*, 5th Annual Symposium on Explosives and Blasting Research, ISEE, Cleveland, OH, 1989.
- Wieland M.S., *The Laboratory Determination of Dynamic Pressure Resistance of Cap-Sensitive Explosives*, 16th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Orlando, Florida, 1990.
- Ruhe T.C., Wieland M.S., *Toxic Fumes from Shock-Damaged Permissible Explosives*, 17th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Las Vegas, Nevada, 1991.
- Orica Mining Services Technical Team, Engineering Training Program, Australia, 2008
- Fitz G., *Desensitization in Multiple Borehole and Decked Charges*, B.Sc. Thesis, Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Canada, 1993.