

# Bir Açık Ocak Altın Madeni Proses Tesisi Temel Kazılarında Gerçekleştirilen Kontrollü Patlatma Uygulamaları

## *Controlled Blasting Applications at Processing Plant Foundation Excavation in an Open Pit Gold Mine*

Ümit Kılıç, Metehan Derya, Velat Alabaş  
(Madser Patlayıcı Maddeler Ltd. Şti.)

**ÖZET** Bu bildiri bir açık ocak altın madeninde kurulmakta olan proses tesisi temel kazısı kapsamında yapılan kontrollü patlatma uygulamaları anlatılmıştır.

Patlatma işlerine başlamadan önce saha gezilerek yapılacak atımlardan etkilenmesi muhtemel madencilik unsurları tespit edilmiş, bu unsurların patlatma bölgesine olan mesafeleri belirlenmiş, patlatma yapılacak alan risk derecesine göre gruplara ayrılmış ve risk analizi yapılmıştır. Literatür çalışması yapılarak benzer çalışmalar incelenmiş ve çeşitli madencilik unsurları için limit sarsıntı değerleri belirlenmiştir. Her risk bölgesi için uluslararası kabul gören bir tahmin denklemi kullanılarak farklı mesafelere göre izin verilen gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarları hesaplanmış ve Terrock yaklaşımı kullanılarak kaya fırlaması modellenmesi yapılmış ve güvelik mesafeleri belirlenmiştir.

Belirlenen limitlere uygun şekilde gerçekleştirilen tüm patlatmalar, üç noktadan sarsıntı ve hava şoku ölçümü yapılarak kontrol edilmiştir. Elektriksiz kapsül sistemleri kullanılarak başlayan patlatmalarda zaman içerisinde duyulan ihtiyaç nedeniyle elektronik kapsüller kullanılmaya başlanmış ve elektronik kapsüllerin yarattığı avantajlar sayesinde kazı hızı arttırılmıştır.

**ABSTRACT** This paper covers the controlled blasting applications in an open pit gold mine during the processing plant foundation excavation.

Blasting area was visited and mining structures and plants likely to be affected from blasts were determined and fields where blasting shall be performed were grouped according to risk categories and risk analysis was done. Similar works were investigated in literature and limit PPVs were determined for these structures around the blasting area. Maximum charge per delay according to different distances was calculated for each region using an internationally accepted estimation equation. Fly rock projection was made by using Terrock Approach and safe distances were determined.

All blasts were performed according to the designated limits and were monitored in terms of vibration and air shock from three different stations. Non-electric detonators were replaced by electronics and excavation rate was increased.

## 1 GİRİŞ

### 1.1 Genel

Patlatma kaynaklı çevresel rahatsızlıklar, son yıllarda artan şehirleşme ve üretim talebine bağlı olarak artmaktadır. Patlatma kaynaklı

çevresel sorunların en belirgin olanı ya da en önemli şikâyet konusu yer sarsıntısıdır. Kaya fırlaması ve hava şoku problemleri patlatma noktasına yakın bölgelerde etkinken, patlatma kaynaklı sarsıntılar çok uzaklarda da hissedilmektedir.

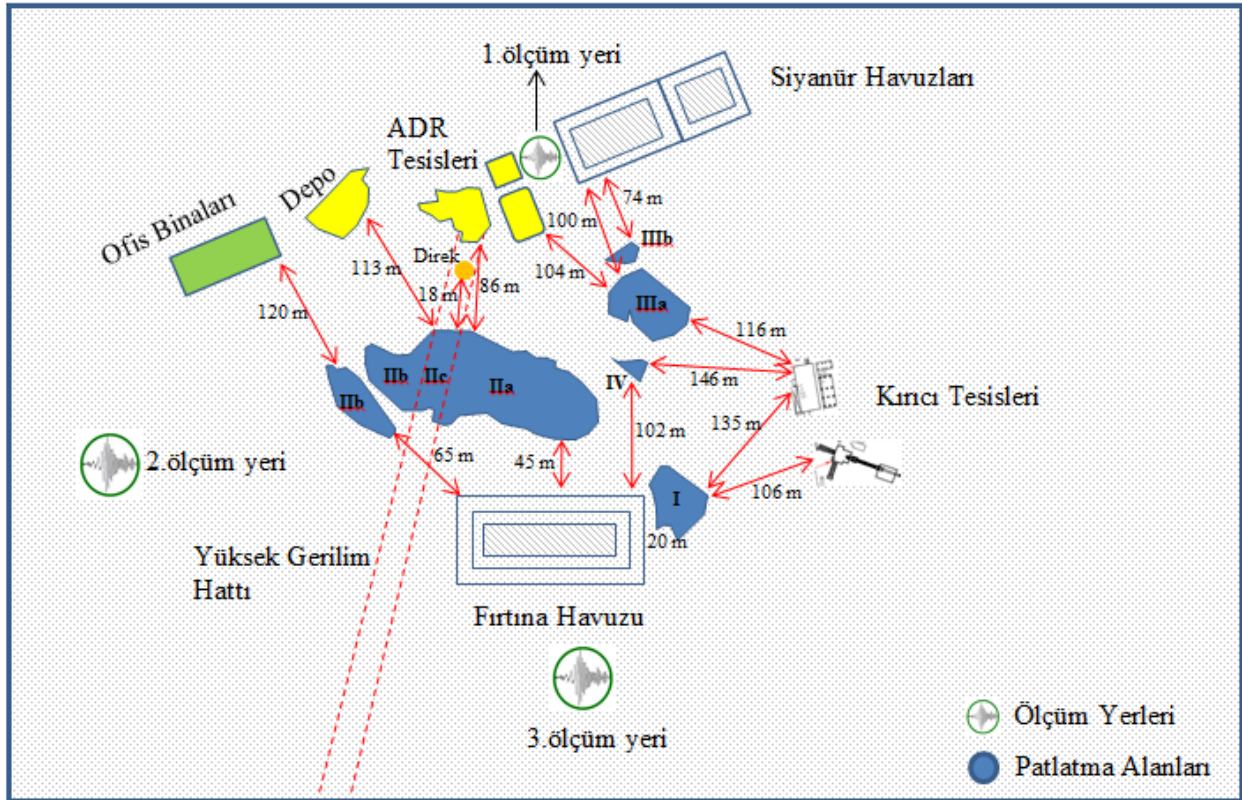
Patlayıcı kullanımı, çevresel etkilerinin kontrolü düşünülerek planlanmalıdır. Patlatma kaynaklı çevresel etkiler yerleşim birimleri üzerinde olduğu kadar yakında bulunan diğer madencilik unsurları üzerinde de etkili olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, bir açık ocak altın madeni işletmesinde yeni kurulmakta olan proses tesisi temel kazılarında yapılan kontrollü patlatma uygulamalarına ait süreçler anlatılmıştır. Patlatma işlerine başlamadan önce ofis çalışmaları yapılarak risk analizi ve detaylı bir kılavuz teknik rapor hazırlanmıştır. Uygulama aşamasında ise, güvenlikten taviz verilmeksizin termin süresi de dikkate alınarak kontrollü patlatma uygulamalarında sürekli iyileştirmeler yapılmıştır.

## 2 PROJE HAKKINDA BİLGİ

Altın Madeninde yeni bir cevher hazırlama tesisinin yapılması planlanmıştır. Planlanan bu tesis inşaatının yapılabilmesi için belirlenen alanda projeye uygun kazılar yapılması gerekmektedir.

Belirlenen proje sahasının etrafında ise çeşitli madencilik unsurları bulunmaktadır. Proje sahasına çeşitli uzaklıklarda bulunan bu tesislerin ortak özelliği endüstriyel tipte yapılar olmasıdır (Şek. 1). Proje sahasında yapılması planlanan patlatmalardan önce mevcut madencilik yapılarının özelliklerine göre farklı sarsıntı limitleri belirlenmiş, patlatma bölgesi belirlenen bu limitleri aşmayacak iki farklı risk grubuna ayrılmış ve her bölge için farklı delme patlatma tasarımı oluşturulmuştur.



Şekil 1. Kazı alanının genel görünümü

### 3 UYGULAMA ÖNCESİ SAHA VE OFİS ÇALIŞMALARI

Proje kapsamında yapılacak olan patlatma işlerine başlamadan önce delme patlatma işlerine rehberlik edecek detaylı bir rapor hazırlanmıştır. Rapor hazırlanmadan önce proje sahası gezilerek çevrede bulunan ve yapılacak patlatmalardan etkilenmesi muhtemel unsurlar yerinde görülmüştür. Daha sonra bu unsurlar harita üzerinde belirlenerek atım bölgesine olan uzaklıkları öğrenilmiştir. Yapılacak kazı işinin sınırları, çevrede bulunan risk altındaki unsurlar yerinde görüldükten sonra teknik detayları, metodolojiyi ve delme patlatma tasarımını kapsayacak raporun hazırlığı için gerekli belgeler temin edilmiştir.

#### 3.1 Risk Analizi Yapılması

Proje sahası gezilip çevrede bulunan ve patlatmalardan etkilenebilecek unsurlar tespit edildikten sonra patlatma işlerine başlamadan önce hazırlanan teknik raporla birlikte risk analizi de yapılmıştır. Yapılan bu risk analizi çalışmalarında delme ve patlatma operasyonları öncesinde, sırasında ve sonrasında karşılaşılabilecek riskler tanımlanarak alınacak önlemler ortaya konulmuştur.

#### 3.2 Rapor Hazırlık Süreci

Sahada yapılan incelemelerin ve ilgili dokümanların temin edilmesinden sonra yapılacak olan delme patlatma çalışmalarına yol gösterecek raporun hazırlanması sürecine başlanmıştır. Bu rapor kapsamında aşağıdaki konuların yeterince açık olarak ortaya konulması hedeflenmiştir:

- Atım bölgelerinin, yakınında bulunan risk altındaki unsurlara olan mesafeleri dikkate alınarak risk derecesine göre gruplandırılması (Şek. 1),
- Atım bölgesi çevresinde bulunan çeşitli unsurlar için sarsıntı limit değerleri belirlenmesi,
- Belirlenen limit değerlerini dikkate alan delme patlatma tasarımının yapılması,
- Genel kabul gören bir kaynaktan faydalanılarak mesafeye bağlı gecikme başına

kullanılacak patlayıcı madde miktarlarının hesaplanması,

- Kaya fırlaması modellemesinin yapılarak emniyet mesafelerinin belirlenmesi

#### 3.2.1 Çeşitli yapılar ve unsurlar için sarsıntı limiti değerlerinin belirlenmesi

Patlatmalardan kaynaklı sarsıntı limitleri üzerine çalışmalar, önceleri binalar üzerine yoğunlaşmış, başka yapılar ve/veya unsurlar üzerine çalışmalar ise sınırlı kalmıştır. Ancak sonraları sadece binaların ve insanların değil, çalışılan bölgenin yakınlarındaki çeşitli unsurların ve/veya yapıların da dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu yapılar baraj, köprü, tünel vb. mühendislik yapıları veya boru hatları, su kuyusu, siyanür tankları, kırıcı tesisi vb. çok değişik unsurlar olabilir. Bu çalışmaya konu olan proses tesisi temel kazı işleri kapsamında yapılması planlanan patlatmalardan etkilenmesi muhtemel yapılar ve unsurlar için belirlenen titreşim limitleri aşağıda verilmiştir:

- Fırtına Havuzu	: 50 mm/s
- Kırıcı Tesisi	: 50 mm/s
- SART Tesisi	: 50 mm/s
- Yüksek Gerilim Direği	: 50 mm/s
- Ofis Binaları	: 25 mm/s
- Siyanür Havuzları	: 8 mm/s
- ADR Tesisi	: 8 mm/s

Sarsıntı limit değerlerinin belirlenmesi sırasında literatür taraması yapılırken özellikle benzer genişleme çalışması yapan maden firmalarının uzman kuruluşlara hazırlanmış oldukları teknik raporlardan da faydalanılmıştır.

Fırtına havuzu olarak adlandırılan yapı minyatür bir kaya dolgulu baraj şeklinde inşa edilmiştir. Bu nedenle Fırtına Havuzu için izin verilen sarsıntı üst değeri 50 mm/s seçilmiştir. Bu değer seçilirken ABD Reklamasyon Bürosu (US Bureau of Reclamation (Scott,2008)) tarafından toprak dolgulu barajları patlatma kaynaklı sarsıntıdan korumak için uygulanan standart 4 inch/s PPV değeri göz önüne alınmıştır. Yine de daha emniyetli tarafta kalmak adına Barajların Güvenliği Bölümü (Division of Safety of Dams- DSOD) Kaliforniya Temsilciliği'nin Las Virgines Rezervuar alanındaki ana baraj

yakınlarına inşa edilecek 5 MG tank için yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarında önerdiği 2 inch/s limit değerinin Fırtına Havuzu için de uygulanmasına karar verilmiştir (AECOM, May 2011, Revised July 2011, Evaluation of Blasting Excavation Proposed 5 MG Tank at Las Virgenes Reservoir, page 12).

Fırtına Havuzuna yakın olan Kırıcı Tesisi için de 50 mm/s değeri uygun görülmüştür. Tesisin çalışırken çok daha büyük sarsıntılara maruz kalacağı bir gerçektir ama Fırtına Havuzu için seçilen değer burası için de kullanılmasına karar verilmiştir.

Yüksek Gerilim Hattı (YGH) Direği için benzer bir çalışmada 75 mm/s değeri verilmiştir (Rorke, A.J., November 2011, (Blasting Impact Assessment for the proposed New Largo Colliery based on New Largo Mine Plan 6, page 21). Yazarlar tarafından yapılan değerlendirme sonucu ise kazı alanı yakınında bulunan YGH direği için 50 mm/s limit değeri uygun görülmüştür.

Siyanür havuzları için titreşim limit değeri olarak, NORME DIN 4150 Standartı ile İsviçre standardının tarihi ve sarsıntıya duyarlı hassas yapılar için öngördüğü 8 mm/s değeri seçilmiştir.

### 3.2.2 Kaya Fırlaması Modellemesinin Yapılması

Patlatma kaynaklı kaya fırlamasının tahminine yönelik çeşitli modeller bulunmaktadır. Bu bildiri konusu çalışma kapsamında **Terrock** modellemesi kullanılmıştır. Bu model rapor edilmiş çok sayıda kaya fırlaması kazasının analiz edilmesi ile oluşturulan güncel bir çalışmadır. Bu yaklaşım, planlanan tesis kazısı alanında yapılacak patlatmaların yaratacağı kaya fırlaması etki mesafeleri ve kontrolü açısından sağlıklı sonuçlar vermiştir.

#### 3.2.2.1 Kaya fırlaması – yük bölgesi

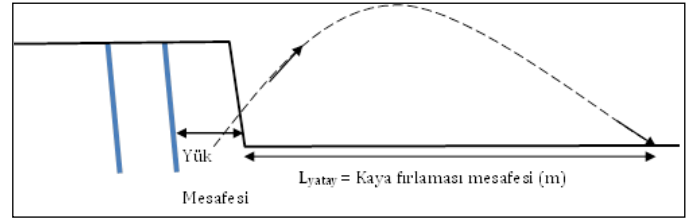
**Terrock** sağlam kaya yapılı metal madenlerinde potansiyel kaya fırlaması mesafesinin delik çapı ve en düşük yük mesafesine bağlı denklemi aşağıdaki gibi vermektedir:

$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/B})^{2.6} \sin 2\theta \quad (1)$$

- $L_{yatay}$  = Kaya fırlaması mesafesi (m)
- $m$  = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)
- $B$  = Minimum yük mesafesi
- $K_f$  = Kaya fırlaması sabiti ( 20 – 27)
- $\theta$  = Fırlama açısı
- $L_{max}$  = 45 derecelik açıda maksimum fırlama mesafesi

Bu modellemeye göre yük mesafesi azaldıkça yük mesafesine bağlı olarak oluşacak kaya fırlaması mesafesi artmaktadır. Kaya fırlama mesafeleri doğal olarak serbest yüzey yönünde (ayna önüne doğru) fazla, ayna gerisine doğru ise nispeten az olmaktadır (Şek. 2).

Şekil 2. Kaya fırlaması – ayna önü



Patlatma aynasının önüne doğru gerçekleşecek kaya fırlaması mesafesi ( $L_{yatay}$ ) patlatma tasarımında verilen yük mesafesine ( $B$ ) bağlı olarak değişmektedir.

#### 3.2.2.2 Kaya fırlaması – sıkılama bölgesi

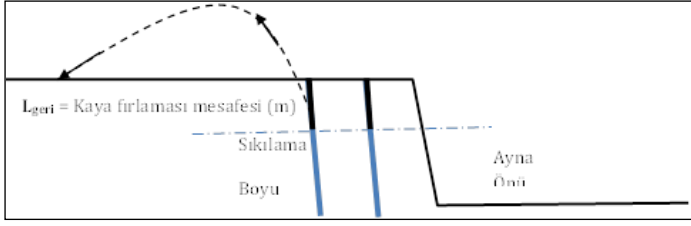
Patlatma aynasının gerisine doğru kaya fırlamasının iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi krater etkisidir. Kontrollü patlatmalarda sıkılama boyu fazla bırakıldığından tesis kazı alanlarında patlatma gerilerine doğru krater etkisi nedeniyle kaya fırlaması olmayacağı düşünülmüştür.

Diğer bir sebep ise sıkılama bölgesinin boşalmasıdır. Bu durumda olası potansiyel kaya fırlaması mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/SH})^{2.6} \sin 2\theta \quad (2)$$

- $L_{geri}$  = Kaya fırlaması mesafesi (m)
- $M$  = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)
- $K_f$  = Kaya fırlaması sabiti ( 20 – 27)
- $\theta$  = Fırlama açısı (Delik açısı – düzeltilerek bulunur) (örneğin 90°'lik dik deliklerde 10°'lik bir yayılma payı gözetilerek fırlama açısı 80° olarak alınır)
- $SH$  = Sıkılama boyu

Patlatma aynasının gerisine doğru oluşacak kaya fırlama mesafesi ( $L_{geri}$ ) sıkılama mesafesine (SH) bağlı olarak değişmektedir (Şek. 3).



Şekil 3. Kaya fırlaması - ayna gerisi

### 3.2.2.3 Kaya fırlaması – yükseklik

Kaya fırlamalarının yükseklikleri ayna önünde yük mesafesine (B) ve ayna gerisinde sıkılama boyuna (SH) bağlı olarak değişmektedir (Şek. 4).

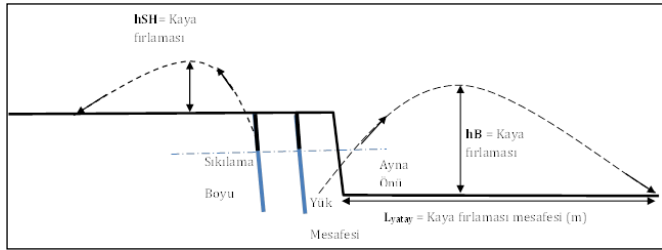
$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/B})^{2,6} \sin 2\theta \quad (3)$$

- Yük mesafesine göre

$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/SH})^{2,6} \sin 2\theta \quad (4)$$

- Sıkılama boyuna göre

- H** = Kaya fırlaması yüksekliği (m)
- m** = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)
- B** = Yük mesafesi (m)
- SH** = Sıkılama boyu (m)
- K<sub>f</sub>** = Kaya fırlaması sabiti ( 20 – 27)
- θ** = Fırlama açısı



Şekil 4. Kaya fırlaması - yükseklik

### 3.2.2.4 Birinci risk grubu - kaya fırlama projeksiyonu

Altın Madeni işletmesindeki proses tesis temel kazıları kapsamında yapılacak patlatma alanları yakınında farklı mesafelerde farklı madencilik yapıları bulunmaktadır. Patlatma alanları, madencilik unsurlarına olan uzaklıklarına göre yüksek derecede ve orta derecede olmak üzere iki farklı risk grubunda ele alınmıştır.

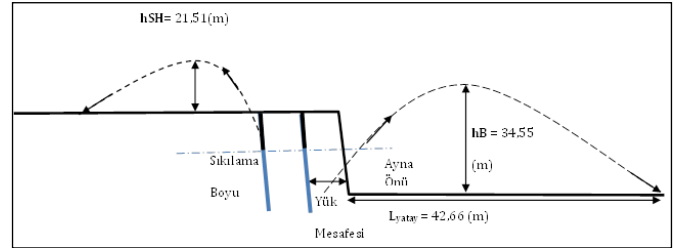
Fırtına havuzuna en yakın uzaklığı 20 m olan patlatma bölgesi ve enerji nakil hattının hemen altında bulunan, hattın sağında ve solunda kalan 15 metrelik bölüm **birinci derecede risk grubunda** tanımlanmıştır.

Birinci derecede riskli olarak tanımlanan bu bölgelerde yapılacak patlatmalarda oluşacak kaya fırlamasının kontrol altında tutulabilmesi amacıyla önerilen sıkılama boyları ve hesaplanan tahmini kaya fırlaması mesafeleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Risk grubu I – kaya fırlama mesafeleri

Risk Grubu	Delik Boyu (m)	Sıkılama Boyu (m)	Yük Mesafesi (m)	Kaya Fırlama Mesafesi L geri (m)	Kaya Fırlama Mesafesi L yatay (m)	Kaya Fırlama Mesafesi hB (m)	Kaya Fırlama Mesafesi hSH (m)
	4,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>Bölge I ve Bölge IIc</b>	5,00	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40
	6,00	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18
	7,00	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18
	7,50	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18

Hesaplanan kaya fırlaması uzaklıklarına bağlı olarak I. bölgenin patlatma yönü fırtına havuzu gözetilerek oluşturulmuştur.



Şekil 5. Risk grubu I için hesaplanan kaya fırlama mesafeleri

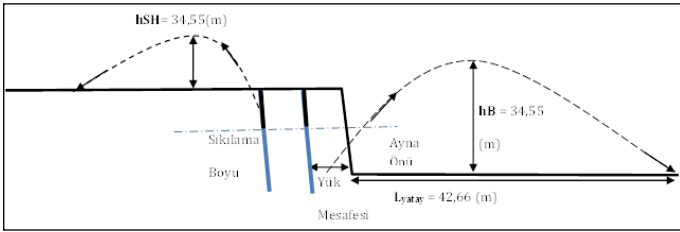
### 3.2.2.5 İkinci risk grubu - kaya fırlama projeksiyonu

Bölüm 3.2.2.4’te tanımlanan I. derecede risk grubu dışında kalan tüm patlatma alanları II. derecede risk grubunda tanımlanmıştır. İkinci derecede riskli olarak tanımlanan bu bölgelerde yapılacak patlatmalarda oluşacak kaya fırlamasının kontrol altında tutulabilmesi için önerilen sıkılama boyları ve hesaplanan tahmini kaya fırlaması mesafeleri Çizelge 2’de verilmiştir.

## Çizelge 2. Risk grubu II – kaya fırlama mesafeleri

Risk Grubu 2	Delik Boyu (m)	Sıklama Boyu (m)	Yük Mesafesi (m)	Kaya	Kaya	Kaya	Kaya
				Fırlama Mesafesi L geri (m)	Fırlama Mesafesi Lyatay (m)	Fırlama Mesafesi hB (m)	Fırlama Mesafesi hSH (m)
<b>Bölge</b>	4,00	2,50	2,50	10,47	42,66	34,55	34,55
<b>II, IIa,</b>	5,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>IIb,</b>	6,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>IIIa,</b>	7,00	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40
<b>IIIb,</b>	7,50	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40

Hesaplanan kaya fırlaması uzaklıklarına bağlı olarak IIa ve IIb bölgelerinin patlatma yönleri enerji nakil hattının tersine seçilmiştir.



Şekil 6. Risk Grubu II için hesaplanan kaya fırlama mesafeleri

### 3.2.2.6 Güvenlik mesafelerinin belirlenmesi

Birinci risk grubu ve ikinci risk grubu için kaya fırlaması hesaplamaları Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Birinci dereceden risk grubu için patlatma tasarım parametreleri uygulandığında kaya fırlaması aynanın önüne maksimum 42,66 m, aynanın arkasına ise maksimum 6,52 m olarak hesaplanmıştır. İkinci dereceden risk grubu için verilen tasarım parametrelerine göre ise kaya fırlaması aynanın önüne maksimum 42,66 m, aynanın arkasına maksimum 10,47 m olarak hesaplanmıştır.

Minimum yasak bölge aşağıdaki güvenlik faktörlerinin uygulanması ile belirlenmiştir:

- Tesis ve makine ekipmanları için güvenlik katsayısı (G.K.)= 2
- Personeller için güvenlik katsayısı (G.K.) = 4

Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilen değerler hesaplamalar sonucu bulunan maksimum değerlerdir. Gerek makine ekipman gerekse insanlar için oluşturulması gerekli emniyet

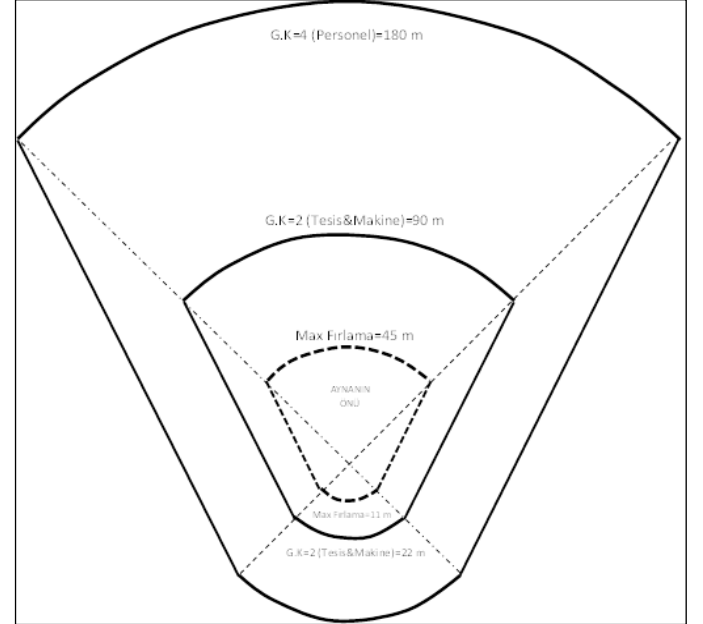
mesafeleri ise Terrock Modeline göre 2 ve 4 katsayıları ile çarpılarak bulunmaktadır.

Hesaplamalar sonucu bulunan aynanın önü için maksimum kaya fırlaması mesafesi olan 42,66m (~45m) temel alındığında;

Tesis, makine ve ekipmanlar için emniyet mesafesi:  $45 \times 2 = 90 \text{ m}$

İnsanlar için emniyet mesafesi:

$45 \times 4 = 180 \text{ m}$  olmaktadır.



Şekil 7. Belirlenen güvenli mesafeler

Belirlenen bu güvenli mesafe alanı, kontrollü patlatma parametreleri nedeniyle işletmenin rutin güvenli mesafe cetveline göre düşük çıkmıştır.

Bununla birlikte işletmenin daha önceden makine, tesis (>150) m ve insanlar (>300m) için belirlediği emniyet mesafeleri bu çalışma alanı için de aynen kabul edilmiştir.

### 3.2.3 Mesafeye ve Risk Grubuna Bağlı Olarak İzin Verilen Titreşim Değerlerinin Hesaplanması

Proses tesisi temel kazısı patlatma alanlarının yakınında farklı mesafelerde değişik madencilik unsurları bulunduğundan bu alanlar 4 bölgeye ve risk gruplarına göre ise 2 ayrı gruba ayrılmıştır (Şek.1). Uluslararası literatür kullanılarak uygun bir sarsıntı denklemi seçilmiş ve belirlenen limit titreşim değerlerine göre mesafeye bağlı olarak gecikme başına kullanılacak patlayıcı madde miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 6 ve Çizelge 7’de verilen gecikme başına patlayıcı

miktarları kullanıldığında farklı mesafelerde oluşacak PPV değerlerinin kontrolü yapılmıştır (Çiz. 3-4).

Patlatmalar sırasında oluşabilecek tahmini titreşim değerleri, Uluslararası Patlayıcı Mühendisleri Derneği (ISEE) tarafından yayımlanan Blasters' Handbook adlı kaynağın 18. baskısının 567. sayfasındaki *Patlatma Yapılan Çeşitli Endüstriler İçin Titreşim Genliği Denklemleri* tablosunda bulunan Maden/Taş Ocakları formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşağıda verilen bu denklem yardımıyla her iki risk grubu için, kullanılacak patlayıcı miktarlarının farklı mesafelerde yaratacağı titreşim değerleri hesaplanmıştır (Çiz. 3-4);

$$PPV = K \times (SD)^{-1,82} \quad (5)$$

$$SD = R / \sqrt{W} \quad (6)$$

PPV = Vibrasyon hızı (mm/sn)

SD = Ölçekli mesafe (m)

W = Gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı (kg)

R = Patlatma alanına olan uzaklık (m)

K = 1090

### 3.2.4 Tasarım Parametrelerin Belirlenmesi

Ofis çalışmaları kapsamında en dikkat edilmesi gereken konulardan biri de uygulamada kullanılacak olan delme-patlatma parametrelerinin ihtiyacı karşılayacak sonuçları elde edecek şekilde belirlenmesiydi. Kullanılacak parametrelerle yapılacak olan delme-patlatma çalışmaları, kazı hızını arttırırken atımların çevredeki unsurlar üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmamalıydı. Güvenliğin önde tutulduğu ama kazı hızını da düşünen bir tasarım yapılarak uygulamalar sırasında atım sonuçlarının değerlendirilmesi ve uygun revizyonların yapılması kararlaştırılmıştır. Delme işinin pratikliği, patlatmanın sarsıntı ve kaya fırlaması gibi olumsuz etkileri düşünülerek delik boyunun en fazla 7,50 m, en az 4,00 m olması uygun görülmüştür. Atım yapılacak

bölgenin risk derecesine göre 2 farklı tasarım parametreleri belirlenmiştir. Yüksek Gerilim Hattının altında veya Fırtına Havuzunun çok yakınında vb. risk düzeyi yüksek olan bölgelerde yapılacak atımlarda Risk Grubu-I Delme Patlatma Parametreleri (Çiz. 6) ile çalışılması, diğer bölgelerde ise Risk Grubu-II Delme Patlatma Parametreleri (Çiz. 7) ile çalışılması planlanmıştır (*Madser, Kasım 2015, sayfa 32-33*).

## 4 SAHA ÇALIŞMALARI

Tesis kazısı kapsamında yapılacak olan kontrollü patlatma uygulamalarına başlamadan önce yapılan tasarımların pratikte uygulanabilirliğini ve sonuçlarını görmek amacıyla denemeler yapılmasına karar verilmiştir. Ayrıca kazı işinde patlayıcıya alternatif olabilecek ürünlerin kullanıldığı bir deneme yapılmıştır.

Bu amaçla tesis alanı kazısında 1.derece risk bölgesinde patlatma yapılacakmış gibi 3 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. İlk 2 deneme patlayıcı madde ile 3.deneme ise piroteknik bir malzeme olan kaya kırıcı ürünü ile yapılmıştır.

### 4.1 Yapılan Denemelerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 4.1.1 Birinci Deneme

22.01.2016 tarihli deneme atımı en riskli bölge olan Yüksek Gerilim Hattı'nın (YGH) altında yapılacakmış gibi tasarlanmıştır. Bu denemede Çizelge 5' te belirtilen 1.derece risk grubu delme-patlatma parametrelerine uygun olarak 25 adet farklı boylarda delikler delinmiştir. Tasarıma uygun olarak şarjlanan deliklerin üstü patlatma örtüsü ile kapatılmıştır (Şek. 8-9).

## Çizelge 5. Delme-Patlatma Parametreleri

Parametreler	
Delik Çapı	: 89 mm
Delik durumu	: Kuru
Delik Sayısı	: 6 ad
Delik Boyu	: 5,65 m - 6,40 m
Sıkılama Mesafesi	: 4,0 m
Yük mesafesi	: 2.5 m
Delikler arası mesafe	: 2.5 m
Sıkılama	: 2.5 m
Şarj Boyu	: 1,65 m-2,40 m
Hacim	: $\approx 31,25 \text{ m}^3/\text{delik}$
Ana patlayıcı	: ANFO
Ana patlayıcı miktarı	: 8,25 kg-10,0 kg
Yemleme	: 0.5 kg
Ateşleme sistemi	: Elektriksiz Kapsül
Özgül Şarj	: $0,264 \text{ kg/m}^3$



Şekil 8. Patlatma Bölgesi

Bu denemede Şekil 8’de görüldüğü gibi 25 adet delik delinmiş fakat 6 deliğin patlatılmasına izin verilmiştir. Şarjlanan deliklerin üzeri 3 adet patlatma örtüsü ile kapatılmıştır (Şek. 9). Atım sonucunda herhangi bir kaya fırlaması olmamıştır.



Şekil 9. Patlatma Bölgesi

Bu denemede, I.derece risk grubu içinde yer alan Yüksek Gerilim Hattı direği için belirlenen sarsıntı limiti değeri olan 50 mm/s değerinin kontrolü için 3 ayrı noktadan ölçüm yapılmıştır. 1.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 172 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,955 mm/s, 2.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 293 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,143 mm/s, 3.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 263 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,55 mm/s olarak ölçülmüştür. Patlatma sonrası ölçülen sarsıntı değerleri belirlediğimiz 50 mm/s’lik üst limit değerinin çok altında gerçekleşmiştir.

### 4.1.2 İkinci Deneme

22.01.2016 tarihinde yapılan deneme için delinmiş 19 adet deliğin dolun işlemi Çizelge 5’de belirtilen tasarıma göre gerçekleştirilmiştir. Birinci denemeden farklı olarak deliklerin üzeri patlatma örtüsü ile kapatılmamış ancak ölçüm noktaları aynı kalmıştır. 1.ölçüm noktasında sarsıntı değeri 1,00 mm/s, 2.ölçüm noktasında sarsıntı değeri 0,696 mm/s ve 3.ölçüm noktasında sarsıntı değeri ise 1,10 mm/s olarak kaydedilmiştir. Her iki denemede de gecikme başına maksimum 10,5 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. Delik sayısının artmasına rağmen önceki denemede olduğu gibi ölçülen titreşim değerleri YGH direği için izin verilen 50 mm/s’lik üst limit değerinin çok altında kalmıştır.

Patlatma örtüsü kullanılmaksızın yapılan ikinci denemenin sonucu, kaya fırlaması ve sarsıntı açılarından oldukça başarılı olmuştur. Her iki deneme atımlarının uygulama pratiği



ve sonuçları değerlendirilmiş yapılan tasarımların uygulanabilirliği üzerinde fikir birliğine varılmıştır.

#### 4.1.3 Üçüncü Deneme

Bu deneme piroteknik bir ürün olan kaya kırıcı ile yapılmıştır. Bu ürünün temel özelliği uygun şartlar sağlandığında kayada çatlak oluşturmaktır. Patlayıcı maddeler gibi kayada bir öteleme işlemi yapamamaktadır. Ayrıca bu ürün ile çok sıralı atımlar gerçekleştirilememektedir.

İlk iki denemenin yapıldığı yerde 3 m derinliğinde, delikler arası mesafe 1,5m ve yük mesafesi 2 m olacak şekilde 10 adet delik delinmiştir. Her delik 0,5 kg'lık bir kartuş ile şarjlanmış ve 0-5 mm boyutunda nemli kum ile sıkılama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şek. 10). 10 adet delik birbirine seri olarak bağlanmış ve patlatılmıştır.

Yapılan bu deneme oldukça başarısız sonuçlanmıştır. Patlatılan alanın yüzeyinde herhangi bir kırılma, çatlak meydana gelmemiş, patlatma sonrası alanın kazılması esnasında yükleyici makinenin çalışma performansına herhangi bir katkı yapamamıştır.



Şekil 10. Kaya kırıcı ürünü

Sonuç olarak aynı formasyonda ve aynı yerde 3 farklı deneme yapılmış olup ilk iki deneme uygulama pratiği ve sonuçları açısından öngörülen şekilde gerçekleşmiştir. Ancak kaya kırıcı kullanılan 3. deneme başarısız sonuçlanmıştır.

Bu denemelerden sonra, hazırlanan raporda yer alan tasarım parametrelerine bağlı

kalınarak delme patlatmalı kazı işi yapılmasına karar verilmiş ve bu kapsamda denemeler ile birlikte toplam 33 adet kontrollü patlatma gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2 Kazı Hızını Arttırma Çalışmaları ve Elektronik Kapsül Kullanımı

Proje kapsamında patlatmalı kazı işleri devam ederken ateşleme sistemi olarak Elektriksiz Kapsül sistemleri kullanılmaktaydı. Ayrıca YGH'nın sağında ve solunda 15 m'lik bant içerisinde kalan bölge 1.risk grubunda tanımlanmış ve bu bölgede patlatma hasır kullanılmadan atım yapılmaması uygun görülmüştü. Ancak işe başlamadan önce yapılan deneme amaçlı delme-patlatma uygulamalarında patlatma hasırının vinç yardımıyla serilmesi ve toplanmasının zaman alıcı olduğu görülmüştür. Patlatma hasır kullanılarak 22.01.2016 tarihinde yapılan ilk deneme atımında, 3 m x 4 m boyutlarındaki 3 adet hasırın delikler üzerine serilmesi 30 dakikada yapılabilmektedir (*Madser, Şubat 2016, sayfa 4*). Bu durumda özellikle atımdan sonra gerekli kontrollerin yapılarak herhangi bir atım kesmesinin olmadığı ve tüm deliklerin patladığının tespit edilerek sahaya giriş izni verilmesi uzun zaman alacaktı. Patlatma hasır ile yapılan deneme patlatmaları sırasında bu durum anlaşılmış ve atımdan sonra sahada kazı çalışmalarının hemen başlayabilmesi için atım kesmesi riskinin olmadığı ve patlamama riskini kesin olarak önceden tespit edilebildiği ateşleme sistemi arayışına girilmiştir. Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak elektronik kapsüller gündeme gelmiştir. Bu kapsüllerin üreticileri davet edilerek detaylı bilgi alınmış kendilerine ihtiyacımız anlatılmıştır. Firma yetkilileri elektronik kapsüllerin kullanılmadan önce 3 kez (dolum sırasında, dolumdan sonra ve ateşleme cihazına bağlandıktan sonra) kontrol edildiğini ve herhangi bir arızalı kapsülün ya da bağlanmamış kapsülün tespit edilebildiğini uygulamalı olarak göstermiştir. Ayrıca elektronik kapsüllerin gecikmeleri delik içerisinde devam ettiğinden atım grubunda önce patlayan deliklerden fırlayan kaya parçalarının yüzey hattını kesmesi riski de ortadan kalkmaktaydı. Dolayısıyla YGH altında patlatma hasır kullanılan bölgede

yapılacak atımlarda elektronik kapsül kullanımına karar verilmiştir. Böylece elektronik kapsüllerin kullanıldığı atımlarda, patlatmadan hemen sonra sahaya giriş izni verilebilirdi. Bu durum önemli bir zaman kaybını önleyecekti. Tüm hazırlıklar yapıldıktan sonra YGH altında yapılan patlatmalarda elektronik kapsüller kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik kapsüller ile yapılan patlatmalar sırasında kaydedilen sarsıntı değerleri ile aynı mesafelerde elektriksiz kapsüllerin kullanıldığı atımlarda ölçülen sarsıntı değerleri karşılaştırılmış ve elektronik kapsüllerin kullanıldığı patlatmalarda ölçülen değerlerde anlamlı düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, 03.03.2016 tarihinde elektronik kapsül ile yapılan atım, 01.03.2016 tarihinde elektriksiz kapsüller ile yapılan atım ile aynı yerde aynı parametreler ile yapılmış ve gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarları ve ölçüm yapılan yerler sabit tutulmuştur. Bu iki atımın sonuçları karşılaştırıldığında, ölçülen titreşim değerleri açısından, ADR Tesisi-Siyanür Havuzlarının yakınındaki 1.ölçüm noktasında %52, herhangi bir madencilik unsuru bulunmayan 2.ölçüm noktasında %34 ve Fırtına Havuzu-Rom Pad yakınındaki 3. ölçüm noktasında ise %58 azalma söz konusu olmuştur (*Madser, March 2016*). Yazarların bu gözlemi bir rapor halinde işletme yetkilileri ile paylaşarak zaten pahalı ama ileri teknoloji bir ateşleme sistemi olan elektronik kapsüllerin ölçümlerle tespit edilen bu avantajından yararlanılabileceği görüşü kendilerine bildirilerek delik boyunun önce 7,50 m'den 10 m'ye daha sonra sonuçlarını değerlendirerek 12 m'ye çıkarılması önerilmiştir. Bu durumda birim zamanda devreye giren patlayıcı madde miktarının arttırılması da söz konusuydu. Firmanın izin vermesi ile delik boylarının kademeli olarak, önce en fazla 10 m'ye daha sonra en fazla 12 m'ye çıkarılması ve kazı hızının arttırılması hedeflenmiştir. 10 m'lik deliklerin kullanılması ile her atımda daha fazla hacim patlatılabilmiş ve aynı bölgede 2.kez delme patlatma işi yapılmasının önüne geçilmiştir. 10 m'lik deliklerin kullanıldığı atımların sarsıntı açısından herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı görüldükten sonra

delik boyunun en fazla 12 m'ye çıkarılmasına karar verilmiştir. 12 m boyundaki delikler ile yapılan atımlar sonucu kazı hızı artarken sarsıntı değerlerinin belirlenen limitlerin altında kaldığı görülmüştür.

## 5 SONUÇ

Söz konusu Altın Madeninde yapılmakta olan proses tesisi temel kazısı alanında ilk patlamalar 22.01.2016 tarihinde başlamış 13.05.2016 tarihinde son bulmuştur. Tesis alanında yapılan toplam kazı miktarı 208.717 m<sup>3</sup> olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam kazının %82'si (170.154 m<sup>3</sup>) kontrollü/sakinmalı patlatma tekniklerine uygun delme patlatma yöntemi ile yapılmış olup, kalan %18'lik bölüm ise (38.563 m<sup>3</sup>) kırıcı-ekskavatör yardımı ile yapılmıştır.

Proje kapsamında minimum 4 m, maksimum 12 m arasında değişen 4711 adet delik delinmiştir. Doldurulamayan ve/veya ekskavatör vasıtasıyla kazılarak alınan toplam delik sayısı 705 adet olup, toplamda 4006 adet delik belirlenen parametrelere göre şarjlanmış ve patlatılmıştır.

Delme patlatma ile kazı yapılacak bölgeler konumlarına ve çeşitli unsurlara olan uzaklıklarına göre 4 farklı bölgeye, risk gruplarına göre ise 2 farklı gruba ayrılmıştır. Her bölge için patlatmalardan etkilenmesi muhtemel unsurlar, bunlara olan mesafeler ve izin verilen en yüksek titreşim sınır değerleri belirlenmiştir.

I.derece risk bölgesinde, yapılan atımlarda gecikme başına en az 5 kg, en fazla 17,5 kg ANFO kullanılarak 17 adet patlatma yapılmıştır. II. derece risk bölgesi için gecikme başına izin verilen ANFO miktarı en az 5 kg, en fazla 20 kg olarak seçilmiş ancak delik boylarının arttırılmasından dolayı gecikme başına kullanılan ANFO miktarı en az 20 kg, en fazla 37,5 kg olarak revize edilmiştir. Bu risk grubunda toplam 16 adet patlatma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan 33 patlatmanın tamamında sabit 3 ayrı noktadan sarsıntı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ölçülen en yüksek ve en düşük sarsıntı değerleri şu şekilde gerçekleşmiştir:

- ADR Tesisi ve Siyanür Havuzlarının bulunduğu bölgede minimum 0,539 mm/sn, maksimum 6,98 mm/sn,
- Ofis binalarının bulunduğu bölgede minimum 0,648 mm/sn, maksimum 3,746 mm/sn,
- Fırtına Havuzu- Kırıcı Tesislerinin bulunduğu bölgede minimum 1,712 mm/sn, maksimum 23,19 mm/sn,

Kaya fırlaması modellemesi ve mesafeye bağlı titreşim analizi yapılmış ve bu çalışmaların sonuçları dikkate alınarak sakıncalı kontrollü patlatma tekniklerine uygun tasarım parametreleri oluşturulmuştur. Proje sahasında delme patlatma çalışmalarına başlamadan önce yapılan tasarım parametrelerinin kullanıldığı deneme atımları yapılmıştır. Bu denemeler sırasında patlatma örtüsünün kullanımı da test edilerek kazı hızına olası etkileri tartışılmıştır.

Başlangıçta sadece patlatma örtüsü kullanılan alanlarda (patlatma örtüsü kaldırılmadan) temiz sirenini (sahaya giriş işareti) verebilmek adına kullanımı düşünülen elektronik kapsüllerin MADSER'in önerisi ile tüm sahada kullanımı gündeme gelmiştir. Bu kapsüllerin tüm sahada kullanımı ile sarsıntı miktarı arttırılmadan daha derin patlatma delikleri ile çalışma imkânı bulunmuştur. Böylelikle delme patlatmalı kazı hacimleri belirlenen emniyetli sarsıntı limitleri aşılmaksızın arttırılmıştır. Ayrıca delik boylarının arttırılması ile bazı bölgelerde 2. kez delme-patlatma işi yapılmasına gerek kalmamıştır.

Elektronik kapsüllerin sağladığı faydalar sonucunda delik boyları kontrollü olarak arttırılmıştır. Böylece kazı hızı arttırılarak projedeki patlatmalı kazı işi planlanan termin süresinden 1 ay önce bitirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- AECOM, May 2011, Revised July 2011, *Evaluation of Blasting Excavation Proposed 5 MG Tank at Las Virgenes Reservoir*, page 12
- ISEE, 2011, *Blaster's Hand Book*, 18th Edition, Cleveland, Ohio, USA, 567 pages.
- MADSER, Kasım 2015. *Altın Maden İşletmesi Kontrollü Patlatma Uygulamaları ve Yakın Madencilik Unsurları Üzerindeki Etkileri*
- MADSER, Şubat 2016. *Proses Tesisi Temel Kazısı Kontrollü Patlatma Uygulamaları Kapsamında Gerçekleştirilen Deneme Patlatmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesine Ait Teknik Rapor*
- MADSER, Mart 2016. *Technical Report*. Page 3.
- Rorke, A.J., November 2011, *Blasting Impact Assessment for the proposed New Largo Colliery based on New Largo Mine Plan 6*, page 21
- Terrock Consulting Engineers, 2014, *Blasting Assessment*, URS Australia Pty Ltd, Crocodile Gold Corporation, page 48-53

Çizelge 3. Risk Grubu-I İçin Oluşturulan PPV Değerleri

Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı (kg)	Uzaklık (m)																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
5,50	22,04	10,54	6,24	4,16	2,98	2,25	1,77	1,43	1,18	0,99	0,85	0,73	0,64	0,56	0,50	0,45	0,40	0,37	0,33
8,00	31,00	14,82	8,78	5,85	4,20	3,17	2,49	2,01	1,66	1,39	1,19	1,03	0,90	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47
10,50	39,70	18,98	11,25	7,49	5,38	4,06	3,18	2,57	2,12	1,78	1,52	1,32	1,15	1,01	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60
15,50	56,59	27,06	16,03	10,68	7,66	5,79	4,54	3,66	3,02	2,54	2,17	1,88	1,64	1,45	1,29	1,15	1,04	0,94	0,86
18,00	64,84	31,00	18,36	12,23	8,78	6,63	4,56	4,20	3,47	2,91	2,49	2,15	1,88	1,66	1,47	1,32	1,19	1,08	0,98

Çizelge 4. Risk Grubu-II İçin Oluşturulan PPV Değerleri

Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı (kg)	Uzaklık (m)																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
8,00	31,00	14,82	8,78	5,85	4,20	3,17	2,49	2,01	1,66	1,39	1,19	1,03	0,90	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47
10,50	39,70	18,98	11,25	7,49	5,38	4,06	3,18	2,57	2,12	1,78	1,52	1,32	1,15	1,01	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60
15,50	56,59	27,06	16,03	10,68	7,66	5,79	4,54	3,66	3,02	2,54	2,17	1,88	1,64	1,45	1,29	1,15	1,04	0,94	0,86
18,00	64,84	31,00	18,36	12,23	8,78	6,63	5,20	4,20	3,47	2,91	2,49	2,15	1,88	1,66	1,47	1,32	1,19	1,08	0,98
20,50	72,99	34,89	16,68	13,77	7,66	7,47	5,85	4,72	3,90	3,28	2,80	2,42	2,11	1,86	1,66	1,48	1,34	1,21	1,10

Çizelge 6. Risk Grubu-I Delme Patlatma Parametreleri

PARAMETRE	BİRİMİ	AYNA YÜKSEKLİĞİ (m)				
		7	6,5	5,5	4,5	3,5
Dip Delgi	: m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Delik Boyu	: m	7,5	7	6	5	4
Sıklama Boyu	: m	4,00	4,00	4,00	3,50	3,00
Yük Mesafesi	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Delikler Arası Mesafe	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	: m <sup>3</sup>	43,8	40,6	34,4	28,1	21,9
<b>Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları</b>						
Ana Şarj (ANFO) miktarı	: kg	17,5	15	10	7,5	5
Yemleyici Miktarı	: kg	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kapsül Miktarı	: adet	1	1	1	1	1
<b>Birim Tüketimler</b>						
ANFO	: kg/m <sup>3</sup>	0,400	0,369	0,291	0,267	0,229
Yemleyici	: kg/m <sup>3</sup>	0,011	0,012	0,015	0,018	0,023
Kapsül	: ad/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Delgi	: m/m <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18

Çizelge 7. Risk Grubu-II Delme Patlatma Parametreleri

PARAMETRE	BİRİMİ	AYNA YÜKSEKLİĞİ (m)				
		7	6,5	5,5	4,5	3,5
Dip Delgi	: m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Delik Boyu	: m	7,5	7	6	5	4
Sıklama Boyu	: m	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50
Yük Mesafesi	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Delikler Arası Mesafe	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	: m <sup>3</sup>	43,8	40,6	34,4	28,1	21,9
<b>Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları</b>						
Ana Şarj (ANFO) miktarı	: kg	20	17,5	15	10	7,5
Yemleyici Miktarı	: kg	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kapsül Miktarı	: adet	1	1	1	1	1
<b>Birim Tüketimler</b>						
ANFO	: kg/m <sup>3</sup>	0,457	0,431	0,436	0,356	0,343
Yemleyici	: kg/m <sup>3</sup>	0,011	0,012	0,015	0,018	0,023
Kapsül	: ad/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Delgi	: m/m <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18