



**T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
ÇED İZİN VE DENETİM GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**PATLATMA TASARIMLARI VE PATLATMA KAYNAKLI
ÇEVRESEL ETKİLER KILAVUZU**

2018

DELME-PATLATMA TASARIMLARI KILAVUZU

.....Ruhsat/Eriřim Numaralı Hektar ve ton/yıl üretim kapasiteli
.....projesine ait Delme- Patlatma Tasarımı

I.1.

Parametreler:

Görünür rezerv miktarı	:..... ton
Proje Ömrü	:..... .yıl
Çalışma Süreleri	:.....ay.....gün.....saat
Vardiya	:..... vardiya
Basamak Yüksekliği	K:m
Ayna Uzunluğu	w: m
Delik Çapı	d: mm
Delik Açısı	: °
Patlayıcı Cinsi	: Yemleye Duyarlı Patlayıcılar (ANFO veya Suyu Dayanıklı Emülsiyon)
Şarjlama Koşulu	: Kuru delikler için

I.2. Patlatma Tasarımı (Olofsson Yöntemi)

Patlatma tasarımına, duraylılık (stabilite) analizinin izin verdiği basamak yüksekliği ve delik çapının seçimi ile başlanır, azami yük mesafesi saptandıktan sonra ile diğer parametrelerin hesabı ile devam edilir. Uygulamadan edinilen tecrübeler basamak yüksekliği (K), yük mesafesi (B) ve delik çapı (d) arasında önemli ve hayati oransal ilişkiler bulunduğunu ortaya koymuştur. Bunlar;

$B=25 - 40 d$ (yük mesafesi delik çapı "d" en az 22 katı, en çok 45 katı olmalıdır.

İnç birimi cinsinden delik çapı "d" biliniyorsa, yük mesafesi B metre cinsinden delik çapı kadar alınır ($B,m=d(\text{inç})$).

Yük mesafesi B basamak yüksekliği K'nin 5'te biri ile 2,5'ta biri arasında değişmelidir ($B=K/2,5-K/5$).

Olofsson esasen Langefors ve Kihlström yaklaşımını kullanmış olup, onların vermiş olduğu temel, ancak biraz karmaşık formülü kolay kullanılır ve basit üç ayrı formül haline getirmiştir. Bu basit formülleri, madende kullanılmak üzere seçilen patlayıcı cinsine ve kudretine (enerjisine) göre bir çarpım katsayısı ile seçilen delik çapında o patlayıcının dolum (şarj) yoğunluğunun (I_b , kg/m) karekökünün çarpımı şeklinde ifade etmiştir. Bu üç formül aşağıda verildiği gibidir ve **azami yük** (delik-ayna) **mesafesi** (B_{max}) hesabında kullanılır.

$$B_{\max} = 1.47 \sqrt{l_b} \text{ Dynamex M için}$$

$$B_{\max} = 1.45 \sqrt{l_b} \text{ Emulite 150 için}$$

$$B_{\max} = 1.36 \sqrt{l_b} \text{ ANFO için.}$$

İsveç'te üretilen ve nitro-gliserin içeren "Dynamex M" dinamiti ülkemizde MKE tarafından üretilen "jelatin" dinamite benzer ve yakın kudrete (enerjiye) sahip bir patlayıcı maddedir. Emulite 150 ise ülkemizde farklı ticari patlayıcı madde üreticisi şirketler tarafından üretilen yemlemeye duyarlı (kapsüle duyarsız) emülsiyon patlayıcı cinsidir. ANFO ise dünyanın her tarafında aynı kimyasal kompozisyonda üretilen yemlemeye duyarlı (kapsüle duyarsız) standart bir dökme patlayıcı karışımdır. Dolayısı ile bu formüller ülkemizde üretilen patlayıcı cinsleri için de kullanılabilir.

Dynamex M bir tür dinamit olduğundan genellikle yeraltı maden galeri ile tünel patlatmalarında, çapı 50 mm veya daha küçük deliklerde ve çapı 51 mm-102 mm arasında değişen deliklerde yeraltı madeni üretim (pano ya da katarası) patlatmalarında ana patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Dynamex M veya onun yerli eşdeğeri jelatin dinamit açık ocaklarda ve yerüstü patlatma uygulamalarında genellikle ana patlayıcı madde olarak kullanılmaz, yemleme olarak kullanılır. Benzer biçimde ülkemizde üretilen dinamit eşdeğeri, kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcılar da ana patlayıcı madde olarak sadece yeraltı patlatmalarında kullanılır, açık ocaklarda ise yemleme olarak kullanılır.

Buna karşın tüm dünyada olduğu gibi, açık maden ocaklarında ana patlayıcı madde olarak yemlemeye duyarlı (kapsüle duyarsız) dökme patlayıcılardan ANFO **kuru deliklerde**, emülsüyonlar ise **sulu deliklerde** kullanılır. Dolayısı ile yukarıda verilen üç formülden ikinci ve üçüncü formüller açık ocak patlatma tasarımı için kullanılabilir.

Olofsson'un söz ettiği bu üç tür patlayıcı maddenin dolum (şarj) yoğunlukları Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1. Değişik patlayıcı cinlerinin farklı delik çaplarında dolum (şarj) yoğunlukları, (l_b , kg/m)

Delik Çapı (mm)	51	64	76	89	102	127	152
ANFO, kg/m	1.6	2.6	3.6	5.0	6.5	10.1	14.5
Emulite 150 (plastik kartuş kesilip deliğe bırakılan), kg/m	2.3	3.7	5.0	7.1	9.3	—	—
Dökme emulite, kg/m	2.4	3.9	5.3	7.5	9.9	15.3	21.9
Dynamex M (Havalı şarj makinası veya ROBOT ile deliğe doldurulan), kg/m	2.6	4.0	5.6	7.8	10.2	—	—

Olofsson'un verdiği üç formülden ikincisi ve üçüncüsünü bir açık ocak basamak patlatması için azami yük mesafesi belirlemek için örneklendirelim. Madende kullanılacak delik çapı 89 mm ve delikler kuru ise fiyatı daha ucuz olduğundan olağan olarak ANFO ticari isimli patlayıcı madde seçilecektir. Bu durumda dolun yoğunluğu Tablo 1'den 89 mm çap için $I_b=5.0$ kg/m okunur. Azami yük mesafesi, üç numaralı formüle göre $B_{max}=1,36 \times \sqrt{5,0} = 1,36 \times 2,23=3,04$ m bulunur. Delikler sulu ise, ANFO suya dayanıksız ve suda çözünen bir patlayıcı olduğundan fiyatı daha pahalı olsa da yemlemeye duyarlı emülsiyon kullanılacaktır. Bu durumda Tablo 1'den plastik kartuşu çakı ile kesilip deliğe bırakılan Emülite 150 satırından 89 mm çap için $I_b=7.1$ kg/m okunur. Azami yük mesafesi, iki numaralı formüle göre $B_{max}=1,45 \times \sqrt{7,1} = 1,45 \times 2,66=3,86$ m hesaplanır.

Olofsson, patlatma tasarım yöntemini bazı kabullere dayandırmıştır. Bu kabuller;

1. Olofsson patlatma deliklerinin Şekil 1'de gösterildiği gibi eğimli delineceği ve delik eğiminin 3:1 olması gerektiği kabul etmektedir. Bir başka deyişle, delikler düşey 3 birim, yatay 1 birim olmak üzere eğimli delinecektir. Eğer delikler düşey (dik) veya 3:1'den farklı eğimde delinecekse, formülde R_1 düzeltme çarpanı kullanılmasını önermektedir. Olofsson'un verdiği R_1 düzeltme çarpanları farklı eğimler için Tablo 2'de sunulmuştur.
2. Olofsson birim hacimdeki kayayı parçalamak için gerekli olan en az birim patlayıcı miktarını kaya sabiti (*rock constant*) olarak adlandırmaktadır. Kaya sabiti esasında bir metreküp kayayı parçalamak için gerekli olan ve ülkemizde yaygın olarak "özgül şarj" tabir edilen bir parametredir. Olofsson İsveç'teki olağan koşullar için kaya sabitini 0,4 olarak kabul etmektedir. Eğer patlatma tasarımı yapılacak ocakta mevcut olan kaya daha düşük veya daha fazla birim patlayıcı miktarı gerektiriyorsa, bu durumu düzeltmek ve formülde kullanılmak için R_2 düzeltme faktörü kullanılmasını önermekte ve formüle eklemektedir.
3. Olofsson'un üçüncü kabulü, verimli bir patlatma için basamak yüksekliği (K), azami yük mesafesinin 2 katına eşit veya 2 katından büyük olmalıdır ($K \geq 2 \times B_{max}$). Bir başka deyişle, azami yük mesafesi basamak yüksekliğinin yarısına eşit veya yarısından az olmalıdır.

Tablo 2. Farklı delik eğim durumları için R_1 düzeltme faktörleri

Eğim ve Düzeltme Faktörü	Dik Delik	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1
R_1	0.95	0.96	0.98	1.00	1.03	1.10

Tablo 3. Farklı kaya sabitleri (katsayıları) için R_2 düzeltme faktörleri

c	0.3	0.4	0.5
R_2	1.15	1.00	0.90

Olofsson, R_1 ve R_2 düzeltme faktörlerini Langefors ve Kihlström formülünü basitleştirerek oluşturduğu ilk formüllerine yerleştirdiğinde, azami yük mesafesini hesaplamak için kullanılacak kendi formüllerini aşağıdaki şekilde vermektedir.

$$\begin{array}{ll} \text{Dynamex M için} & B_{\max} = 1.47 \sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{m}) \\ \text{Emulite 150 için} & B_{\max} = 1.45 \sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{m}) \\ \text{ANFO için} & B_{\max} = 1.36 \sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{m}) \end{array}$$

Yukarıdaki formüllerde:

l_b = Dolu (şarj) yoğunluğu, kg/m

R_1 = Delik eğiminin 3:1'den farklı olması halinde düzeltme faktörü

R_2 = Kaya katsayısının 0,4'den farklı olması halinde düzeltme faktörü

Azami yük mesafesi; seçilen delik çapı, delik çapına bağlı olarak delik dolu yoğunluğu (l_b , kg/m) Tablo 1'den, delik eğimi düzeltme faktörü (R_1) Tablo 2'den, 0,4 kg/m³'ten farklı kaya sabiti (özgül şarj) Tablo 3'ten bulunduktan sonra yukarıdaki formüller arasından kullanılan patlayıcı cinsi için verilen formül ile hesaplanır. Azami yük mesafesi (B_{\max}) hesaplandıktan sonra basamak patlatması tasarımı aşağıda verilen sıra ile devam eder.

Alt-delme ya da delik taban payı, $U=0,3 \times B_{\max}$,

Delik derinliği, (H), deliğin **dik** (düşey) delinmesi halinde basamak yüksekliği (K) ile alt-delme (U) toplamına eşittir, $H=K+U$.

Patlatma delikleri eğimli deliniyor ise eğim derecesine bağlı olarak delik derinliği (uzunluğu) artacaktır. Bu durumda delik derinliği (uzunluğu) hesabında K+U toplamının bir katsayı (**k**) ile çarpılması gereklidir. Delik eğimine bağlı olarak "**k**" katsayıları Tablo 4'te sunulmuştur. Bu durumda delik derinliği $H = k (K + U)$ formülü ile hesaplanır.

Tablo 4. Farklı delik eğim durumları için delik boyu hesabında kullanılacak "**k**" düzeltme faktörleri

Eğim ve Açısı	Dik (90°)	10/1 (84°)	5/1 (79°)	4/1 (76°)	3/1 (62°)	2/1 (63°)	1/1 (45°)
k	1.0	1.005	1.02	1.03	1.05	1.12	1.41

İyi ve başarılı bir patlatmanın önkoşulu, delikleri doğru yerde, uygun eğimde ve tasarımda öngörülen yük mesafesi ve delik ara mesafeleri sağlanacak biçimde düzenli delmektir. Bu nedenle delikler delinmeden önce delik yerleri, şerit metre kullanılarak ölçüm yapılmak sureti ile (tercihen spreyci boya ile boyanmış işaret taşları veya kazıkları ile işaretlenerek) belirlenmelidir. Buna rağmen uygulamada, delik ağzının işaretlenen yerden 10 cm geride, veya 5 cm önde veya 15 cm yan tarafta delinmesi mümkündür. Buna “**delik ağzı hata payı**” denir. Ayrıca delme esnasında delgi dizisinin, jeolojik sebeple veya operatör hatası nedeniyle sapması, deliğin istenen doğrultuda tam bir doğru çizgi oluşturacak biçimde delinememesi, bir başka deyişle az veya çok “**delik sapması**” oluşması kaçınılmazdır. Bu hataları telafi etmek ve başarılı bir patlatma gerçekleştirmek için “**delme hatası, (E)**” hesabı yapılmalı ve bu “delme hatası” azami yük mesafesinden düşülmelidir. Olofsson tarafından önerilen “delme hatası” formülü aşağıda verilmiştir.

Delme hatası aşağıdakilerden oluşur:

* Delik ağzı (matkap konumlandırma hatası) = d (in mm)

* Delik sapma hatası = 0.03 m/m

$$E = \frac{d}{1000} + 0.03 \times H \quad (\text{m})$$

Uygulanacak yük mesafesi hesabı formülü: $B = B_{\max} - E$

Delik aralığı (S):

Aynı sırada bulunan ya da aynı gecikmede patlayacak olan delikler arasında bulunması ve eşit olması gereken uzaklığa delik aralığı denir. İsveç'te uygulanan düzende delik aralığı, uygulama yük mesafesi 1,25 katsayısı ile çarpılarak belirlenir. Bu durumda delik aralığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

Delik aralığı, $S = 1,25 \times B$

Özgül delme (b):

Özgül delme, bir metreküp kaya parçalamak için kaç metre delik delinmesi gerektiğini belirler. Daha çok patlatılan birim klaya hacmi başına delik delme maliyetini hesaplamak için kullanılan bir parametredir. Patlatma tasarımı ile ve patlatmanın başarısı ile doğrudan ilişkisi olmayan bir parametredir. Özgül delme aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$b = \frac{H}{B \times S \times K} \quad (\text{m/cu.m})$$

Yukarıdaki formülde B x S x K çarpımı, metreküp birimi ile ifade edilen bir delikten elde edilen kaya hacmi (V_d) dir.

Olofsson deliğe patlayıcı maddenin, Şekil 1’de gösterildiği gibi “dip şarjı” ve “kolon şarjı” olarak iki bölüm halinde doldurulmasını (şarj edilmesini) kabul etmektedir. Bunun nedenini, deliğin dip tarafında kayanın daha sıkışık durumda ve parçalanmasının güç olduğu, bu karşın basamak orta ve üst bölümlerindeki kayanın daha serbest ve kolay parçalanabilir olması olarak açıklamaktadır. Bu gerekçe ile dip şarj uzunluğunun aşağıdaki formül ile hesaplanmasını önermektedir.

Dip şarj uzunluğu: $h_b = 1,3 \times B_{max}$

Bu durumda **dip şarj miktarı: $Q_b = I_b \times h_b$** formülü ile hesaplanır.

Olofsson, patlayıcı enerjisinin tümüyle kayaya yönlenebilmesi ve iyi bir parçalanma sağlanması, delik ağzından taş savrulması ve hava şoku oluşmasının önlenmesi için patlatma deliklerinin ağız kesiminin 4 mm-9 mm boyut aralığında kırmataş kullanılarak ve yeterli uzunlukta sıkılanmasını önermektedir. Sıkılama uzunluğunun (h_0), uygulama yük mesafesine eşit alınacağını ve **$h_0 = B$** formülü ile hesap edileceğini belirtmektedir.

Basamak orta ve üst bölümlerinde kayanın daha serbest ve kolay parçalanabilir olması gerekçesi ile kolon şarj yoğunluğunun düşük ve dip şarj yoğunluğunun yüzde ellisine eşit (veya $\%40-\%60 \times I_b$) alınmasının yeterli olacağını belirtmektedir. Bu durumda deliğin kolon bölümünde, delik dibine konulan patlayıcı maddeden daha zayıf (daha düşük enerjiye sahip) farklı bir patlayıcı madde kullanılması ya da delik dibine konulan aynı cins patlayıcı madde kolon bölümünde de kullanılacak ise daha az miktarda konulması gerekmektedir. Oysaki uygulamada delik dibinde de, kolon bölümünde de aynı cins ve kudrette patlayıcı kullanılmaktadır. Bu konu aşağıda “örnek tasarım”da ele alınacaktır.

Kolon şarj yoğunluğu: $I_c = \% 40-60 \times I_b$

Kolon şarj yüksekliği: $h_c = H - h_b - h_0$

Kolon şarjı miktarı: $Q_c = I_c \times h_c$

Toplam şarj miktarı, $Q_{top} = Q_b + Q_c$

Olofsson, birim hacim kaya parçalamak için kullanılan patlayıcı miktarını özgül şarj olarak tanımlamakta ve özgül delmeye benzer biçimde hesaplandığını söylemektedir.

Özgül şarj: $q = Q_{top} / B \times S \times K$

Yukarıdaki formülde $B \times S \times K$ çarpımı, metreküp birimi ile ifade edilen bir delikten elde edilen kaya hacmi (V_d) dir.

OLOFSSON FORMÜLLERİ İLE ÖRNEK PATLATMA TASARIMI

Veriler:

Kaya cinsi:	Kireçtaşı
Basamak yüksekliği, K =	10 m
Delik çapı :	d = 89 mm
Kaya sabiti :	c = 0,35
Delik eğimi :	5/1
Patlayıcı madde :	ANFO
Delik koşulu :	Kuru

1. Azami yük mesafesi, $B_{max} = 1,36 \sqrt{l_b R_1 R_2}$

Tablo 1'den 89 mm çap için ANFO satırından dolun yoğunluğu $l_b=5,0$ kg/m bulunur. Delik eğimi 5:1 için Tablo 2'den eğim düzeltme faktörü 0,98 olarak okunur. Tablo 3'ten 0,35 kaya sabiti için düzeltme faktörü orantılama yöntemi ile 1,075 olarak bulunur. Bu değerler yukarıda verilen formüle yerleştirilerek $B_{max} = 1,36 \times \sqrt{5,0 \times 0,98 \times 1,075} = 3,20$ m hesaplanır.

2. Alt delme, $U=0,3 \times B_{max} = 0,3 \times 3,20 = 0,96$ m

3. Delik Derinliği, $H = k (K + U)$

5/1 delik eğimi için delik boyu hesabında kullanılacak "k" düzeltme faktörü Tablo 4'ten 1,02 olarak okunur ve diğer parametrelerle birlikte formüle yerleştirilir ve 5/1 eğimli delik derinliği (uzunluğu) $H = 1,02 (10 + 0,96) = 11,18$ m hesaplanır.

4. Delme hatası, $E = (d/1000) + 0,03 \times H$

89 mm delik çapı ve 11,18 m delik uzunluğu formüle yerleştirilerek $E=(89/1000)+0,03 \times 11,18=0,42$ m hesaplanır.

5. Uygulama delik aralığı, $S = 1,25 \times B = 1,25 \times 2,80 = 3,50$ m hesaplanır.

6. Bir delikten elde edilecek kaya hacmi, $V_d = B \times S \times K$

$$V_d = 2,80m \times 3,5m \times 10m = 98 \text{ m}^3 \text{ hesaplanır.}$$

7. Özgül delme, $b = H / B \times S \times K = H / V_d = 11,18 \text{ m} / 98 \text{ m}^3 = 0,114 \text{ m/m}^3$ bulunur.

8. Dip şarj uzunluğu, $h_b = 1,3 \times B_{max} = 1,3 \times 3,20 \text{ m} = 4,16 \text{ m}$ hesaplanır.

9. Dip şarj miktarı, $Q_b = l_b \times h_b = 5,0 \text{ kg/m} \times 4,16 \text{ m} = 20,8 \text{ kg}$ hesaplanır.

10. Sıkılama uzunluğu, $h_0 = B = 2,80 \text{ m}$ bulunur.

11. Kolon şarj dolun yoğunluğu, $l_c = \% 40-60 \times l_b$

Olofsson, dip şarj yoğunluğunun yaklaşık %50'sini önermektedir. Buna göre $l_c = 0,5 \times 5,0 = 2,5$ kg/m olarak hesaplanır. Bununla birlikte ülkemizde, dünyada da olduğu gibi, kolonda da dipte uygulanan patlayıcı cinsi ve dip şarj yoğunluğu uygulanmaktadır. Bu nedenle, $l_c = l_b = 5,0$ kg/m alalım.

12. Kolon şarj yüksekliği, $h_c = H - h_b - h_0 = 11,18 - 4,16 - 2,80 = 4,22 \text{ m}$ bulunur.

13. **Kolon şarj miktarı, $Q_c = l_c \times h_c = 5,0 \text{ kg/m} \times 4,22 \text{ m} = 21,10 \text{ kg}$** hesaplanır.
14. **Toplam şarj miktarı, $Q_{top} = Q_b + Q_c = 20,8 \text{ kg} + 21,10 \text{ kg} = 41,90 \text{ kg}$** bulunur.
15. **Özgül şarj, $q = Q_{top} / B \times S \times K$**

$q = Q_{top} / B \times S \times K = Q_{top} / V_d = 41,90 \text{ kg} / 98 \text{ m}^3 = 0,427 \text{ kg/m}^3$ hesaplanır. Bu değer öngörülen kaya sabiti $0,35 \text{ kg/m}^3$ 'den yüksektir. Aşırı ince parçalanma ve parçalanmış kitlenin fazla ileri hareketine hatta basamak aynasından (ön yüzünden) ocak içine doğru taş savrulması benzeri fazla ötelemeye yol açabilir. Eğer ince parça boyutu isteniyor ve taş savrulması sorunu bulunmuyorsa $0,427 \text{ kg/m}^3$ değeri kabul edilebilir. Ülkemizdeki kireçtaşları için özgül şarj değerinin $0,30 - 0,35 \text{ kg/m}^3$ aralığında değiştiği ve makul düzeyde parçalanma için yeterli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle eğer yukarıda hesaplanan $0,427 \text{ kg/m}^3$ değeri, öngörülen kaya sabiti değeri olan $0,35$ değerine yaklaştırılmak istenirse, aşağıdaki gibi bir düzeltme yapılabilir.

Düzeltilme için bir delikten alınacak kaya hacmini artırmak, bir başka deyişle uygulama yük mesafesi ve uygulama delik aralığını %7 dolayında artırmak gereklidir. Buna göre $B = 1,07 \times 2,80 \text{ m} = 3,0 \text{ m}$; $S = 1,25 \times 3,0 \text{ m} = 3,75 \text{ m}$ alınabilir. Bu durumda bir delikten elde edilecek kaya hacmi;

$V_d = B \times S \times K = 3,0 \text{ m} \times 3,75 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 112,5 \text{ m}^3$ hesaplanır. Buna göre özgül şarj hesaplandığında $q = Q_{top} / V_d = 41,90 \text{ kg} / 112,50 \text{ m}^3 = 0,372 \text{ kg/m}^3$ bulunur. Hesaplanan bu değer öngörülen $0,35$ kaya sabiti değerine yakın ve makul bir değerdir.

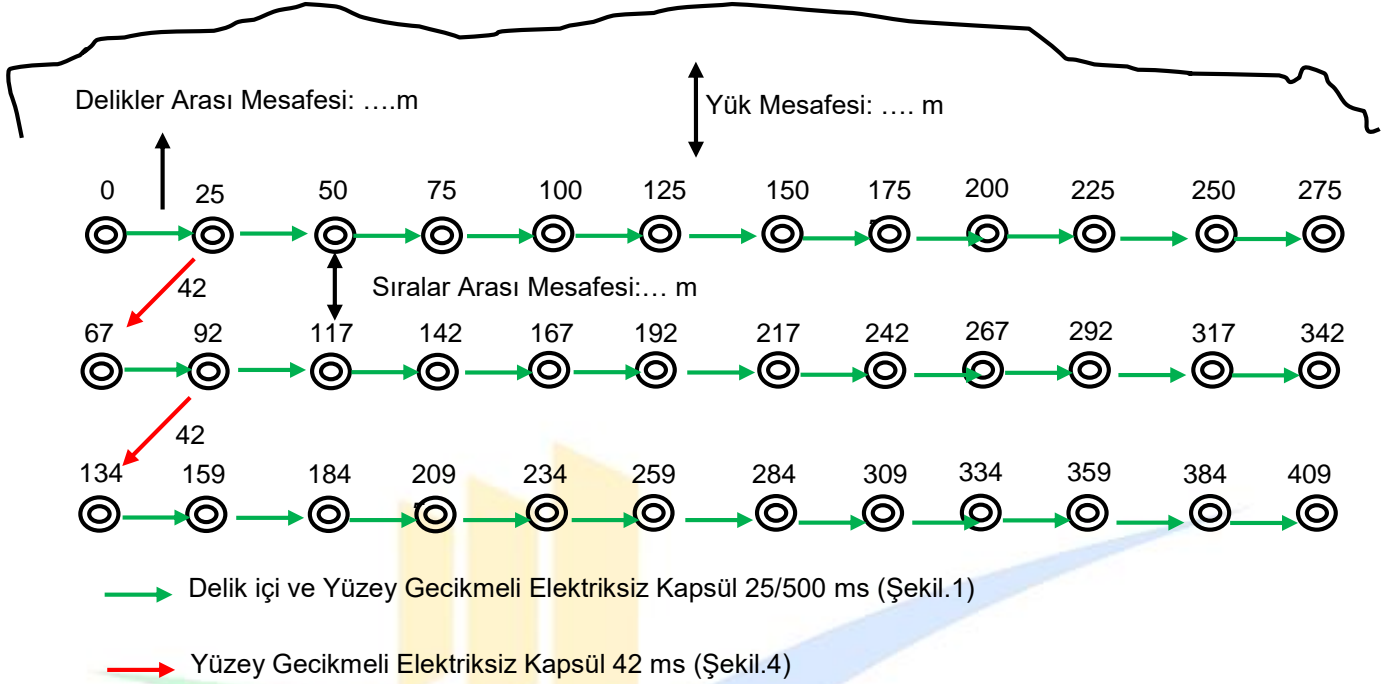
..... İLİ İLÇESİMEVKİİ DAHİLİNDE
 RUHSAT (İ.R....) NUMARALI SAHASINA AİT
 PATLATMA DİZAYN PARAMETRELERİ

PARAMETRELER		Mevcut durum	Talep edilen	Birim
Formasyon	:			
Kayaç Yoğunluğu	:			kg/m ³
Sıkılama Malzemesi	:			cinsi (kırma taş vb.)
Yıllık Çalışma Süreleri	:			gün/yıl
Yıllık Üretim Miktarı	:			ton/yıl
Aylık Üretim Miktarı	:			ton/gün
Aylık Üretim Miktarı	:			m ³ /gün
Günlük Üretim Miktarı	:			ton/gün
Günlük Üretim Miktarı	:			m ³ /gün
Kaç günde bir patlatma yapacağı	:			gün
Aylık Patlatma Sayısı	:			adet
Yıllık Patlatma Sayısı	:			adet
Bir Atımdaki Üretim	:			m ³ /atım
Bir Atımdaki Delinmesi Gereken Delik Sayısı				
Delik Sayısı				adet/atım
Delik Paterni	:			
Delik Çapı	:			mm
Delik Eğimi	:			°
Basamak Boyu	:			m
Dip Delgi	:			m
Delik Boyu	:			m
Sıkılama Boyu	:			m
Yük Mesafesi	:			m
Delikler Arası Mesafe	:			m
Bir delikteki yüzey/delik içi gecikme süreleri	:			ms
Sıralar Arası Gecikme Süresi	:			ms

Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	:			m ³
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	:			ton
Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları				
Ana Şarj (ANFO) Miktarı	:			kg
Yemleyici (Dinamit) Miktarı	:			kg
Elektriksiz Kapsül Miktarı	:			adet
Bir delikteki toplam patlayıcı madde miktarı	:			kg
Bir Atımdaki Tüketimler				
ANFO	:			kg/atım
Dinamit	:			kg/atım
Elektriksiz Kapsül	:			adet/atım
Elektrikli Kapsül	:			adet/atım
Sıralar Arası Gecikme Kapsülü	:			adet/atım
Fitil (sadece ön kesme uygulamaları için)	:			m/atım
Projenin Toplam Patlayıcı Madde Miktarları				
ANFO	:			kg/yıl
Dinamit	:			kg/yıl
Elektriksiz Kapsül	:			adet/yıl
Elektrikli Kapsül	:			adet/yıl
Sıralar Arası Gecikme Kapsülü	:			adet/yıl
Fitil (sadece ön kesme uygulamaları için)	:			m/yıl

Not: Patlatmalar sırasında riskli bölgelerde sarsıntı (vibrasyon) ölçümleri yapılarak sonuçlar kayıt altına alınacaktır.

ATIM YÖNÜ (SERBEST YÜZEY)



Şekil 1. Örnek Bağlantı Şekli (Bağlantı şeklinin proje için örnekteki gibi çizilerek gösterilmesi gerekmektedir)

YER TİTREŞİMİ TAHMİN FORMÜLLERİ VE ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Bu bölüm Uluslararası Patlayıcı Mühendisleri Derneği (International Society of Blasting Engineers) tarafından 18. Basımı yapılmış bulunan Patlatma El Kitabı (Blasters' Handbook) isimli kitaptan yararlanarak hazırlanmıştır. Gerek ABD ve gerekse diğer ülkelerde yapılmış binlerce ölçüm, izleme ve istatistiki analiz sonucunda patlatma kaynaklı yer titreşimi tahmin formülünün genel formu sözü edilen Patlatma El Kitabında aşağıda sunulan formül şeklinde verilmektedir.

$$PPV = k \times (D/\sqrt{W})^{-\beta}$$

Bu formülde;

PPV : Tahmin edilecek olan (veya ölçülen) en yüksek (tepe) titreşim seviyesidir. Birimi metrik sistemde mm/s (milimetrebölü saniye)'dir. PPV kısaltması İngilizce tanım (**Peak Particle Velocity**) sözcüklerinin baş harflerinden oluşmaktadır.

k : Patlatma sonucu oluşan ses (sismik) dalgaların inceleme konusu zeminde yayılması ile ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı, herhangi bir maden işletmesinde yapılacak çok sayıda (örneğin 20 veya 30 adet) titreşim ölçümü sonucunda ölçülen PPV değeri ile ölçülen mesafe ve uygulamada anlık (gecikme başına) patlayan patlayıcı madde miktarını esas alan istatistik analiz sonucunda, o madendeki zemin koşulları için geçerli bir katsayı olarak saptanır. İstatistik analiz ile çizilen logaritmik grafikte, saptanan doğrunun y-eksenini kestiği değer "**k**" katsayısını verir.

D : Patlatma noktası ile söz konusu inceleme noktası (veya ölçüm noktası veya hasar görmesi olası ve incelenen yapı) arasındaki fiziki uzaklık olup, metrik sistemde birimi metre'dir. D sembolü İngilizce tanım (**D**istance) sözcüğünün baş harfidir.

W : Patlatma yapılan madende anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı madde miktarı olup, metrik sistemde birimi kilogram (kg) dır. Formüle yerleştirilirken **karekökü** alınır. W sembolü İngilizce tanım (**W**eight) sözcüğünün baş harfidir.

β: İstatistik analiz sonucu saptanan doğrunun eğimidir. Patlatma sonucu oluşan ses (sismik) dalgaların inceleme konusu zeminde sönümlenmesi ile ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı, herhangi bir maden işletmesinde yapılacak çok sayıda (örneğin 20 veya 30 adet) titreşim ölçümü sonucunda ölçülen PPV değeri ile ölçülen mesafe ve uygulamada anlık (gecikme başına) patlayan patlayıcı madde miktarını esas alan istatistik analiz sonucunda, o madendeki zemin koşulları için geçerli bir katsayı olarak saptanır.

Ölçekli mesafe (**Scaled Distance**) tanımı, fiziki mesafe (**D**)'nin uygulamada anlık patlatılan miktar (**W**)'ın **kareköküne** bölümü ile elde edilir. Kısaca **SD** (İngilizce tanımının baş harfleri ile) sembolü ile ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$SD=D/\sqrt{W}$$

Bir örnek ile açıklamak gerekirse, uygulamada anlık olarak (gecikme başına) 25 kg patlatılıyor ve patlatma noktası ile inceleme konusu bina arasındaki uzaklık 200 m ise; $SD= 200/\sqrt{25} = 40$ olarak bulunur.

ABD'nde, şimdi lağvedilmiş olan Birleşik Devletler Maden Genel Müdürlüğü (USBM) ve halen faal olan Açık Ocak Madencilik Rehabilitasyon ve Denetim Ofisi (OSMRE) tarafından yapılan veya yaptırılan veya yararlanılan çok sayıda titreşim ölçüm sonuçlarının analizi sonucunda bazı madencilik türleri ve patlatma yapılan işkollarında geçerli, yer titreşimi tahmin formülleri *Blasters' Handbook* isimli kitapta verilmiş olup; aşağıda Tablo 5'te sunulmuştur. Burada verilen formüller **metrik** ölçü sistemi için geçerlidir. Çünkü formüllerde yer alan “**k**” ve “**β**” katsayıları metrik sisteme göre uyarlanmıştır.

Bazı örnekler vererek Tablo 5'te sunulan eşitliklerin, yer titreşim hızı tahmini için kullanımını açıklayalım. Patlatma yeri ile inceleme altındaki bir bina arasındaki fiziki uzaklığı $D=100$ m alalım. Anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı madde miktarını $W=38$ kg kabul edelim. Bu durumda ölçekli mesafe, $SD = 100 \text{ m} / \sqrt{38} \text{ kg} = 16,2221$ olacaktır.

Bu patlatmanın **herhangi bir yerde** yapıldığı varsayılır ise, Tablo 5 ilk satırında yer alan “Genel” formül kullanılacaktır. Bu formül $PPV = 1140 \times SD^{-1,6}$ şeklindedir. $k=1140$, $\beta=-1,6$ 'dır. SD , k ve β değerleri formüle yerleştirildiğinde $PPV = 1140 \times (16,2221)^{-1,6} = 13,20 \text{ mm/s}$ bulunur.

Bu patlatmanın herhangi bir yerde değil de bir baraj inşaatı (otoyol veya bina temel kazısı inşaatı) işyerinde yapıldığı ve titreşim hızının en yüksek değerinin ne olabileceği sorusuna cevap arandığında Tablo 5, 3. Satırda verilen $PPV = 1730 \times SD^{-1,6}$ formülü kullanılacaktır. Bu durumda, değerler formüle yerleştirildiğinde $PPV = 1730 \times (16,2221)^{-1,6} = 20,04 \text{ mm/s}$ bulunur. Bu eşik (kozmetik) hasar tehlikesi giderilmek istenirse anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı miktarını düşürmek gerekir.

Patlatma yerinden 100 m uzaklıkta bulunan bina içindeki kişilerin rahatsız olmaması için ABD Federal Tüzüğü günde bir patlatma yapılıyor ise 12,70 mm/s; günde iki ile on iki adet arasında patlatma yapılıyor ise 6,35 mm/s titreşim hızının bina zemininde aşılması şartını koymuştur. Aşılması gereken titreşim hızı PPV=12,70 mm/s, patlatma yeri ile bina arasındaki uzaklık D=100 m alınırsa, aşağıda verilen formül ile anlık patlatılabilecek güvenli patlayıcı miktarını bulmak mümkündür.

$$W = \left[\frac{D}{\left(\left(\frac{PPV}{1730} \right)^{1/-1,6} \right)} \right]^2$$

D=100 m uzaklık ve aşılması gereken PPV=12,70 mm/s değerlerini formüle yerleştirdiğimizde

$$W = \left[\frac{100}{\left(\left(\frac{12.70}{1730} \right)^{1/-1,6} \right)} \right]^2 = 21,48 \text{ kg bulunur}$$

Bir başka deyişle, anlık patlatılan miktar 21 kg'ı olduğu takdirde 12,70 mm/s hız sınırı aşılmaz.

Tablo 5. Farklı madencilik türleri ve patlatma yapılan işkolları için geçerli titreşim tahmin formülleri

PATLATMA TÜRÜ	METRİK FORMÜL, mm/sec	GÜVENİRLİK DERECESİ	KAYNAK
Genel	$P = 1140 \times SD^{-1.6}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)	Dupont
İnşaat	$P = 173 \times SD^{-1.6}$	Alt sınır eşitliği (%50'den az güvenilirlik)	Oriard
İnşaat	$P = 1730 \times SD^{-1.6}$	Üst sınır eşitliği %95 güvenilirlik)	Oriard (2005)
İnşaat	$P = 4320 \times SD^{-1.6}$	Üst sınır- yüksek hapsedme/patlayıcı fazla gömülmüş (%95 güvenilirlik)	Oriard (2005)
İnşaat	$P = 53 \times SD^{-1.09}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)	USBM RI 8507
Taş ocağı	$P = 1090 \times SD^{-1.82}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)	USBM Bülten 656
Kömür madeni	$P = 905 \times SD^{-1.52}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)	USBM RI 8507
Kömür madeni	$P = 3330 \times SD^{-1.52}$	Üst sınır eşitliği (%95 güvenilirlik)	USBM RI 8507
Kömür (düşük frekanslı sahalar)	$P = 1252 \times SD^{-1.31}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)	USBM RI 9226

Başka bir patlatmanın düşük frekansa sahip dalgaların olduğu bir kömür madeninde yapıldığını, anlık patlatılacak miktarın $W=100$ kg ve patlatma yapılacak yer ile en yakın köy evi arasındaki fiziki uzaklığın 800 m olduğunu kabul edelim. Bu durumda ölçekli mesafe $SD = 800 / \sqrt{100} = 80$ hesap edilir. Düşük frekanslı sismik dalgalar için Tablo 5 son satırındaki formül kullanılacaktır. Değerleri formüle yerleştirdiğimizde $PPV = 1252 \times (80)^{-1,31} = 4,02$ mm/s bulunur. Ülkemiz yönetmeliği 1 Hz frekansa sahip dalgalar için 5 mm/s titreşim hızının aşılması şartını getirdiğinden ve hesaplanan 4,02 mm/s değeri yönetmeliğin izin verdiği değerden düşük olduğundan köydeki binada eşik düzeyde hasar oluşmayacağı anlaşılır.

04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış ve halen yürürlükte olan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” Madde.25 aşağıda aynen verilmiştir.

“Yapılarda çevresel titreşim kriterleri

MADDE 25 – (1) Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

“Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII’de yer alan Tablo-6’da verilen sınır değerleri aşamaz.”

Yönetmelik Ek-VII’de yer verilen Tablo-6 aşağıda sunulmuştur.

Ek-VII, Tablo–6: Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s’den 19 mm/s’ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s’den 50 mm/s’ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)”

Tablo-6’nın altında sözel olarak ifade edilen logaritmik grafik çizilmiş ve Tablo-6’da verilen frekanslar dışındaki değişik sismik dalga frekansları için yer titreşim hızı tepe (en yüksek) değerinin kaç mm/s değerini aşmaması gerektiği hesaplanmış ve Tablo 7’de sunulmuştur.

Elbette Tablo'7'ye göre değerlendirme yapabilmek için, inceleme konusu maden işletmesinde titreşim ölçümü yapılmış, sismik dalgalar kaydedilmiş ve incelenmiş, sismik dalganın hakim (baskın) frekansı tespit edilmiş olması gerekir.

“Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” Madde 25 sadece hassas kullanımlardan söz etmekte ve bunlar için aşılmaması gereken üst sınır değerleri vermektedir. Hassas kullanımlar; konut, okul, hastahane, kütüphane, ibadethane vb. yapılardır. Ancak yönetmelik, bina içinde bulunan kişilerin titreşimden rahatsız olmaması için üst sınır değer vermemektedir. Bu konuda ABD Federal Tüzüğünde yer verilen günde bir patlatma için 12,70 mm/s, günde iki ile oniki adet arasında patlatma yapılması halinde 6,35 mm/s üst sınır değer aşılmaması ve kişilerin rahatsız olmaması için ölçüt (kıstas) olarak önerilir.

Patlatma sonucu oluşan tipik sismik dalga formu örnekleri Şekil 2'de verilmiştir (Siskind, 2000). Bir doğal taş (agrega) ocağında yapılan bir patlatmanın kaydı örnek olarak Şekil 3'te; bu ocak patlatmaları için hesaplanmış ölçekli mesafe değerleri ve ölçülen titreşim hızı değerlerini dikkate alarak çizilen ve bu sahada titreşim dalgalarının sönümlenme formülünü veren logaritmik grafik Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo 7. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VII, Tablo-6 altında yer verilen sözel ifade uyarınca hesaplanmış ve Tablo-6'da belirtilenden farklı dalga frekansları için izin verilen (aşılmaması gereken) üst sınır zemin titreşim hızları

Sismik Dalga Hakim Frekansı, Hz	Bina Zemininde İzin Verilen Yer Titreşim Hızı, mm/s
1,0	5,00
1,5	6,95
2,0	9,35
2,5	11,60
3,0	13,86
3,5	16,40
4-10	19,00
12	24,10
14	26,00
16	29,85
18	32,35
20	35,05
25	42,90
30 – 100	50,00

HAVA ŞOKU TAHMİN FORMÜLLERİ VE ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Patlatma sonucu oluşan ve atmosferde ilerleyen basınç (ses) dalgaları normal hava basıncından daha yüksek basınç oluşturur, bu nedenle hava şoku (*air-blast*) olarak adlandırılır. Havada oluşan basınç dalgaları havada önce bir sıkıştırma (pozitif basınç) oluşturur, bunu bir çekme (negatif basınç) etkisi takip eder. Hava adeta bir akordiyon (müzik aleti) gibi sıkıştırılıp, çekiştirilir.

Bu bölüm Uluslararası Patlayıcı Mühendisleri Derneği (International Society of Blasting Engineers) tarafından 18. Basımı yapılmış bulunan Patlatma El Kitabı (Blasters' Handbook) isimli kitaptan yararlanarak hazırlanmıştır. Gerek ABD ve gerekse diğer ülkelerde yapılmış binlerce ölçüm, izleme ve istatistik sonucunda patlatma kaynaklı hava şoku tahmin formülünün genel formu aşağıda sunulan formül şeklinde verilmektedir.

$$P = k \times (D/W^{1/3})^{-\beta}$$

Bu formülde;

P : Tahmin edilecek olan (veya ölçülen) en yüksek (tepe) hava şoku (hava basıncı) seviyesidir. Hava şoku (ya da hava yüksek basıncı), bir basınç birimi olan **Paskal** (sembolü, **Pa** veya **N/m²**), veya diğer başka basınç birimleri olan **milibar** (sembolü, **mb**) veya libre/inçkare (**psi**) ile ifade edilir. P kısaltması İngilizce tanım (**P**ressure) sözcüğünün baş harfinden oluşmaktadır.

Patlatma kaynaklı yüksek hava basıncı; **ses eşdeğeri** olarak **desibel** birimi ve **dB** sembolü ile de ifade edilebilir. Ses eşdeğeri **desibel** cinsinden, patlatma sırasında ölçülmüş yüksek basınç, P'nin, patlatma öncesinde ölçülmüş normal hava basıncı, P₀ 'a, oranının logaritmasının 20 ile çarpımı şeklinde ve aşağıda sunulan formül ile hesaplanabilir.

$$P_s = 20 \times \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Milibar cinsinden ölçülmüş hava şoku değerini desibele çevirmek için **SPL_{dB} = 20 x Log P_{mb} + 134,1**

Paskal cinsinden ölçülmüş hava şoku değerini desibele çevirmek için **SPL_{dB} = 20 x Log P_{N/m²} + 94** formüllerinden yararlanılabilir (Siskind, 2000). Esasen patlatma titreşimleri ve hava şokunu ölçmek için özel tasarlanmış ve üretilmiş cihazlar, kullanıcının isteği doğrultusunda hava şoku yüksek basıncını doğrudan ya **Pa** veya **dB** cinsinden verirler. Kullanıcıya sadece cihazın sorduğu seçeneği seçmek kalır. Örneğin sayfa 58'de

sunulan kayıta “tepe ses basıncı düzeyi” (PSPL) 122,1 desibel (dB) olarak ölçülmüş bulunmaktadır. Bu bakımdan patlatma uygulamaları için özel olarak tasarlanmamış cihaz kullanılmaması önerilir.

k : Patlatma sonucu oluşan sonik basınç dalgalarının inceleme konusu yerde havada (atmosferde) yayılması ile ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı, herhangi bir maden işletmesinde yapılacak çok sayıda (örneğin 20 veya 30 adet) hava şoku ölçümü sonucunda ölçülen P değeri ile ölçülen mesafe ve uygulamada anlık (gecikme başına) patlayan patlayıcı madde miktarını (küpçük ölçekli mesafeyi) esas alan istatistik analiz sonucunda çizilen logaritmik grafik ile o madendeki patlatma ve hava koşulları için geçerli bir katsayı olarak saptanır. İstatistik analiz ile çizilen logaritmik grafikte saptanan doğrunun y-eksenini kestiği değer “**k**” katsayısını verir.

D : Patlatma noktası ile sözkonusu inceleme noktası (veya ölçüm noktası veya cam kırılması biçiminde veya sıva çatlağı vb. biçimde hasar görmesi olası yapı) arasındaki fiziki uzaklık olup, metrik sistemde birimi **metre (m)**'dir. **D** sembolü İngilizce tanım (**Distance**) sözcüğünün baş harfidir.

W : Patlatma yapılan madende anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı madde miktarı olup, metrik sistemde birimi **kilogram (kg)** dır. Formüle yerleştirilirken **küpçükü** alınır. **W** sembolü İngilizce tanım (**Weight**) sözcüğünün baş harfidir.

β : İstatistik analiz sonucu saptanan doğrunun eğimidir. Patlatma sonucu oluşan sonik dalgaların (ses dalgalarının) inceleme konusu ocak atmosferinde sönümlenmesi ile ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı, herhangi bir maden işletmesinde yapılacak patlatmalar sırasında çok sayıda (örneğin 20 veya 30 adet) ölçülen basınç (P) değerleri ile ölçülen mesafe ve uygulamada anlık (gecikme başına) patlayan patlayıcı madde miktarını esas alarak hesaplanan ölçekli mesafe değerleri arasında gerçekleştirilen istatistik analiz sonucunda, o madendeki patlatma ve hava koşulları için geçerli bir katsayı olarak saptanır.

Ölçekli mesafe (**Scaled Distance, SD**) tanımı, fiziki mesafe (**D**)'nin uygulamada anlık patlatılan miktar (**W**)'ın **küpçüküne** bölümü ile elde edilir. Kısaca **SD** (İngilizce tanımının baş harfleri ile) sembolü ile ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$SD=D/W^{1/3}$$

Dikkat edilirse; titreşim hesabında anlık miktarın (W) karekökü, **hava şoku** hesabında ise **küpçükü** alınmaktadır. Bu husus önemlidir ve dikkat edilmelidir.

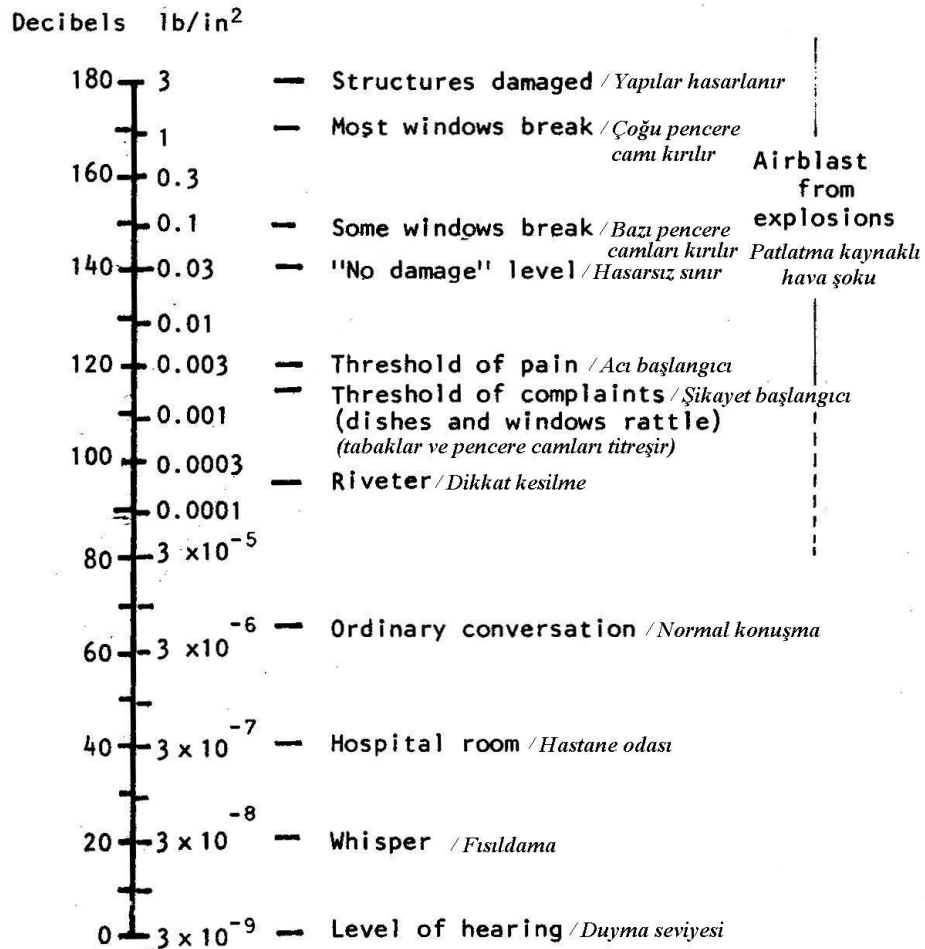
Bir örnek ile açıklamak gerekirse, uygulamada anlık olarak (gecikme başına) 25 kg patlatılıyor ve patlatma noktası ile inceleme konusu yer arasındaki uzaklık 200 m ise; $200 / 25^{0,3333} = 68,40$ olarak bulunur.

Patlatma gürültüsünün düşük frekans içeriğinin güçlü olması, patlatma gürültüsünün bir kaç saniye (beş dakikadan çok daha kısa süre) içinde sona ermesi ve yönetmelikte tanımlanan 12 saatlik toplam gündüz süresi içinde % 20'den daha az süreli olması dikkate alınarak, gürültü değerlendirmesinde L cetvelinin ve ABD Tüzüğünde verilen sınır değerlerin esas alınması bilimsel ve teknik esaslara ve yönetmeliğe uygun bulunmuş ve önerilmektedir.

Tablo 8. ABD Federal Tüzüğünde cihazın düşük frekansları ölçme kabiliyetine bağlı olarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri

Ölçüm sisteminin düşük frekans limiti (Hz)	Azami gürültü seviyesi (dB)
2 Hz veya daha düşük	En yüksek 133
6 Hz'den düşük (2 Hz'e kadar)	En yüksek 129

Diğer taraftan L ağırlıklı olarak ölçülen patlatma kaynaklı hava şoku hangi düzeye ulaştığında ne tür etkiler yarattığı da literatürde verilmekte (Hoek ve Bray, 1981) olup, Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6 Gürültünün (ses dalgalarının) farklı seviyelerine insanların ve yapıların tepkileri (Hoek ve Bray, 1981)

Hava şoku tahmininde kullanılan formüller Blasters' Handbook isimli kitapta verilmiş olup; aşağıda Tablo 9'da sunulmuştur. Burada verilen formüller **metrik** ölçü sistemi için geçerlidir. Çünkü formüllerde yer alan "k" ve "β" katsayıları metrik sisteme göre uyarlanmıştır.

Tablo 9. Farklı madencilik türleri ve patlatma yapılan işkolları için geçerli hava şoku tahmin formülleri

PATLATMA TÜRÜ	METRİK FORMÜL, mbar	GÜVENİRLİK DERECESİ	KAYNAK
Açıkta Patlama (Hapsedilmemiş)	$P = 3589 \times SD^{-1.38}$	En iyi uyum	Perkins
Kömür Madeni (Arakesme Patl)	$P = 2596 \times SD^{-1.62}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Kömür Madeni (Şev öteleme patlatması)	$P = 5.37 \times SD^{-0.79}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Taşocağı basamak patl.	$P = 37.1 \times SD^{-0.97}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Metal Madeni	$P = 14.3 \times SD^{-0.71}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
İnşaat (ortalama)	$P = 24.8 \times SD^{-1.1}$	En iyi uyum	Oriard (2005)
İnşaat (iyi hapsedilmiş)	$P = 2.48 \times SD^{-1.1}$	En iyi uyum	Oriard (2005)
Gömülü (Tam hapsetme)	$P = 1.73 \times SD^{-0.96}$	En iyi uyum	USBM RI 8485

Bazı örnekler vererek Tablo 9'da sunulan formüllerin hava şoku tahmini için kullanımını açıklayalım. Patlatma yeri ile inceleme altındaki bir bina arasındaki fiziki uzaklığı $D=200$ m alalım. Anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı madde miktarını $W=27$ kg kabul edelim. Bu durumda ölçekli mesafe, $SD = 200 / 27^{0.3333} = 200/3=66,6740$ olacaktır.

Anlık (gecikme başına) 27 kg patlayıcı madde delik içine yerleştirilmeyip zemin üzerinde açıkta patlatıldığı takdirde Tablo 9 ilk satırında verilen $P=3589 \times SD^{-1.38}$ formülü kullanılacak ve 200 m uzaklıktaki binada 10,91 milibar basınç oluşturacağı hesaplanacaktır (Tablo 10). Bu değer Siskind (2000)'in verdiği formül ile desibel'e çevrildiğinde 154,85 dB hava basıncı oluşacağı anlaşılır (Tablo 10). Şekil 6 dikkate alındığında binanın tüm veya çoğu camlarının kırılacağı anlaşılacaktır.

Anlık 27 kg patlayıcı madde bir doğaltaş (agrega) ocağında delik içine yerleştirilip patlatıldığı takdirde Tablo 9 dördüncü satırında verilen $P=37,1 \times SD^{-0.97}$ formülü kullanılacak ve 200 m uzaklıktaki binada 0,631 milibar basınç oluşturacağı hesaplanacaktır (Tablo 10). Bu değer Siskind (2000)'in verdiği formül ile desibel'e

çevrildiğinde 130,10 dB hava basıncı oluşacağı anlaşılır (Tablo 10). Şekil 6 ve Tablo 8 dikkate alındığında 130,10 dB değerinin ABD Federal Tüzük'ünde, 2 Hz'den daha düşük frekansları ölçebilen cihaz bulunduğu ve doğru ölçüm yapıldığı takdirde izin verilen 133 dB sınır değeri aşmadığı anlaşılacaktır.

Anlık 27 kg patlayıcı madde bir metal maden ocağında delik içine yerleştirilip patlatıldığı takdirde Tablo 9 beşinci satırında verilen $P=14,3 \times SD^{-0,71}$ formülü kullanılacak ve 200 m uzaklıktaki binada 0,725 milibar basınç oluşturacağı hesaplanacaktır (Tablo 10). Bu değer Siskind (2000)'in verdiği formül ile desibel'e çevrildiğinde 131,30 dB hava basıncı oluşacağı anlaşılır (Tablo 10). Şekil 6 ve Tablo 8 dikkate alındığında 131,30 dB değerinin ABD Federal Tüzük'ünde, 2 Hz'den daha düşük frekansları ölçebilen cihaz bulunduğu ve doğru ölçüm yapıldığı takdirde izin verilen 133 dB sınır değeri aşmadığı anlaşılacaktır.

Tablo 10. Farklı madencilik türleri, patlatma yapılan işkolları ve açıkta patlama durumları için örnek hava şoku hesapları

PATLATMA TÜRÜ	METRİK FORMÜL, mbar	HESAPLANAN P (mbar)	HESAPLANAN P (dB)
Açıkta Patlama (Hapsedilmemiş)	$P = 3589 \times SD^{-1,38}$	10,91	154,85
Kömür Madeni (Arakesme Patl)	$P = 2596 \times SD^{-1,62}$	2,88	143,28
Kömür Madeni (Şev öteleme patlatması)	$P = 5,37 \times SD^{-0,79}$	0,195	119,90
Taşocağı basamak patl.	$P = 37,1 \times SD^{-0,97}$	0,631	130,10
Metal Madeni	$P = 14,3 \times SD^{-0,71}$	0,725	131,30
İnşaat (ortalama)	$P = 24,8 \times SD^{-1,1}$	0,244	121,85
İnşaat (iyi hapsedilmiş)	$P = 2,48 \times SD^{-1,1}$	0,024	101,70
Gömülü (Tam hapsedme)	$P = 1,73 \times SD^{-0,96}$	0,031	103,93

Patlayıcı madde kaya kitlesi içine ne kadar az gömülür, hapsedilirse hava şoku da o denli yüksek oluşur. Aksine patlayıcı madde kaya kitlesi içinde gereğince gömüldüğü takdirde hava şoku makul ve kabul edilebilir düzeyde olur. Bu nedenle patlatma tasarımı iyi yapılmalıdır. Tasarımın iyi yapılması tek başına yeterli değildir, uygulama tasarım doğrultusunda yapılırsa yüksek hava şokunu önlemek mümkün olur.

Yüksek hava şoku oluşumunu önlemek için açık ocak patlatma tasarımında yük mesafesi delik çapının 25 katından az, 40 katından fazla olmamalıdır. Delik ağzında

yük mesafesine eşit uzunlukta sıkılama uygulanmalı ve sıkılama malzemesi kırmataş olmalıdır. 102 mm delik çapına kadar 3 mm - 9 mm boyutta kırmataş, daha büyük delik çaplarında 5 mm – 25 mm boyutta kırmataş uygulanmalıdır. Delik makinasının delerken çıkardığı ve çoğunluğu toz ya da birkaç mm ebadında olan kırıntılar kesinlikle sıkılama malzemesi olarak kullanılmamalıdır.

Yüksek hava şoku oluşumunun bir diğer nedeni, patlatılacak basamaktaki kaya kitlesinde kil damarları, açık eklemler, ezik zonlar veya başka zayıf tabakalar, küçük mağaralar gibi zayıflıkların bulunması halinde de oluşur. Bu nedenle tasarım ne kadar iyi yapılmış olursa olsun uygulamaya da özen gösterilmeli, zayıflık zonlarının bulunduğu basamak kesimlerinde delikler özenli delinmeli, patlayıcı madde miktarı azaltılmalı, kademeli şarj uygulaması yapılmalı ve diğer tedbirler alınmalıdır.



TAŞ SAVRULMASI FORMÜLLERİ VE ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Taş savrulması da, hava şoku sorunu gibi, patlayıcının kaya kitlesi içine yeterince gömülmemesi, hapsedilmemesi durumunda meydana gelir. Yeterince hapsedilmeyen patlayıcı maddenin reaksiyon sırasında açığa çıkardığı yüksek basınç altındaki gazların, yük mesafesinin yetersiz (delik çapının 20 katından az) olması halinde aynadan (basamak önyüzünden) veya sıkılama uzunluğunun yük mesafesinin özellikle %80'ninden az olması veya sıkılama malzemesinin tozlu, birkaç mm çapında küçük boyutlu veya ıslak malzeme olması gibi durumlarda delik ağzından püskürmesi sırasında söktüğü veya beraberinde taşıdığı kaya parçalarından oluşur. Bu nedenle patlayıcının yeterince gömülmesi taş savrulmasını önlemenin önkoşuludur.

Patlayıcı madde kaya kitlesi içine yeterince gömülüp hapsedildiğinde kesinlikle taş savrulması meydana gelmez. Buna rağmen kişileri, makineleri ve çevrede bulunan binaları korumak ve hiçbir risk üstlenmemek için patlatma öncesinde kişilerin dışına çıkarılacağı (uzaklaştırılacağı) bir güvenlik ya da koruma bölgesi oluşturulmasına ihtiyaç duyulur. Örneğin kaya kitlesi içinde fark edilemeyen bir jeolojik zayıflık düzlemi veya mağara benzeri boşluk bulunması halinde en kötü senaryo gerçekleşebilir ve taş savrulması oluşabilir. En kötü senaryonun gerçekleşmesi halinde dahi eğer kişiler ve makineler asgari güvenlik bölgesi dışına çıkartılmışsa hiçbir can ve mal güvenliği sorunu oluşmaz. Bu nedenle asgari güvenlik mesafesi (yarıçapı) hesap edilir.

1-) Literatürde sık kullanılan basit bir formül Lundberg ve arkadaşları tarafından 1975 yılında geliştirilmiş olup, bu formülün orijinal hali aşağıda verilmiştir.

$$L_{\max}=260 \times d^{2/3}$$

Bu formülde;

L_{\max} = en kötü durumda taşların savrulabileceği uzaklık olup metre birimi ile ifade edilir.

d =delik çapı olup, Lundborg formülüne imperyal ölçü birimi inç birimi ile yerleştirilir.

Örnek: $d= 3,5$ inç (89 mm) ise $L_{\max}=260 d^{2/3} = 260.(3,5)^{0,667}=260 \times 2,30=599,6 \text{ m} \approx 600 \text{ m}$ bulunur.

2-) Ölçekli gömme derinliği (SDOB_m) formülü (Metrik sistem):

$$SDOB_m = \frac{l_s + 0.0005 \times m \times d}{0.00923 \times (m \times d^3 \times \rho_e)^{0.333}}$$

Bu formülde;

SDOB_m = metrik sistemde gömme derinliği, birimi (m/kg^{0.333}),

l_s = sıkılama uzunluğu, birimi (m),

d = delik çapı, birimi (mm),

m = katkıda bulunan patlayıcı kolon (şarj) uzunluğu, (aşağıdaki eşitliğe bkz)

ρ_e = patlayıcı yoğunluğu, birimi (g/cm³)

NOT:

“m” ‘nin azami değeri, delik çapı 100 mm’den (4 inç’ten) küçük olduğunda 8’dir.

“m” ‘nin azami değeri, delik çapı 100 mm’den (4 inç’ten) büyük veya eşit olduğunda 10’dur.

$$m_m = \frac{1000 \times l_c}{d}$$

Bu formülde;

m_m = katkıda bulunan patlayıcı kolon (şarj) uzunluğu (delik çapı cinsinden),

l_c = patlayıcı kolon (şarj) uzunluğu, birimi (m),

d = delik çapı, birimi (mm)

Azami taş savrulması mesafesi formülü (Metrik sistem):

$$L_{max} = 11 \times (SDOB_m)^{-2,167} \times d^{0,667}$$

Örnek problem:

127 mm çapındaki patlatma deliği içindeki patlayıcı kolonunun (şarjın) uzunluğu 9,10 m, delik ağız sıkılama uzunluğu 2,4 m ve deliğe konulan emülsüyon tipi patlayıcı maddenin yoğunluğu 1,2 g/cm³ ise, azami taş savrulması mesafesini bulunuz.

Şarj boyu / delik çapı oranı = 9100 mm / 127 mm = 71,65 olup 10’dan büyüktür.

Bir başka deyişle şarj uzunluğu delik çapının 10 katından büyüktür ve delik çapı 100 mm’den büyüktür. Bu nedenle m=10’dur.

Metrik sistemde ölçekli gömme derinliği hesabı:

$$SDOB_m = \frac{2,4 + 0.0005 \times 10 \times 127}{0.00923 \times (10 \times 127^3 \times 1,2)^{0.333}} = 1,14$$

Azami taş savrulması mesafesi hesabı:

$$L_{max} = 11 \times (1,14)^{-2,167} \times 127^{0,667} = 209,56 \text{ m} \approx 210 \text{ m}$$

Test edilmiş krater patlatması deneylere dayanan ve McKenzie tarafından önerilip Blasters Handbook kitabında yer alan “ölçekli gömme derinliği” kavramına dayalı azami taş savrulma mesafesi hesabı da güvenilir bir yöntemdir.

DEĞERLENDİRME:

$L_{max}=260 \times d^{2/3}$ formülü kullanarak yapılan hesaplamalar neticesinde bulunan mesafe kontrollü şartlar belirlenmediği için en kötü senaryo olarak belirlenen mesafelerdir. Bu mesafelerin patlatma öncesinde “güvenlik mesafesi” olarak belirlenmesi can ve mal kaybını önlemek adına önemlidir.

Ancak ÇED Raporları/Proje Tanıtım Dosyalarında kontrollü şartlarda çalışılacağı taahhüt edildiğinden ikinci formül olan **Ölçekli gömme derinliği (SDOB_m) formülü** ile yapılan hesaplamalar neticesinde çıkan mesafeler olağan taş savrulma mesafesi olarak kabul edilebilir.

**Ancak Bakanlığımız/İl Müdürlüğümüz tarafından patlatma yapılacak hassas alanların varlığı, konumu ve özellikleri dikkate alınarak “güvenlik mesafeleri” belirlenebilecektir.

Yük mesafesini (delik dibi ile basamak önyüzünün dibi arası) delik çapının 22 katından az uygulamamak, sıkılama uzunluğunu mutlaka yük mesafesine eşit uygulamak, sıkılama malzemesi olarak agrega (kırmataş) kullanmak ve delikler delinmeden önce aynada (basamak ön yüzünde) jeolojik arıza, açık eklem, kil damarı, kırık ve ezik zon bulunup bulunmadığını kontrol etmek ve arıza varsa arızalı kesimde bulunan delik veya deliklere olağandan daha az patlayıcı madde yerleştirmek, deliği/delikleri kademeli şarj etmek veya arızalı çıkan deliği iptal etmek gibi gerekli önlemler alındığı takdirde uzak mesafelere taş savrulmaz. Yukarıda sözü edilen önlemler alındığı takdirde patlatma sırasında parçalanarak fırlayabileceği olağan mesafe, basamak yüksekliğinin azami 4 katı kadar olur.