



**OKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**3.BOĞAZ KÖPRÜSÜ VE KUZEY MARMARA
OTOYOLU PROJESİNDE YAPILAN PATLATMALI
KAZILARDAN KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN
ÖLÇÜLMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Jeoloji Mühendisi Barış GÜNAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Patlayıcı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Danışman
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

Şubat, 2015

İSTANBUL



**OKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**3.BOĞAZ KÖPRÜSÜ VE KUZEY MARMARA
OTOYOLU PROJESİNDE YAPILAN PATLATMALI
KAZILARDAN KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN
ÖLÇÜLMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Jeoloji Mühendisi Barış GÜNAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Patlayıcı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Danışman
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

Şubat, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 08/04/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Patlayıcı Mühendisliğı Anabilim Dalı Tezli Yüksek programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr.Ali KAHRİMAN(Danışman)
Okan Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Yrd.Doç.Dr.Birol ALAS
Okan Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir KARADOĞAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım süresince göstermiş olduğu destek, yardım ile sağlamış olduğu imkân ve fırsatlar için Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali KAHRİMAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım esnasında bilgi ve birikimini esirgmeden çalışmalarına destek olan, çalışmalarına zamanını ayırarak ilgi gösterip çok değerli katkılar sağlayan Jüri Üyesi İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Yardımcısı Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir KARADOĞAN' a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Vakit ayırıp bu tezi inceleyerek değerli görüş ve katkılarını aktaran Jüri Üyeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Cengiz KUZU' ya, ve Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşan Sayın Aziz ÖZDEMİR ' e

Benden hiçbir zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen Okan Üniversitesi Patlayıcı Mühendisliği asistanı Sayın Yüksek Mühendis Sadettin BAĞDATLI' ya sonsuz teşekkür ederim.

Şubat, 2015

Barış GÜNAY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1.PATLATMANIN TARİHÇESİ	2
2.2. PATLATMANIN TANIMI VE MEKANİZMASI.....	4
2.2.1. Patlayıcı Maddelerin Özellikleri.....	11
2.2.1.1. Detonasyon Hızı.....	12
2.2.1.2. Patlayıcı Maddenin Gücü veya Kuvveti.....	14
2.2.1.3. Yoğunluk.....	15
2.2.1.4. Detonasyon Basıncı.....	15
2.2.1.5. Detonasyon Stabilitesi.....	16
2.2.1.6. Oksijen Balansı	17
2.2.1.7. Enerji Aktarma Oranı	17
2.2.1.8. Patlayıcı Madde Duyarlılığı	18
2.2.1.9. Patlayıcı Maddelerin Suyu Dayanıklılığı.....	18
2.2.1.10. Patlayıcı Maddelerin Depolama Ömrü.....	19
2.2.1.11. Duman ve Gaz Karakteri	20
2.2.1.12. Çevre Sıcaklığına Tolerans.....	21
2.2.1.13. Raf Ömrü.....	21
2.2.1.14. Su Basıncına Dayanım	21
2.2.1.15. Ambalaj ve Kullanma Kolaylığı.....	21
2.2.1.16. Emniyet.....	21
2.2.2. Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması.....	22
2.2.2.1. Ateşli Patlayıcılar	22
2.2.2.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar	22
2.2.2.3. Patlayabilir Karışımlar	23
2.2.3. Ateşleme Sistemleri	26

2.2.3.1. Emniyetli Fitol-Adi Kapsül	26
2.2.3.2. İnfilaklı Fitol ve Gecikme Röleleri.....	28
2.2.3.3. Elektriksiz Kapsüller (Patlayıcı Sıvanmış Şok Tüpü -Nonel).....	29
2.2.3.4. Gaz Patlamalı Şok Tüpü (HERCUDET).....	29
2.2.3.5. Elektrikli Ateşleme Sistemleri	30
2.3. BASAMAK PATLATMASI.....	33
2.3.1. Basamak Patlatması Terimleri	33
2.3.2.1. Araştırmada Uygulanan Yöntem.....	36
2.4. KUYU(ŞAFT) TASARIMI.....	37
2.5.KONTROLLÜ PATLATMA KAVRAMI.....	43
2.5.1 Kontrollü Patlatmanın Tanımı	43
2.5.1.1 Hat delme yöntemi.....	44
2.5.1.2. Son kesme yöntemi	44
2.5.1.3. Yastıklamalı son-kesme yöntemi	44
2.5.1.4. Demolition.....	44
2.5.1.5. Ön-kesme yöntemi	44
2.5.2. Projede Hat Delme Ve Ön Kesme Yöntemlerinin Uygulanması	46
2.6. PATLATMA SONUÇLARINI ETKİLEYEN VE TASARIMDAN GÖZ ÖNÜNE ALINMASI GEREKEN ETKENLER.....	47
2.6.1. Kaya Birimlerinin Malzeme ve Kütle Özellikleri	47
2.6.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı.....	49
2.6.3. Patlatma Geometrisi	49
2.6.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler	50
2.6.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar	53
2.6.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyüklükleri	56
2.6.6.1. Delik Çapı Tahmini	56
2.6.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi	57
2.6.6.3. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi	59
2.6.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi	60
2.6.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi	61
2.6.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi.....	62
2.6.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi	62
2.6.6.8. Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi	63
2.6.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi	64
2.7. DELME-PATLATMANIN ÖNEMİ	64
2.7.1. Delme Patlatmanın Kullanıldığı Alanlar	67
2.7.2. Delme-Patlatmanın Patlayıcı Mühendisliği İle İlgisi.....	69
2.7.3. Güvenlik Rehberi	71
2.7.3.1. ANFO Şarjı	71
2.7.3.2. Pnömatik Şarj (Kartuş Emülsiyonları, Sıvı Jel).....	72
2.8. PATLATMADAN KAYNAKLANAN ÇEVRESEL SORUNLAR	72
2.8.1. Kaya Fırlaması	75
2.8.2. Toz Emisyonu	77
2.8.3. Yer Sarsıntısı (Titreşim).....	77
2.8.3.1. Yer Sarsıntısının Oluşumu ve Genel Karakteristikleri.....	78
2.8.3.2. Tipik Patlatma Titreşim Kayıtları.....	87
2.8.3.3. Baskın Frekans.....	88

2.8.3.4. Ölçekli Mesafe Kavramı.....	90
2.8.3.5. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini.....	92
2.8.3.6. Maksimum Parçacık Hızı Tahmininde Kullanılan İstatistiksel Metotlar	94
2.8.3.7. Patlatmadan Kaynaklanan Yersarsıntısını Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler.....	96
2.8.4. Hava Şoku ve Gürültü	97
2.8.4.1.Hava Şoku ve Gürültü Ölçümü ve Karakteri	98
2.8.4.2. Patlatmadan Kaynaklanan Hava Şokunu Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler.....	102
2.8.5. Hasar Ölçütleri ve Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesinde göz önünde Tutulan Uluslararası Normlar	102
2.8.5.1. Hasar Sınıflaması.....	104
2.8.5.2. Patlatma Hasar Kriterleri.....	105
2.8.5.2.1. Rockwell'in Enerji Formülü.....	106
2.8.5.2.2. USBM'nin Formülü.....	106
2.8.5.2.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü	107
2.8.5.4. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı	108
2.4.5.5. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı.....	108
2.4.5.6. Langefors ve Kihlström'un Yaklaşımı.....	108
2.4.5.7. USBM'nin Yaklaşımı.....	110
2.4.5.8. Canmet, Bauer ve Calder'in Yaklaşımı.....	110
2.4.5.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini.....	110
2.4.5.10. OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları	112
2.4.5.11. DIN 4150 Alman Normu	115
2.4.5.12. İsveç Standardı.....	117
2.4.5.12.a . Kılavuz Seviyeleri	118
2.4.5.13. İngiliz Standardı.....	119
2.4.5.14. Hindistan Standardı (IS)	120
2.4.5.15. Fransa Standardı	121
2.4.5.16. Türk Standardı	121
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	122
3.1. YER SARSINTISI VE HAVA ŞOKU İZLEME SİSTEMLERİ.....	122
3.1.1. Örnek Bir Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi ve Teknik Özellikler.....	125
3.2. ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM	128
4. BULGULAR	128
4.1. ÇALIŞMA SAHASININ YERİ VE TANITIMI	128
4.2. BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ	131
4.2.1 Genel Jeoloji	131
4.3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ.....	136
4.4. ÖLÇÜM SONUÇLARI	138
4.5. ÖLÇÜMLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.140	
4.5.1. Doğal Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi.....	141

4.5.1.1. Doğal Zeminde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi	141
4.5.1.2. Doğal Zeminde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi	142
4.5.1.3. Doğal Zeminde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi	143
4.5.1.4. Doğal Zeminde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi	144
4.5.2. Elde Edilen Tahmin Denklem Ve Yaklaşımları	145
4.5.3. Atımların Hasar Riski Değerlendirmesi	146
4.6. RİSK ANALİZİ	147
4.7. TÜRETİLEN FORMULÜN KARŞILAŞTIRILMASI	151
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	152
KAYNAKLAR	156
EKLER	159
ÖZGEÇMİŞ	166

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kaya İçindeki Patlatma Deliğinin Çevresindeki Parçalanması (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988).....	6
Şekil 2.2. Detonasyon boyunca gerilme dalgalarının kaya içerisinde yayılımı (Anon, 1986, Daehnke ve Rossmanith,1997).....	7
Şekil 2.3. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)	9
Şekil 2.4. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu (Schillinger, 2006).....	9
Şekil 2.5. Patlatma ile birlikte oluşan dalga yayılımı (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988).....	10
Şekil 2.6. Değişik koşullarda kütle taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik taban payı) (Anon, 1986).....	11
Şekil 2.7. Adi kapsül ve fitil bağlantısı(Barutsan, 1995).....	27
Şekil 2.8. İnfilaklı Fitol (Orica, 2013)	28
Şekil 2.9. Gecikme Roleleri (Orica, 2013).....	28
Şekil 2.10. Elektriksiz Kapsül (Orica, 2013)	29
Şekil 2.11. Elektrikli Kapsüller (Orica, 2013).....	31
Şekil 2.12: Basamak patlatmasında kullanılan terimler (Gustaffson, 1973).....	33
Şekil 2.13. Bir üretim deliğinin şarjlanmış tip kesit görüntüsü	37
Şekil 2.14. En etkili kuyu alçalma yöntemlerinden biri basamak yöntemidir (Anon, 1998)	38
Şekil 2.15. Geniş çaplı tipik gevşetme deliği şekli Kuyu, başka bir yaygın metottur (Anon, 1998).....	38
Şekil 2.16. Piramit kesim, kuyu döngüsünde yaygın bir üretim yöntemidir(Anon, 1998)	39
Şekil 2.17. V kesme kullanılan (Anon, 1998).....	39
Şekil 2.18. ‘3.Boğaz Köprü’sü’ Temel Şaftı ve Portal yapısı Tip Kesiti.....	40
Şekil 2.19. ‘3.Boğaz Köprü’sü’ Temel Şaftı Paralel Cut patlatma Gevşetme Paterni Tip Kesiti	41
Şekil 2.20. ‘3.Boğaz Köprü’sü’ Temel Şaftı Patlatma Paterni Şarj detayı	42
Şekil 2.21. Basamak patlatması ve şaft patlatmasında hat delme ve son kesme uygulamaları.....	46
Şekil 2.22. Eğimli deliklerin taban zorluğunu yenmesi (Ozer, 2001).....	58
Şekil 2.23. Eğimli deliklerde, eğim açısının büyük seçilmesi halinde gürültü, hava patlaması ve kaya fırlamaları oluşumu	59
Şekil 2.24. Delme Patlatmayı Esas Alan Kazı İşleminin Genel Planlanması	65
Şekil 2.25. Delme ve Patlatmanın Üretim Sürecindeki Yeri ve Önemi.....	67
Şekil 2.26. Patlatma ve Ardışık Faaliyetlerin Maliyetleri Arasındaki İlişki	70
Şekil 2.27. Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler	73
Şekil 2.28. Patlatma Sırasında Oluşan Taş Savrulması	76
Şekil 2.29. Sismik dalgaların kaya ortamı içinden geçerken yarattıkları deformasyon (Konya ve Walter, 1991).....	79
Şekil 2.30. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu (Dowding, 1985)	81

Şekil 2.31. Basınç ve kesme dalgaları.....	82
Şekil 2.32. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı.....	82
Şekil 2.33. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi	83
Şekil 2.34. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi	84
Şekil 2.35. Sinüzoidal yaklaşım	85
Şekil 2.36. Tipik kömür madeni patlatmasında parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi (Dowding, 1985)	87
Şekil 2.37. Patlatma titreşimlerinin nükleer patlama ve deprem hareketleri ile karşılaştırılması (Dowding, 1985).....	88
Şekil 2.38. Çeşitli patlatmalarda ön baskın frekans histogramları (Dowding, 1985)	89
Şekil 2.39. Taş ocağı patlatmasında zamana bağlı tipik titreşim gelişimi (Dowding, 1985)	90
Şekil 2.40. Ölçekli mesafe parametreleri (Tamrock, 1984).....	91
Şekil 2.41. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri (Dowding, 1985)	100
Şekil 2.42. Hava şoku basıncının ölçekli mesafeye göre değişimi (Hoek ve Bray, 1991)	101
Şekil 2.43. Langefors ve Kihlström'un hasar kriteri nomogramı	109
Şekil 2.44. USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve diğ., 1980)	112
Şekil 2.45. OSM'nin alternatif kriter analizi (OSM,1983)	114
Şekil 2.46. DIN 4150 Alman Normu (Schillinger, 2006).....	116
Şekil 2.47. White Mini-Seis cihazının DIN 4150 Normuna göre düzenlenmiş tipik çıktısı.....	117
Şekil 2.48. İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 (Karadoğan, 2008)	119
Şekil 2.49. Hindistan DGMS (A) Standardı (Karadoğan, 2008)	120
Şekil 2.50. Hindistan DGMS (B) Standardı (Karadoğan, 2008)	121
Şekil 3.1. Bir Titreşim Ölçer Cihazının Jeofon Yapısı (Konya ve Walter, 1991)	124
Şekil 3.2. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi (Dowding, 1985).....	125
Şekil 3.3. İstantel Mini Mate Plus Model Titreşim Ölçüm Cihazı (İstantel, 1993)..	126
Şekil 3.4. İstantel Mini Mate Plus Cihazının USBM Normuna Göre Düzenlenmiş Tipik Çıktısı (İstantel, 1993).....	127
Şekil 4.1. Projenin geçiş güzergahı uydu görüntüsü (Google Earth).....	130
Şekil 4.2. Projenin Çalışma sahasından genel bir görünüm.....	130
Şekil 4.3. Projeden genel bir görünüm.....	131
Şekil 4.4. Avrupa Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Şennazlı, 2012)	132
Şekil 4.5. Asya Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Şennazlı, 2012)	134
Şekil 4.6. Asya Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Gedik, 2005)	135
Şekil 4.7. İstanbul Asya Yakası yüzey jeoloji haritası(Özgül, 2012)	136
Şekil 4.8. şantiye birimlerine ait yapıların konumlarını gösteren resim	137
Şekil 4.9. Doğal Zeminde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	142
Şekil 4.10. Doğal Zeminde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki	143
Şekil 4.11. Doğal Zeminde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki	144
Şekil 4.12. Doğal Zeminde PPV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki	145
Şekil 4.13. Doğal Zeminde PPV ve Ölçekli Mesafe arasındaki k , β ve r ilişkisi	146

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Detonasyon hızının çapa bağlı değişimi(Orica ,2013).....	12
Tablo 2.2. Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı(Barutsan, 1997).....	19
Tablo 2.3. Gaz miktarına göre duman sınıflaması (Barutsan, 1997)	21
Tablo 2.4. Başlıca ateşleyici patlayıcılar(Bilgin, 1999).....	22
Tablo 2.5. ANFO'nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı ve metre başına şarj miktarı (Şeran ve Akay, 1999).....	24
Tablo 2.6. Sulu patlayıcı karışım katkı maddeleri (Tosun, 1991).....	26
Tablo 2.7. Projede kullanılan patlayıcı türleri (Orica, 2013).....	32
Tablo 2.8. Projede kullanılan kapsül türleri	32
Tablo 2.9. Patlatma Tasarımında Etkili olan parametreler(Karadoğan,2008).	35
Tablo 2.10. Titreşim Parametrelerinin Aralığı (Dowding, 1985)	87
Tablo 2.11. Yersarsıntısı Üzerindeki Değişimlerin Önem Sırası (Kahrıman, 2003).....	97
Tablo 2.12. Hasar Sınıflaması (Kahrıman, 2003).....	104
Tablo 2.13. Crandell'in Enerji Oranına Bağlı Hasar Kriteri.....	107
Tablo 2.14. Langefors ve Arkadaşlarının Parçacık Hızını Esas Alan Hasar Kriteri.....	108
Tablo 2.15. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızını Esas Alan Yaklaşımı.....	108
Tablo 2.16. USBM'nin Yaklaşımı (Nicholls ve diğ., 1971).....	110
Tablo 2.17. Canmet ve Arkadaşlarının Hasar Kriteri (Bauer ve Calder, 1977).....	110
Tablo 2.18. Uzaklığa Bağlı Müsaade Edilen Ölçekli Mesafe Faktörleri (OSM,1983)..	113
Tablo 2.19. Patlatmada Noktasından Belirli Uzaklıklarda Maksimum Parçacık Hızları (OSM,1983)	114
Tablo 2.20 Alman Din 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınırları.....	115
Tablo 2.21. Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı (Karadoğan, 2008).....	118
Tablo 2.22. Bina Faktörü (Karadoğan, 2008)	118
Tablo 2.23. Proje zaman faktörü(Karadoğan, 2008).....	119
Tablo 2.24. Kozmetik hasar için geçici titreşim kılavuz seviyeleri (Karadoğan, 2008)	119
Tablo 2.25. Madencilik Alanlarında Yapıların Altyapı Düzeyinde İzin Verilebilir En Yüksek Parçacık Hızı (PPV) (Karadoğan, 2008).....	120
Tablo 2.26. Fransa Standardı (Karadoğan, 2008)	121
Tablo 2.27. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri (Anon, 2010)	122
Tablo 4.1. İstasyon Noktaları Koordinatları	138
Tablo 4.2. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları	139
Tablo 4.3. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları	139
Tablo 4.4. İstatiksel Analizle Elde Edilen Arazi Katsayıları	146
Tablo 4.5. Alman DIN 4150 Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları	148
Tablo 4.6. USBM Normu ve Türk Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları	149
Tablo 4.7. Çalışmada kullanılan patlayıcı miktarına göre risk noktalarına yaklaşılabilecek maksimum mesafeler.....	150
Tablo 4.8. Çalışmadan Türetilen Formülle Literatürde Yer Alan Formüllerin Karşılaştırılması	152

SEMBOL LİSTESİ

ANFO	: amonyum nitrat + fueloil karışımı patlayıcı madde
BDD	: birim deformasyon dalgası
ÇDD	: çekme deformasyon dalgası
Hz	: hertz
ISRM	: uluslar arası kaya mekaniği derneği
M.Ö.	: milattan önce
M.S.	: milattan sonra
OSM	: birleşik devletler açık ocak madencilik bürosu
USBM	: birleşik devletler madencilik bürosu
u	: parçacığın yer değişimesi
U	: maksimum yer değiştirme
k	: dalga sayısı sabiti
ω	: açısal frekans sabiti
t	: zaman
T	: dalga periyodu
f	: frekans
λ	: dalga boyu
c	: yayılım hızı
v	: parçacık hızı
μ	: parçacık ivmesi
SD	: ölçekli mesafe
R	: mesafe
W	: gecikme başına maksimum şarj miktarı
PPV	: maksimum parçacık hızı
K, β, α, n	: çalışma sahası sabitleri
$e^{-\alpha R}$: inelastik seyrelme faktörü
$e^{-\alpha(R/W)}$: İnelastik sönme faktörü
r^2	: korelasyon katsayısı
dB	: desibel
P	: ölçülen tepe ses basıncı
P_0	: referans ses basıncı
N	: gürültü
A	: genlik
C	: şarj miktarı
d	: uzaklık
ER	: enerji oranı
a	: ivme
v_0	: düzeltilmemiş düşey parçacık hızı
F_k	: inşaat kalite faktörü
F_d	: patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe faktörü
F_t	: patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresi
\emptyset	: fi

ÖZET

3.BOĞAZ KÖPRÜSÜ VE KUZEY MARMARA OTOYOLU PROJESİ KAPSAMINDAKİ PATLATMALI KAZILARDAN KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN ÖLÇÜLMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Metropol şehirlerin gelişmesiyle birlikte artan nüfus ve bunun bir sonucu olan ulaşım ve trafik yoğunluğu çözülmeyi bekleyen öncelikli sorunların başında gelir. Otoyollar, köprüler, metro ağları bu sorunun en büyük çözümü olarak görülmektedir. Ana karaları birbirine bağlayarak insanların ulaşımını sağlayan en önemli sanat yapısı köprülerdir. İstanbul'un ulaşım ve trafik sorununa çözüm sağlamak için yeni bir köprü ve bu köprüye bağlanan bir otoyolun yapımına 2013 tarihinde başlanılmıştır."3.BOĞAZ KÖPRÜSÜ VE KUZEY MARMARA OTOYOLU PROJESİ" İstanbul'un her iki yakasındaki trafik ve ulaşım sorununa çözüm sağlayacak bir mühendislik ve tasarım projesidir. 3.Boğaz Köprüsü ; 59 m genişliği ile üzerinden raylı sistem geçen Dünyanın en geniş asma köprüsü ünvanını almıştır. 3'ncü Boğaz Köprüsü; Avrupa yakasındaki Garipçe Köyü'nü Anadolu yakasındaki Poyraz Köy'e bağlamaktadır. Kuzey Marmara Otoyolu ise Odayeri-Paşaköy kesimini 3.Boğaz Köprüsü vasıtasıyla birbirine bağlamaktadır. Ayrıca bu otoyol içinde; Türkiye'nin ve Avrupa'nın en geniş 4 şeritli Riva ve Çamlık Tünelleri yer almaktadır.

Bu tez kapsamında söz konusu projenin inşası esnasında gerçekleştirilen patlatmalı kazılar incelenmiş, patlamalar esnasında oluşan yer sarsıntıları değerlendirilerek çevredeki yer alan yerleşim birimleri ve yapılara olan etkileri değerlendirilmiştir. 3.Boğaz Köprüsü'nün ayak temelleri(şaftları),köprü halatlarının mesnet alacağı Ankraj Bloğu ;Riva Tüneli ve otoyol yarma kazılarında patlatmalı kazı yapılmıştır. bu süreçte 96 adet patlatma yapılmış ve farklı titreşim ölçer cihazlarla 288 adet titreşim kaydı elde edilmiştir. Gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarlarına bağlı olarak oluşan ölçekli mesafe (SD) ile titreşim kayıtları ilişkilendirilerek çalışma yapılan bölgenin jeolojine özgü olan arazi iletim katsayısı (K) ve jeolojik katsayına (β) ulaşılmıştır.

Çalışmada, konuyla ilgili genel bilgiler araştırılarak geniş kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. Delme patlatmanın önemi, patlatma ile parçalanma mekanizması, basamak patlatmaları, shaft patlatmaları ve patlatmadan kaynaklı çevresel sorunlar derlenerek 2. bölümde sunulmuştur.

Bölüm 3 te kullanılan malzeme ve yöntemler açıklanmıştır. Çalışma yapılan bölge ile ilgili bilgiler, 3.Boğaz Köprüsü ayak temelleri , ankraj bloğu, portal yapıları, yarma kazıları için uygulanan patlatma modelleri hakkında bilgiler, titreşim ölçümleri ve değerlendirilmesi ile elde edilen verilere bağlı yapılan risk analizi ise Bölüm 4 te verilmiştir. Bölüm 5' te elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

SUMMARY

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL EFFECTS AND VIBRATION INDUCED BY CAUTIOUS BLASTING DURING THE EXCAVATION OF 3rd BOSPHORUS BRIDGE and NORTHERN MARMARA MOTORWAY

With the development of the growing population of the metropolitan cities and resolving transportation and traffic congestion as a result of which one of the foremost challenges facing priority. Highways, bridges, metro networks are seen as a major solution to this problem. The main decisions are the most important structures of the bridges to the transportation of people connecting. A new bridge to provide solutions to transportation and traffic problems of Istanbul and the construction of a highway that connects to the bridge was started on 2013. "3rd BOSPHORUS BRIDGE and North Marmara Motorway Project" is an engineering will provide a solution to the traffic and transport problems on both sides of the Bosphorus, and design project. 3rd Bosphorus Bridge; 59 m over the width of the rail system has received the title of the world's largest suspension bridge. 3rd Bosphorus Bridge; Poyraz connects to the village on the Anatolian side of Istanbul on the European side Garipçe village. The North Marmara Motorway Odayeri-Paşaköy segment connects via 3rd bosphorus bridge. Also within this highway; Turkey and Europe's largest four-lane tunnel is located River and summerhouse.

Examined the louvred excavations carried out during the construction of this thesis project in question, ground shaking explosions that occur during evaluation of residential units located in the surrounding structures and the effects were evaluated. 3rd bosphorus bridge foot bridge foundations (shafts), will support Anchor Block rope bridge, blasting the River Tunnel and highway excavated soil excavation. 96 pieces made in the process of blasting and vibration measuring devices were obtained from 288 different vibration record. The scale formed depending on the amount of explosives

used per lag distance (SD) and vibration study by relating the specific geology of the region of land transfer coefficient (K) and geological coefficient (β) has been reached.

In this study, general information about the subject of extensive literature review was conducted to investigate. The importance of drilling and blasting, crushing mechanism with blasting, bench blasting, blasting shaft and environmental problems stemming from the explosion was compiled and presented in Chapter 2.

Chapter 3 used materials and methods are described. Information about the region under study, 3rd bosphorus bridge feet basics, anchor block, portal structure, splitting information about blasting models applied to excavations, and vibration measurement and evaluation based on data obtained by the performed risk analysis Chapter 4 are given. In section 5, the results obtained are discussed.

1. GİRİŞ

Son çeyrek yüzyıl içinde her alanda olduğu gibi; madencilik, inşaat altyapı kazıları, Hes projeleri, yol projeleri, metro inşaatı, boru hattı gibi değişik alanlarda patlayıcı kullanılarak çok hızlı ve ekonomik ilerlemeler gerçekleşmiştir. Bu projelerin yaygınlaşması ile yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevresel sorunlar ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle, patlatma tasarımında yalnızca ekonomik ve hızlı bir imalat değil aynı zamanda çevresel sorunların da göz önüne alınması gereklidir. Patlatmadan kaynaklanan titreşim parametrelerinin tahmin edilmesi çevresel sorunları en aza indirmeye etki etmektedir. Bu nedenle, bir patlatmanın verimli olmasını etkileyen bir diğer parametresi de; atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli bir uzaklıktaki riskli bölgelerin patlatma kazı sonucunda oluşacak titreşimler, fırlayan kaya ve hava şoku gibi etkilerden etkilenmemesi için yapılacak patlatmalı kazılarda gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirilebilir.

Patlamalı kazılardan kaynaklı çevresel sorunlarla başa çıkabilmek için ülkemizde de kullanılan çeşitli normlar kullanılmaktadır. Bu normlar sayesinde "Kontrollü Patlatma Tekniğinin İlkeleri" ortaya konulmuştur. Patlayıcı kullanımı sonucu oluşan yersarsıntıları ve hava şokunun etkilerini belirlemek ve çevresel sorunları engelleyebilmek için sürdürmektedirler. Bu konularda çeşitli yasal hükümler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu yüksek lisans tezinde, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yap-işlet-devret modeli olarak inşa ettirilmekte olan 3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi yapımında gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanan titreşim ve hava şoku etkilerinin; risk taşıyan bölgelerdeki yapılara olan etkisi araştırılmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.PATLATMANIN TARİHÇESİ

Uygarlık tarihi boyunca farklı bölgelerde yaşayan insanlar arasında, bilgi, kültür ve mal alışverişi yapılmıştır. Bu alışverişler için insanların buldukları bölgelerden diğer bölgelere gitmesi gerekmiştir. Bu gereksinimler için yol ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Yol yapımında doğanın çıkardığı engeller, tünellerin, köprülerin yapımını zorunlu kılmıştır. Ayrıca insanoğlu ilk çağlardan beri birçok maden cevherine gerek duymuştur.

Dünya üzerinde mevcut birçok meşhur abidelerin çoğunluğu patlayıcı maddeler icat edilmeden meydana getirilmiştir. Doğayla olan mücadelelerde bir maddeye ihtiyaç duyulmuştur. Hz. Süleyman meşhur mabedi inşa edilirken yeraltı taşocaklarında 83.000 insan çalışmaktaydı. M.Ö. 983 yıl önce yapılmakta olan bu işte patlayıcı madde kullanılmıştır. İşçiler taşlara deldikleri ufak deliklere ağaç kazıklar çakıp sonra bu kazıkları ıslatmak suretiyle taşın kırılmasını sağlamışlardı. M.S. I. Asırda Roma İmparatoru Claudius Roma'ya su getirmek için Mate Silviano dağının altından geçecek olan 1.80 x 3.00 m ve 5 km uzunlukta olan tüneli 30.000 işçi çalıştırarak 11 senede tamamlamıştır. Tünelde ilerleme yapılırken aynada ateş yakıp kayalar iyice ısıtıldıktan sonra su serpilerek çatlatılmakta ve sonra sökülmekteydi. Daha sonraki yıllarda kara barut keşfedilmiştir. Ama kara barutun kim tarafından ne zaman bulunduğu bilinmemektedir. Barutun Çinliler tarafından icat edildiği ve oradan da Türkler aracılığı ile miladın 7. Asrında Avrupa'ya geçtiği bilinmektedir. 1800'lü yıllarda ise Nitrogliserin keşfedilmiştir.

Sahip oldukları yüksek gaz hacmi, enerji miktarı, patlatma sonucu oluşturdukları yüksek ısı ve basınç nedeniyle günümüzde kaya parçalamada kullanılan en yaygın yöntem olmuştur. Madencilikte kazı amacıyla patlayıcı madde kullanımı 17. Yüzyıl başlarında Kara Barut ile başlar. Bundan önce kullanılan ateş yakarak kayayı ısıtma ve daha sonra su ile soğutarak çatlatma yöntemi oldukça ağır ve pahalı bir yöntemdi. Özellikle maden çevresinde ağaçların bitmesi veya hiç olmaması durumunda tamamen ekonomikliğini yitiriyordu.

Kara Barut madencilik sektörüne girdikten sonra oldukça yaygın bir kullanım alanı buldu. Fakat ateşleme sistemi oldukça tehlikeliydi ve birçok kaza meydana geliyordu. Bu tehlike 1831 yılında William Bickford'un emniyetli fitili bulması ile ortadan kaldırılmış oldu.

Patlayıcı maddelerin gücünü gördükten sonra madencilerde daha kuvvetli patlayıcılara yönelik bir talep meydana geldi. Bunun neticesinde 1846 yılında Ascanio Sabrero Nitrogliserini buldu. Nitrogliserin kuvvetli bir patlayıcıydı fakat üretim ve kullanımı çok tehlikeliydi. Bu yüzden yaygın bir kullanım alanı bulamadı. Alfred NOBEL ve kardeşleri nitrogliserinin güvenli üretimini ve emniyetli kullanım şekli olan DİNAMİT (1866) ile civa fulminatlı kapsülü (1867) geliştirdi. Bu tarihten sonra madencilik sektöründe dinamitin egemenliği başladı.

1950'li yılların başında bir kaza sonucu Amonyum Nitrat'ın patlama özelliğinin keşfedilmesi madencilik ve patlayıcı madde kullanımı açısından yeni bir dönüm noktası oldu.

Amonyum Nitrat ile yapılan araştırmalar sonucunda, Robert W. Akre, 1955 yılında Amonyum Nitrat ile Karbon karışımından oluşan ve kolayca hazırlanabilen 'Akremite' adlı patlayıcıyı buldu. Bir yıl sonra ise Amonyum Nitrat Fuel Oil karışımından oluşan ve ANFO olarak isimlendirilen patlayıcı madde Amerika'da piyasaya sürüldü. Ucuzluğu, kolay üretilmesi ve güvenli oluşu ANFO'yu kısa bir sürede madencilik sektörünün en yaygın olarak kullandığı patlayıcı madde haline getirdi. Tüm yararlarına karşın ANFO'nun iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi düşük yoğunluğudur ki delme maliyeti yüksek kayaçalarda maliyeti yükseltmektedir. İkincisi ise suya karşı dayanıksızlığıdır. Bu dezavantajlar araştırmacıları yeni ürünler bulmaya yöneltmiştir. Bunun sonucu olarak 1960'lı yıllarda Slurry olarak isimlendirilen karışımlar ortaya çıkmıştır. Temelde ana patlayıcı madde amonyum nitrattır. Fakat bu patlayıcılarda yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat ve diğer nitrat tuzları çözeltisi, kimyasal kolloidal maddeler kullanılarak kıvamlı bulamaç haline getirilmektedir. Kullanılan kolloidal maddeler karışımın içine su girmesini ve yavaşlatmakta böylece karışım sulu deliklerin içerisinde belli bir süre bozulmadan kalabilmektedir. Slurry karışımlarının çerisine patlayıcının gücünü arttırmak amacıyla TNT, MAN, alüminyum tozu gibi enerji veren maddeler katılmaktadır. Slurry patlayıcıların ANFO'ya göre en önemli avantajlarından biri de yoğunluklarının yüksek oluşudur. Slurry patlayıcılardan sonra yeni nesil patlayıcı olarak emülsiyonlar piyasaya sürülmüştür. Köken olarak yine

yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat tuzları çözeltisi kullanılmıştır. Bu sefer koloidal maddeler yerine emülsifiyerler kullanılarak suya dirençli bir emülsiyon oluşturulmuştur. Amonyum nitrat ve nitrat tuzları çözeltileri yığın içindeki su türünde bir emülsiyon haline getirildiğinde, suya dirençli, margarin kıvamında bir karışım elde edilmektedir. Bu karışım içine duyarlılığı arttırmak amacıyla mikro cam baloncuklar bazen de yüksek enerji vermek amacıyla alüminyum tozu katılmaktadır. Son zamanlarda ANFO ile emülsiyon karışımları da yapılmaktadır. Böylece ucuzluğun yanı sıra ANFO'nun katkısı ile güç faktörü de artmaktadır. ANFO'nun en önemli eksikliği suya dayanıksızlığıdır. Bu zaafi ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar neticesinde 1985 yılında suya dayanıklı bir ANFO türü geliştirilmiş ve AKNAVOL adıyla piyasaya sürülmüştür.

İnsanlar yüzyıllar boyunca aramış olduğu maddeyi bulma yönünde en büyük adımı atmış ve patlayıcı madde sektörünü oluşturmuştur . (Kahriman, 2003)

2.2. PATLATMANIN TANIMI VE MEKANİZMASI

Patlayıcı maddeler, ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın, kimyasal katkısı olmadan çok hızlı reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler ve ısı vererek ortam basıncında ani ve yüksek değişimlere neden olan (patlama), ses üstü hızda kimyasal reaksiyona girebilen, organik veya inorganik bileşimlerdir.

Bu tanıma göre;

1. Patlayıcı maddeler öncelikle organik veya inorganik kimyasal maddelerdir.
2. Bu kimyasal maddeler patlayıcı madde tanımına girebilmeleri için ses üstü bir hızla kimyasal reaksiyona girebilmelidirler. Bu reaksiyona "Detonasyon" denir. Detonasyona giremeyen kimyasallar patlayıcı değildir.
3. Detonasyonu başlatan olgu bir fiziksel dürtü olmalıdır. Sivil patlayıcılarda bu yeteri şiddette bir şok darbesidir. Zannedilenin aksine ateş, alev ve sıcaklık; sivil patlayıcıları detonasyona sokamaz. Bu unsurlar ancak dolaylı yoldan detonasyona etki edebilirler.
4. Patlayıcı maddelerin detonasyona girebilmeleri için çevreden herhangi bir desteğe gereksinim duymazlar. Oksidan ve indirgen kimyasallar bünyelerinde balans edilmiş bir şekilde bulunur.
5. Detonasyon sonuç olarak ekzotermik bir reaksiyondur. Diğer bir deyişle ortama ısı verirler. Zannedilenin aksine detonasyon reaksiyon ısısı çok yüksek değildir. Örneğin

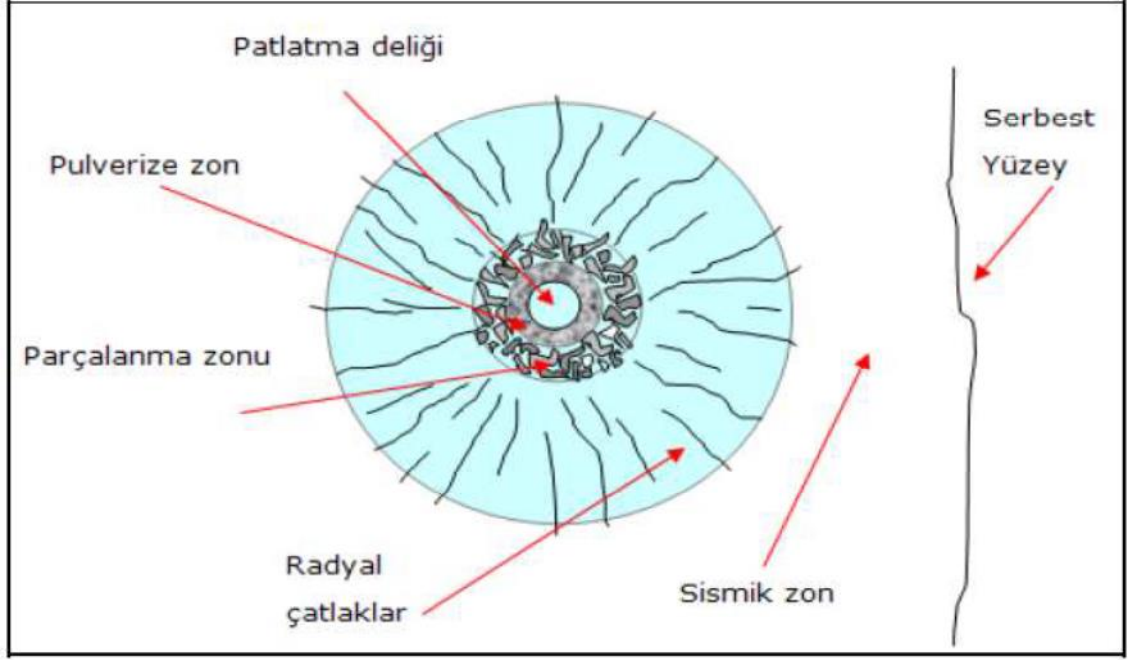
ANFO'nun reaksiyon ısı 970 kcal/kg düzeyindeyken motorinin yanma reaksiyon ısı 10,000 kcal/kg civarındadır. Farkı yaratan reaksiyon hızıdır. Ses üstü hızla gerçekleşen detonasyonda elde edilen güç teorik olarak milyonlar mertebesinde beygir gücü ile hesap edilmektedir. Bu arada reaksiyon sıcaklığı ile reaksiyon ısını birbirine karıştırmamak gerekir. Sivil patlayıcıların detonasyon sıcaklıkları 2.500 – 3.000 oC arasında olabilmektedir. (Ceylanoglu, 1993)

6. Patlayıcı maddelerin detonasyon sonrası yarattıkları ürünler ideal koşullarda, su buharı, nitrojen ve karbondioksit gibi gazlardır. Bazen üretildikleri maddelere bağlı olarak alüminyum oksit gibi katı maddelerde üretebilirler. Gaz ürünler yukarıda açıkladığımız detonasyon sıcaklığında genişlemeye çalışarak çok büyük boyutlarda basınç yaratırlar. Buna detonasyon basıncı denilmektedir. Detonasyon basınçları o kadar büyüktürler ki doğru olarak ölçülebilmeleri olası değildir. Ancak bazı yaklaşımlar ile tahmin edilebilmektedirler. İşte patlayıcı maddelerin yıkıcı olabilen güçleri mikro saniyeler düzeyinde bir zaman dilimi içerisinde yaratılan bu detonasyon basıncıdır.

Patlatma işlemi başladıktan sonra mekanizma çalışmaya başlar ve bazı aşamaları geçirir. Bu aşamalar;

1. Detonasyon
2. Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı
3. Gaz basıncının yayılımı
4. Kütle taşınması

İlk aşamada yer alan detonasyon; birincil parçalanma mekanizmalarını daha iyi anlayabilmek için deliğin basamak aynaları gibi serbest yüzeyden uzakta, diğer bir deyişle sonsuz bir kaya ortamı içinde açıldığını düşünelim. Böyle bir delik kesiti Şekil 2.1.'te gösterilmiştir (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988). Ortada görülen kısım patlayıcı maddenin yerleştirildiği deliktir (patlatma bölgesi). Bu deliğin civarı darbenin etkisiyle plastik deformasyona uğrar. Diğer bir deyişle, delik cidarı yoğrulmuş bir hamur gibi şekil değiştirir. Plastik deformasyon bölgesi genellikle kaya özelliklerine göre bir veya birkaç milimetre genişliğindedir. Kil gibi plastik deformasyonlarda kırılma olmaksızın deliğin genişlemesi şeklinde görülen bir deformasyon, deliğin kovan yapması olarak adlandırılır. (Kahrıman, 1996)

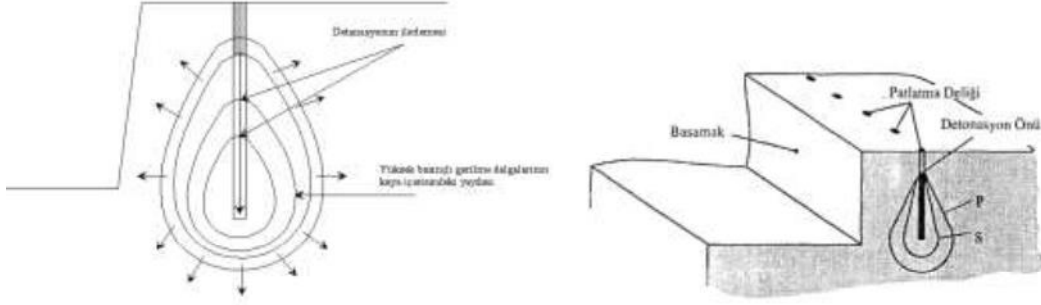


Şekil.2.1. Kaya İçindeki Patlatma Deliğinin Çevresindeki Parçalanması (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

Patlatma boşluğu ve plastik deformasyon bölgesini, parçalanma bölgesi (geçiş bölgesi) çevreler. Bu bölge iki alt bölgeden oluşur. İç tarafta kırılma bölgesi, bunun dışında çatlama bölgesi vardır. Kırılma bölgesinde kaya tamamen parçalanmıştır. Bu bölgedeki parçalanma, darbe sonucu oluşan basınç birim deformasyon dalgasının (BDD) kayanın dinamik basınç-birim deformasyon limitinden (plastic yield) fazla olması nedeniyle oluşur. Kırılma bölgesi genişliğinin genellikle delik çapının 7,5 katına kadar genişlediği görülmüştür. Kırılma olayını meydana getiren BDD' nin şiddeti gittikçe azalır ve daha fazla kırılma meydana getirmez. Ancak oluşturduğu yoğun ışınal (yarıçap yönünde) basınç sonucu dalga cephesine teğet yönde dinamik çekme birim deformasyon dalgaları (ÇDD) oluşur. ÇDD da dinamik çekme birim deformasyon limitini aştığı sürece ışınal çatlamlar devam eder. Hem ışınal (radyal) hem de teğet çatlakların olduğu çatlama bölgesi, ışınal çatlakların ucu ile sınırlanır. Çatlama bölgesi genişliğinin delik (şarj) çapının on iki katına kadar ulaştığı görülmüştür.

Detonasyonun hemen sonrasında şok yada birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Detonasyon sonrasında ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Yayılımın geometrisi öncelikle şarjın biçimine bağlıdır. gayet, şarj kısa ise oluşan yayılım küresel, şarj uzun ise yayılım silindirik şekilli olacaktır (Anon, 1986). Bununla birlikte basamak

patlatmasında deliğe doldurulan patlayıcı madde delik tabanından ateşlendiğinde bu yayılım küresel yada silindirik şekilli olmayacaktır (şekil 2.2).



şekil 2.2. Detonasyon boyunca gerilme dalgalarının kaya içerisinde yayılımı (Anon, 1986, Daehnke ve Rossmanith,1997)

Delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşacak ve daha sonra exponansiyel olarak bozulacaktır. Bu hızlı bozulma nedeniyle delik genişleyecek ve gaz soğuyacaktır. Boşluk genişlemesi çatlamalara, ufalanmalara ve/veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır. Genellikle delik cidarında dalga enerjisi maksimum olduğundan basınç, makaslama ve çekme yenilmeleri sonucunda ufalanma bölgesi meydana gelmektedir (Anon, 1986).

Patlatmanın oluşturduğu basınç dalgası parçalanma bölgesindeki kırılma ve çatlama olaylarında enerjinin bir kısmını harcadığından, şiddetin düşmesi (sönmesi) sonucu ve yakında serbest yüzey bulunmadığından, elastik titreşim dalgası olarak sonsuz kaya ortamı içinde dağılır gider. Titreşimlerin olduğu bu bölgeye sismik bölge adı verilir.

Eğer yakında basamak aynası veya açık fay, açık eklem gibi süreksizlikler varsa bunlar birer serbest yüzey olarak etkirler. Sismik bölgede titreşimlere neden olan BDD bu serbest yüzeye geldiğinde, hava boşluğuna geçmeyerek yansır ve ÇDD'sına dönüşür. Bu yansıyan dalga yeterli şiddette ve genellikle kayaların çekme dayanımları çok düşük olduğu için kaya yaprak yaprak parçalanmaya başlar. Birbiri peşi sıra gelen BDD'ları haline dönüştükçe dilim dilim koparıma olayı da devam eder. Dilimlenme olayı ikincil parçalanma mekanizmalarının ilkidir.

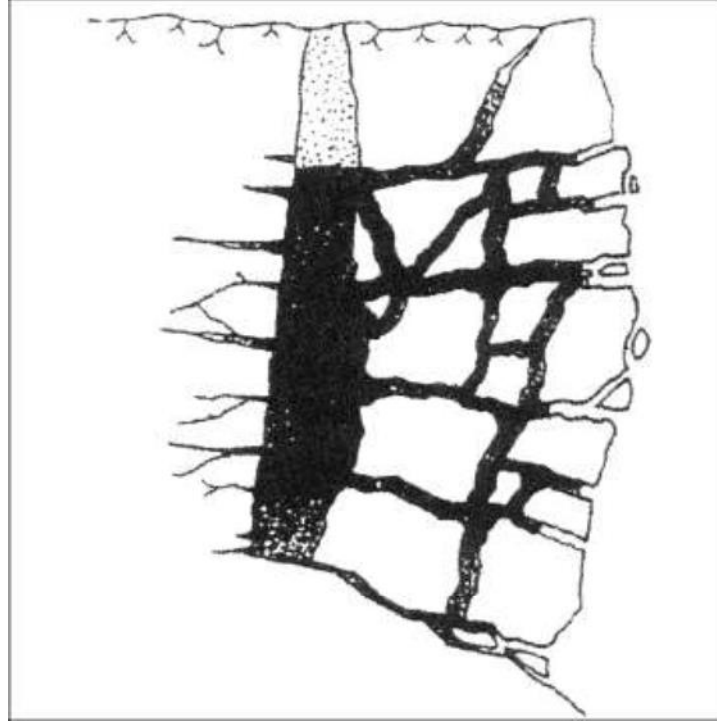
İkincil parçalanma mekanizmalarının ikincisi ise formasyon kontak ve dokanaklarında görülür. İki ayrı cins kayanın deformasyon modülleri arasındaki fark arttıkça gelen

BDD'sının bu formasyonlarda oluşturduğu deformasyonlarda farklı olur. Birim deformasyon farklılığının büyüklüğü tabakaların farklı hareketi sonucu makaslama çatlama oluşturur (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988).

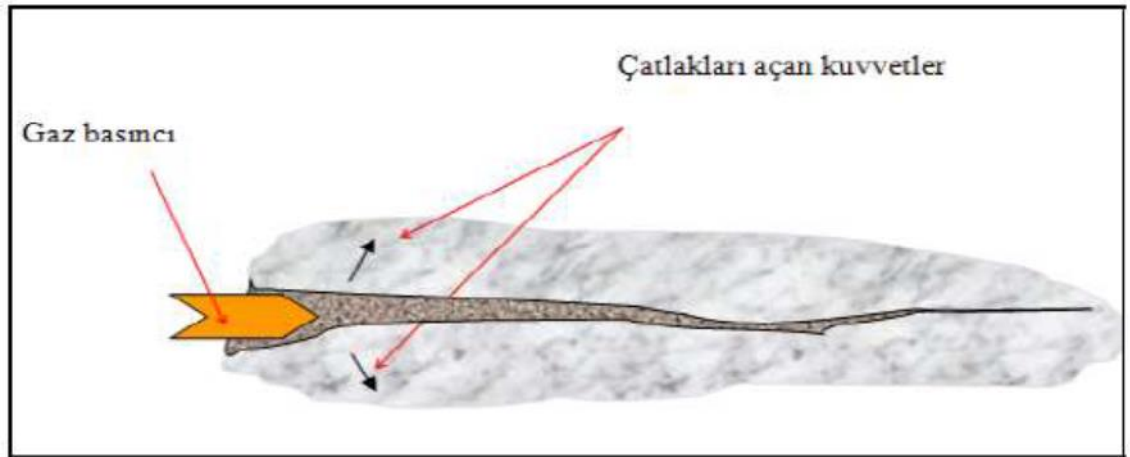
Birim deformasyon dalgasının yayılımı esnasında ve/veya sonrasında, delik etrafında arazi gerilmelerine dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durumun parçalanmanın temel mekanizmasını oluşturduğu hususunda çeşitli tartışmalar vardır. Bazıları baştan başa kaya kütlelerinin çatlak ağlarının tamamlandığına inanırken, diğerleri büyük çatlakların henüz başladığına inanmaktadır. Her ne olursa olsun, parçalanmış malzemenin yer değiştirmesini bu yüksek gaz basınçları sağlamaktadır.

Kaya kütlesi içerisinde bu gazların hareket yönleri tam olarak bilinmese de direnci en düşük olan yolu izleyecekleri açıktır. Bu anlamda, gazlar öncelikle var olan çatlakların, eklemlerin, fayların ve süreksizliklerin ve buna ek olarak düşük kohezyonlu yada temassız malzeme tabakaları içerisinde hareket edecektir. Gayet, bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyor ise gazların bu süreksizliklerden atmosfere çıkmasıyla basınç düşecek, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalacaktır. Kaya kütlesi içerisinde gaz basıncının hapsedilme süresi patlayıcının cinsine, miktarına, malzeme cinsine, yapısına, çatlak ağlarına, sıkılama malzemesi cinsine, miktarına ve dilim kalınlığına bağlı olmaktadır. Hapsedilme süresi değişik malzeme, patlayıcı madde ve dilim kalınlıklarında 5-110 ms aralığında değişmektedir. Genellikle dilim kalınlığının artırılması ve yüksek enerjili patlayıcı madde kullanımı ile gazın hapsedilme süresi artırılabilir (Arnoğlu., 1990).

İkincil parçalanma mekanizmalarının üçüncüsü çatlakların gaz basıncıyla açılıp uzamasıdır. Gaz basıncı ile çatlak oluşumu Şekil 2.3.ve 2.4.'te gösterilmiştir. Patlayıcı maddenin meydana getirdiği basınç altındaki gaz hem doğal; hem de patlatmayla oluşturulmuş çatlaklara girerek onları yarar ve kama etkisi oluşturarak çatlakların uzamasına yol açar.



Şekil 2.3. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

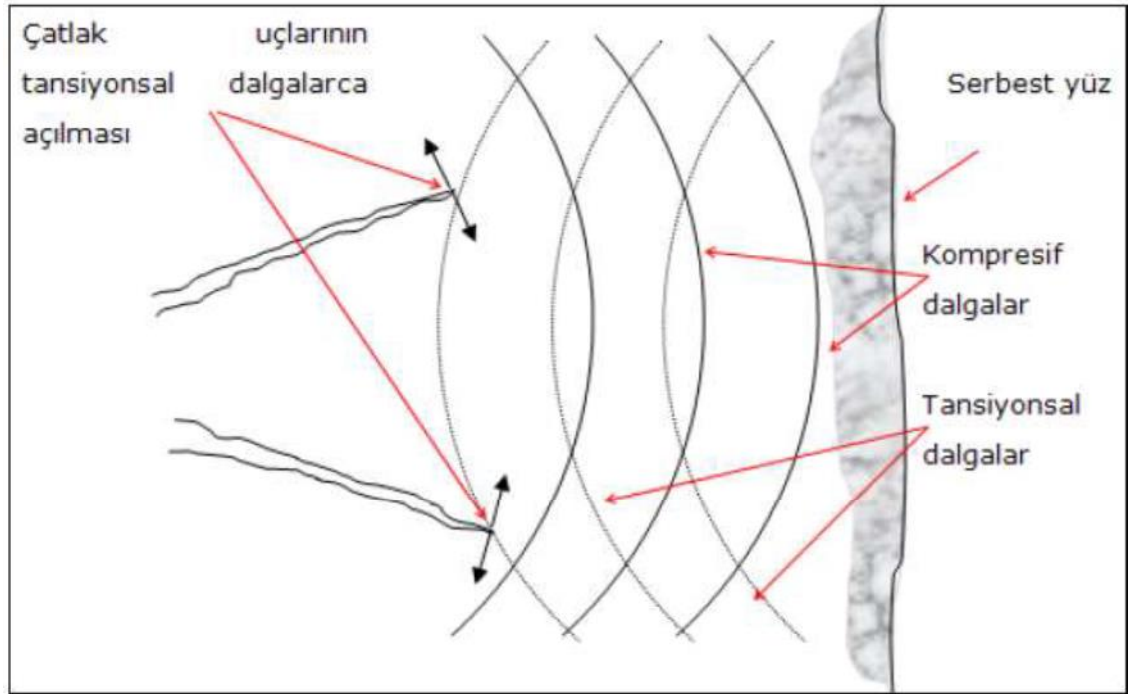


Şekil 2.4. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu (Schillinger, 2006)

Hem deliği çevreleyen çatlakların uzaması ve hem de serbest yüzeyde deliğe doğru, dilim dilim parçalanma sonucu arada çok dar bir kaya bölümü parçalanmamış olarak kalır. Bu kısım ise deliği çevreleyen çatlakları dolduran; fakat henüz yeterli düzeyde olan gaz basıncı ile ileri doğru püskürtülerek parçalanır. İkincil parçalanma mekanizmalarının dördüncüsü olan gaz basıncının püskürtülmesiyle parçalanma ile delik grubunun yer aldığı basamak bölümü tamamen parçalanmış ve bir miktar kabarak öne (ocak içine) doğru ötelenmiş olur. Böylece patlatılan kısmın

parçalanması tamamlanır. Daha sonra son sıra (en gerideki) deliklerin gerisinde bulunan ve patlatma sonucu basınç birim deformasyonuna maruz kalmış (sıkışmış) olan basamak bölümü önündeki yükün aniden kalkması sonucu birden ferahlar ve bunun sonucu olarak patlatmanın gerisinde kalan basamakta aynaya paralel dik ve dike yakın çatlaklar oluşur. Sıkıştırılmış bir yayın aniden serbest bırakılması sonucu geri uzamasına benzer bir yolla basamağın arka kısımlarında paralel çatlakların oluşumu yük boşalmasıyla çatlama olarak adlandırılır. Böylece ikincil parçalanma mekanizmaları da sona erer.

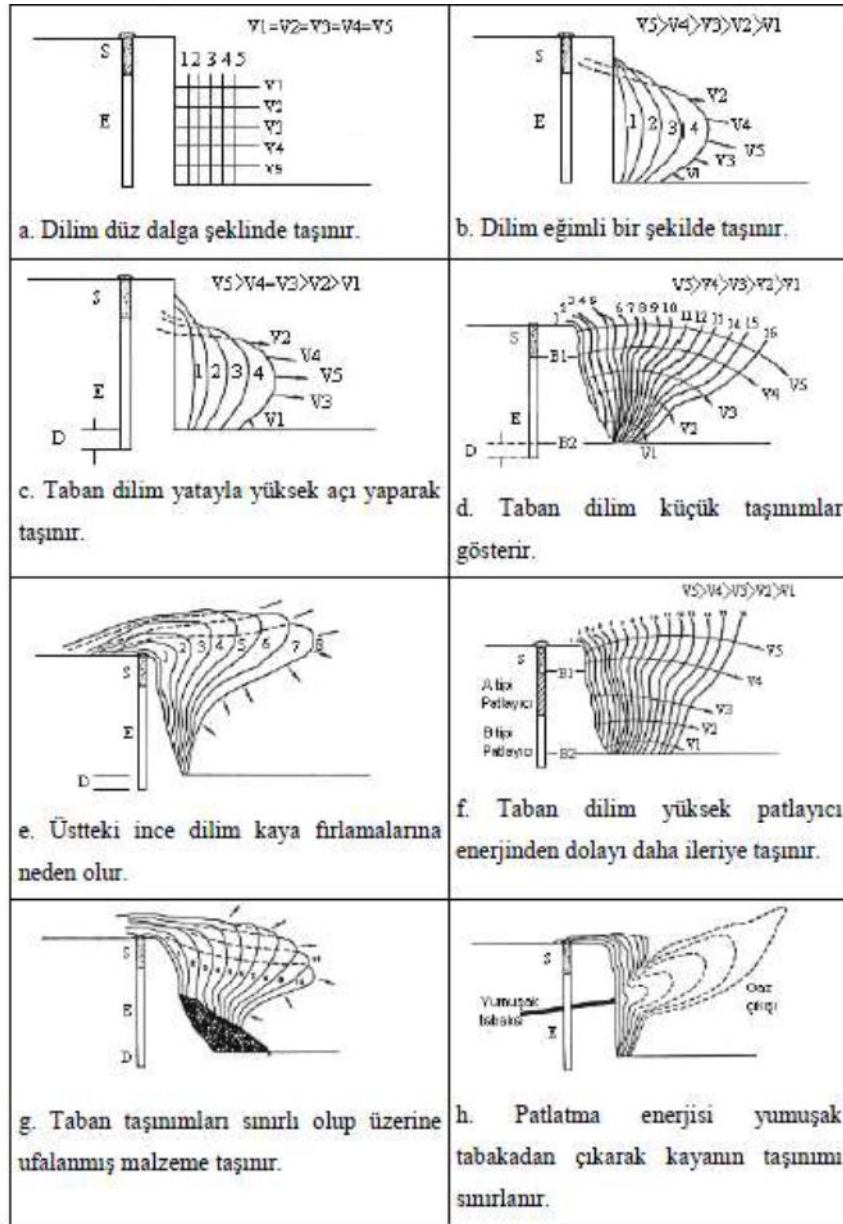
Basamaklarda açılan deliklerin şarjı, silindirik olduğundan, dalgaların yayılımı şarjın taban ve tavan kısmında küresel olurken orta kısmında silindirik bir hal almaktadır.



Şekil 2.5. Patlatma ile birlikte oluşan dalga yayılımı (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

Parçalanma işleminde son aşama malzemenin hareketidir. Gaz basıncı yada basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma meydana gelmektedir. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli parametre delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Değişik durumlara göre malzeme taşınımları şekil : 2.6'da verilmiştir. Delik doldurulup ateşlendikten sonra

oluşan bu dört aşamadaki, basamak ve sonsuz kaya ortamında oluşan parçalanma olayları kesit ve plan görünüş olarak şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Değişik koşullarda kütle taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik taban payı) (Anon, 1986)

2.2.1. Patlayıcı Maddelerin Özellikleri

Patlayıcı madde kullanan bir kurumun kullanacağı patlayıcı maddeyi doğru olarak seçebilmesi için bilmesi gereken bazı özellikler vardır. Bu özelliklerin çok iyi bir şekilde incelenmesi yaşamsal açıdan çok önemlidir. Çünkü patlayıcı madde kullanımında bir kez hata yapma imkanı vardır ikinci bir şans bulunmamaktadır.

Patlayıcı maddeler önceleri daha çok Nitrogliserin esaslı oldukları için özellikleri buna bağlı olarak ele alınmıştır. Başlangıçta kurşun blok testi, detonasyon hızı, duman karakteri gibi özellikler üzerinde durulurken yeni nesil patlayıcılar ile birlikte birçok değişik özellik ortaya çıkmıştır. Bunların belli başlıları, sırasıyla incelenecektir.

2.2.1.1. Detonasyon Hızı

Detonasyon reaksiyonun patlayıcı kolonu boyunca takip ettiği hızdır. Detonasyon hızının yüksek olması, bünyesindeki enerjiyi o denli çabuk saldığının göstergesi olduğu için bir anlamda kuvvet göstergesi de olmuştur. Daha sonra tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Bununla beraber diyebiliriz ki; yüksek detonasyon hızlı patlayıcıların kırma, parçalama özelliği daha fazladır, detonasyon hızı düşük olan patlayıcıların öteleme, yığılma özellikleri daha fazladır. Ticari patlayıcılarda bu değer 5.000 ile 26.000 ft/sn (1.500-7.900 m/sn) arasında değişmektedir. Tablo 2. 1. 'de bazı patlayıcıların detonasyon hızının (VOD) patlatma deliğinin çapına göre değişimi görülmektedir.

Tablo 2.1. Detonasyon hızının çapa bağlı değişimi(Orica ,2013)

Tip	Çap		
	1 ¼ inç	3 inç	9 inç
Granül dinamit	7-19.000		
Jelatin dinamit	12-25.000		
Paketlenmiş slurry	13-19.000	14-19.000	
Bulk slurry		14-19.000	12-19.000
Sıkıştırılmış ANFO	7-10.000	12-13.000	14-15.000
ANFO	6-7.000	10-11.000	14-15.000
Paketlenmiş ANFO		10-12.000	14-15.000
ANFO-Slurry karışımı			11-19.000

Patlayıcı maddenin patladığı koşullardaki infilak hızı, patlayıcının performansının ve ideallik derecesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden birisidir. Gerek ülkemizde gerekse dünyada üretilen emülsiyon tip, slurry tip ve nitrogliserin bazlı patlayıcı maddeler ile ANFO gibi ticari patlayıcı maddeler ideallikten uzak bir davranış gösterirler. Bu nedenle, ticari patlayıcı maddeler hiçbir zaman arazideki olağan patlatma koşullarında ideal detonasyon hızında patlamazlar. Uygulamalarda bir çok ticari patlayıcının detonasyon hızı 3.000-5.500 m/sn arasında değişmektedir (Özer ve diğ. 1996). Patlatmalarda patlayıcının performansı her zaman detonasyon hızıyla

artmaz. Bazı kaya yapılarında düşük detonasyon hızına sahip patlayıcı maddeler daha iyi performans gösterirler. Yüksek detonasyon hızına sahip patlayıcı maddeler genellikle yüksek dayanıma sahip masif kayalarda daha iyi patlatma performansı verir. Düşük detonasyon hızına sahip patlayıcı maddeler düşük dayanıma sahip kayalarda daha iyi performans vermektedir.

Patlayıcı maddelerin detonasyon hızlarını etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bunlar arasında ;

- ✓ Kartuş çapı,
- ✓ Patlayıcı madde yoğunluğu
- ✓ Ortam katılığı (confinement)
- ✓ Parçacık boyutu bulunmaktadır.

Nitrogliserin bazlı patlayıcı maddeler, nitrogliserin gibi yüksek detonasyon hızına sahip bir patlayıcı madde içermektedir. Dolayısı ile bu tip patlayıcıların detonasyon hızları diğer patlayıcı tiplerine göre daha yüksektir. Dinamitin içerisindeki nitrogliserin miktarı direk olarak detonasyon hızını etkilemektedir. Nitrogliserin miktarının artması detonasyon hızının arttırmasına rağmen dinamitin hassaslığının da artmasına sebep vereceğinden üretim, depolama, taşıma ve kullanım sırasında büyük bir tehlike yaratmaktadır.

Emülsiyon tip patlayıcılar, nitrogliserin bazlı dinamitlerin üretimi ve kullanımı sırasında yaşanan kazalar sonunda daha güvenli üretim ve kullanım sağlamak için sürekli yapılan araştırmalar sonucunda bulunmuş; ülkemiz ve dünyada en çok kullanılan patlayıcı madde olmuştur. Amonyum nitrat bazlı bir patlayıcı olup sıvı ortamda çeşitli yağ ve hassaslaştırıcı maddelerin ilave edilmesiyle üretilen emülsiyon tip patlayıcı maddelerin detonasyon hızlarını nitrogliserin bazlı dinamitlere göre biraz daha düşüktür. Ancak uygulamalarda çok sert kayalar dışında nitrogliserin bazlı dinamitlerle eşdeğer performans sağlamaktadır. Dünyada Nitrogliserin bazlı dinamit tüketimi sürekli olarak azalmaktadır.

Patlayıcı maddenin çapı arttıkça detonasyon hızı da artmaktadır. Kaliteli ANFO'yu ele aldığımızda 89 mm'lik bir delik çapında 76 mm'lik bir delik çapına göre ANFO daha yüksek bir detonasyon hızında patlamaktadır. Değişik tipte patlayıcı maddelerin detonasyon hızları farklı çaplarda ve değişik ortamlarda (açıkta veya delik içerisinde) farklı sonuçlar vermektedir.

Detonasyon hızlarının açıkta, PVC boru içerisinde veya çelik boru içerisinde ölçülmesi ve ölçümün yapıldığı delik çapı çok önemlidir. Her durumda farklı detonasyon hızları ortaya çıkacaktır. İdeal detonasyon hızları verilmiş ise bunun hiçbir önemi yoktur.

Patlayıcının detonasyon hızlarının yanında kullanılan kaya yapısının dayanımı ve durumu da çok önemlidir. Eğer düşük dayanımlı bir kaya yapısı var ise ve yüksek detonasyon hızına sahip bir patlayıcı kullanıyorsak, o kaya yapısında o patlayıcı maddenin performansı kesinlikle düşük olacaktır (Kahrıman,1999).

Patlayıcı maddenin yoğunluğunun artması detonasyon hızını da arttırmaktadır. Ancak ANFO gibi toz patlayıcılarda yoğunluğun artması detonasyonu sağlayan ve hot spot adı verilen boşlukların yok olmasına neden olacağından negatif etki yaratarak, detonasyon hızının düşmesine yol açmaktadır.

2.2.1.2. Patlayıcı Maddenin Gücü veya Kuvveti

Patlayıcı maddenin patlaması sonucu ortaya çıkan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Birimi Kcal/kg'dır. Bu özellik patlayıcının iş yapabilme yeteneğini de gösterir. Patlayıcı maddenin kuvveti ağırlık kuvveti ve hacim kuvveti olmak üzere iki değişik şekilde incelenir. Ağırlık kuvveti patlayıcı maddenin birim ağırlığının iş yapabilme yeteneğidir. Hacim kuvveti ise patlayıcının birim hacminin iş yapabilme yeteneğidir. Patlayıcı maddelerin kuvvetlerini ölçmek için birkaç değişik yöntem uygulanır. Bir patlayıcının gücü deneysel yöntemlerle hesaplanabilir. Deneysel yöntemler arasında; kurşun blok testi, sismik test, balistik havan testi, kabarcık enerji testi gibi yöntemler bulunmaktadır. Kurşun blok yönteminde, 10 g mertebesinde patlayıcı madde belirli boyutta hazırlanmış kurşun blokların içerisinde hazırlanan ve hacmi bilinen deliklerin içinde patlatılmakta, patlayıcı yerleştirilen delikte sağlanan hacim artışı saptanmakta, en fazla hacim artışı sağlayan patlayıcının en kuvvetli olduğu kabul edilmektedir.

Krater yönteminde, belirli miktarda patlayıcı madde, belirli jeolojik ve fiziksel özellikteki kaya yapıları içerisinde aynı koşullarda patlatılmakta, oluşan krater hacimleri karşılaştırılmak da, doğal olarak en büyük krateri yaratan patlayıcı en kuvvetli olanı olarak kabul edilmektedir.

Akvaryum testinde, belirli miktarda patlayıcı madde, tüm parametreleri bilinen havuz içerisinde patlatılmaktadır. Oluşan şok dalga ve cepheleri ölçülerek patlayıcılar kıyaslanmaktadır.

Sismik yöntem, sismik ölçüm cihazlarının ilk çıktığı zamanlar denenmiş bir yöntemdir. Yine belirli jeolojik ve fiziksel özellikleri olan kaya yapıları içerisinde yine belirli

miktarda patlayıcı madde aynı koşullarda patlatılmakta ve yarattıkları sismik değerler ölçülmekte, en büyük sismik değeri veren patlayıcı en kuvvetli olarak kabul edilmektedir.

2.2.1.3. Yoğunluk

Patlayıcı maddenin yoğunluğu fiziksel olarak birim hacminin ağırlığı ile ifade edilir. Detonasyon sürecinde birim zamanda devreye giren kütleyi gösterir. Birimi gr/cm^3 olarak verilebilir. Ticari patlayıcı maddelerin yoğunluğu $0,5 - 1,7 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Patlayıcı maddenin yoğunluğu, basit anlamda, birim zaman içerisinde reaksiyona giren patlayıcı miktarını işaret ettiği için, hem detonasyon hızı, hem de detonasyon basıncı üzerinde etkilidir. Patlayıcı maddenin yoğunluğunun artması detonasyon hızını arttırır. Nitrogliserin bazlı dinamitlerin yoğunluğu emülsiyon tip patlayıcılardan daha yüksek olduğundan detonasyon hızları da yüksektir. Patlayıcının duyarlılığının ve detonasyon basıncının oluşmasında da önemli rol oynar. Bununla beraber “detonasyon” olayının karakterine bağlı olarak, yoğunluk patlayıcıların duyarlılığını olumsuz etkilemektedir. Patlayıcı maddenin yoğunluğu dizaynda ve patlayıcının kuvvetinin belirlenmesinde kullanılan bir parametredir. Genel olarak yüksek yoğunluk daha fazla enerji üretimini gösterir (Şeran ve Akay, 1999).

Aynı patlayıcılar değişik yoğunluklarda değişik performans göstermektedir. Örneğin, $0,76-0,8 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki ANFO 89-102 mm deliklerde çok iyi bir patlama karakteri gösterirken, $0,9-0,95 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki ANFO daha düşük performans ile detone olmaktadır. Bu olay aslında çok komplikedir.

Patlayıcı maddenin yoğunluğunun fazla olması delik içerisinde daha fazla sarfiyatı gerektirmektedir. Özellikle şantiyelerde yasa dışı olarak gübre amaçlı amonyum nitratlardan hazırlanan ANFO'lar yoğunluklarının 1 gr/cm^3 civarında olması sebebi ile hazır ANFO'lara göre % 20 civarında daha fazla kullanılmaktadır (Coşkun, 2001).

2.2.1.4. Detonasyon Basıncı

Detonasyon basıncı patlayıcı madde içinde yayılan şok dalgasından kaynaklanan ani bir basınçtır. Bir patlayıcı madde için ilk ateşleyici (yemleme) seçimi açısından çok önemlidir. Detonasyon basıncı patlayıcının yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Yüksek detonasyon basıncı patlayıcının kırma özelliği açısından gereklidir. Eğer patlatmadan yüksek kırma isteniyor ise, patlayıcının en yüksek yoğunluğuna getirilerek kullanılması

erekir. Eğer dayanımı olmayan kayalarda (örneğin kömür) patlatma yapılacaksa, patlayıcıların düşük yoğunluklu formları kullanılmalıdır. Bu parametre patlayıcıların tanımında çok kullanılanlardan bir tanesidir. Detonasyon basıncının doğru olarak ölçülebilmesi olası değildir. Bunun önemli nedenlerinden bir tanesi, doğru ölçüm yapabilmek için, içinde patlatma yapılan tüpün patlama sırasında hiçbir plastik deformasyona uğramaması gerekir. En ufak bir plastik deformasyon hacim değişikliğine, dolayısı ile doğru basınç karşılaştırmasının bozulmasına neden olur. Bunun yerine termodinamik disiplinin, kütlelerin sakınımı, momentin sakınımı gibi prensipleri kullanılarak oluşturulan denklemler ile patlayıcıların detonasyon basıncı kıyaslanabilmektedir.

$$P1 = \delta_0 \times D \times W \quad (2.68)$$

Bağıntısını vermektedir. Burada;

P1 : Detonasyon basıncı

δ_0 : Patlayıcı yoğunluğu

D : Detonasyon hızı

W : Detonasyon cephesi arkasındaki gazların hızı

Burada ölçülmesi en zor olan eleman gazların hızıdır. Bu nedenle yukarıdaki bağıntı detonasyon basıncını doğrudan hesaplamak yerine, şu yorumun yapılmasında kullanılmaktadır; Detonasyon basıncı patlayıcının yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Yüksek detonasyon basıncı patlayıcının kırma özelliği açısından gereklidir. Eğer patlatmadan yüksek kırma isteniyor ise, patlayıcının en yüksek yoğunluğuna getirilerek kullanılması gerekir. Eğer dayanımı olmayan kayalarda (örneğin kömür) patlatma yapılacaksa, patlayıcıların düşük yoğunluklu formları kullanılmalıdır.(Özer, 1996)

2.2.1.5. Detonasyon Stabilitesi

Detonasyonun, patlatma kolunu boyunca sabit bir şekilde devam edebilmesidir. Bu özellik, patlayıcı maddelerin detonasyona kesintiye uğramadan devam edebildiği minimum çaplar ile ifade edilir. Bu minimum çaplar kritik çap olarak adlandırılır. Kritik çapın altındaki boyutlarda detonasyona girmezler. Özetle kritik çap; patlatmanın olduğu en küçük çaptır ve bu çapın altında detonasyon meydana gelmez. Kritik çap her patlayıcı için değişir. Kritik çap değerleri bazı patlayıcılar için çok çok küçüktür ve pratik olarak sıfır kabul edilirler. (PETN, Kurşunazid gibi) Bu yüzden bu patlayıcılar fitil veya kapsül yapımında kullanılmaktadır. Saf amonyum nitrat için kritik çap 250 m

civarındadır. Örneğin bazı sıvı patlayıcılar pompalanırken, hortum çapları kritik çapın altında tutulur. Böylelikle pompalama sırasında detonasyonun oluşması önlenmiş olur. Öte yandan da, uygulama sırasında patlatma delikleri kritik çap değerinden büyük tutularak detonasyonun optimum verimde gerçekleşmesi sağlanmış olur. Örneğin, çok kullanılan ANFO ve Emülsiyon tipi patlayıcıların detonasyon hızları çap ile değişmektedir. Günümüzde bunların kritik çapları 51 mm (2 inç) nin altına düşmüştür. Bununla beraber en verimli detonasyon hızlarına 89 mm nin üstünde ulaşmaktadırlar. Birçok üretici ürünlerinin detonasyon hızlarını 102 veya 115 mm çaplarında vermektedirler.

2.2.1.6. Oksijen Balansı

Patlayıcı maddelerin özelliklerinden bir tanesi dışardan oksijen alma gereksinimlerinin olmamasıdır. Kimyasal olarak gerekli olan oksijen bünyelerinde vardır. Patlayıcı maddeler oksitleyici, indirgeyici ve duyarlandırıcı olmak üzere üç temel kısımdan meydana gelir. ANFO'da amonyum nitrat oksitleyici, mazot ise indirgeyicidir. Nitrogliserin gibi patlayıcı maddeler için oksijen dengesi söz konusu değildir. Yeterli şok ile karşılaştıklarında detone olurlar.

Oksijen balansı özellikle yeraltı patlatmaları için oldukça önemlidir. Oksijen fazlalığı azot oksitlerin oluşmasına, oksijen azlığı ise CO oluşmasına sebep olur. Bu gazlar zehirlidir ve ölüme sebebiyet verir. Açık işletmelerde patlatma sonucu açığa çıkan gaz hızla dağıldığı için çok nadir olarak sorun yaratmaktadır.

2.2.1.7. Enerji Aktarma Oranı

Patlayıcı maddeler tüm enerjilerini kaya yapılarına aktarmazlar. Bu bir ölçüde, patlayıcının özellikleri ile kaya yapısının özelliklerinin uyuşmamasından kaynaklanır. Kartuş patlayıcıların kullanımında, zaman zaman kartujlar, kendilerinden büyük çaplı deliklere konmuştur. Bu geometrik uyumsuzluk, patlayıcı enerjisinin tümünün kaya yapısına geçmesini engellemektedir.

ANFO gibi harç patlayıcılar gibi dökümlü patlayıcı maddelerde, geometrik uyumsuzluk ortadan kalkmaktadır. Çünkü patlayıcı deliği tamamen doldurulmaktadır. Patlayıcı madde empedansı, patlayıcı yoğunluğu ile detonasyon hızının çarpımına eşittir. Kaya apısının empedansı ise kayanın yoğunluğu ile içinde dalga yayılma hızının çarpımıdır.

$$R_p = \text{Patlayıcı Empedansı} = T_p \times D \quad (2.69)$$

$$R_k = \text{Kayanın Empedansı} = T_k \times V \quad (2.70)$$

$R = R_p/R_k$ empedanslarının oranıdır.

Empedans oranı 1'e yakın olursa en ideal enerji aktarımı gerçekleşir. Patlayıcının empedansının küçük olmasının, paydanın küçük olmasına, dolayısıyla ile aktarılabilen enerji oranının yüksek olmasını sağladığı görülür. Düşük empedanslı patlayıcı maddeler, enerjilerinin daha büyük bir kısmını kaya yapısına verebilmektedir.

2.2.1.8. Patlayıcı Madde Duyarlılığı

Patlayıcı maddenin patlayabilmesi için minimum bir enerji ihtiyacı vardır. Bu enerji miktarı o patlayıcının duyarlılığını verir. Duyarlılık bakımından patlayıcılar ikiye ayrılır;

Kapsüle Duyarlı Patlayıcı Maddeler : Bu patlayıcıların duyarlılığı yüksektir. Bu tür patlayıcıların kapsülle patlatmak mümkündür.

Kapsüle Duyarsız Patlayıcı Maddeler : Bazı patlayıcıların duyarlılığı düşüktür. Bu tür patlayıcı maddelerin patlatılabilmesi için yemleyici patlayıcı maddelere ihtiyaç vardır. Patlayıcı maddenin duyarlılığını etkileyen bazı faktörler vardır. Örneğin delik dibindeki su, uygun olmayan şarj çapı, aşırı sıcaklık değişimleri gibi faktörler patlayıcı maddenin duyarlılığını azaltır.

2.2.1.9. Patlayıcı Maddelerin Suyu Dayanıklılığı

Patlayıcıların özelliklerini değiştirmeden su içinde kalabilme özelliği suya direnç olarak adlandırılır. Bir patlayıcı özelliğini yitirmeden su altında 24 saat kalabiliyorsa, bu patlayıcı "suya dirençlidir" denir. Patlayıcı maddeler sudan iki şekilde etkilenirler. Bunlar,

- ✓ Patlayıcıların bünyesinde bulunan organik tuz suda çözünüp ayrılabilir.
- ✓ Su basıncı nedeni ile hava kabarcıklarının miktarı ve boyları azalır.

Böylece duyarlılığı temin eden "hot spot"lar ortadan kalkar. Buda patlayıcıların ağırlaşmasına yol açar.

Emülsiyon tipi patlayıcılar suya karşı daha dirençlidir. Bu tip patlayıcılara tuz, yağ, wax gibi maddeler ilave edilmiş olduğundan ve bu maddeler de su ile karışmayıp, bir film tabakası meydana getirdikleri için, patlayıcı içine duyarlılığı amacı ile konan mikro karboncukların oluşturdukları "hot spot"lar ortadan kalkmaz. Suyu karşı dayanıklı olmayan patlayıcılar, plastik gibi uygun kaplama maddeleri ile kaplanarak, ıslak deliklerde kullanılabilir. Ancak bu da kesin çözüm değildir. Sulu deliklerde suya karşı kesin çözüm yemlemeye duyarlı emülsiyon patlayıcıların ANFO yerine kullanılmasıdır.

Su bazlı patlayıcı maddelerin bileşimindeki tuzları çözerek yapısını bozar veya su basıncı nedeniyle hava kabarcıklarının büyüklüğü ve miktarı azalarak patlayıcı maddenin hassasiyeti zayıflar. Bunların neticesinde patlatma verimi düşer. Ateşleme sonrası delikten pas rengi ve sarı renkte bir duman yayılması verimsiz bir patlatmayı gösterir ve genelde bunun sebebi ortamdaki sudur. Su ortama oksijen vererek oksijen balansını bozmakta ve verimi düşürmektedir.

Patlayıcıların suya dayanıklılığı çok değişik şekillerde tarif edilmektedir. Bunlardan biri mükemmel, güzel, iyi, zayıf gibi terimlerle sınıflandırılmasıdır. Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı(Barutsan, 1997)

Tip	Suya dayanıklılık
Granül dinamit	Zayıf & güzel
Jelatin dinamit	Güzel & mükemmel
Ambalajlı slurry	Çok güzel
Bulk slurry	Çok güzel
Sıkıştırılmış ANFO	Zayıf
ANFO	Zayıf
Ambalajlı ANFO	Çok güzel
ANFO-Slurry karışımı	Zayıf & çok güzel

2.2.1.10. Patlayıcı Maddelerin Depolama Ömrü

Patlayıcı maddeler genellikle uzun süreler depolarda bekletildikleri için, patlayıcı maddelerin depolama ömrü büyük önem taşımaktadır. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar, özellikle uzun süre depolarda bekletildiklerinde bünyelerinde bulunan hava kabarcıkları kısmen veya tamamen ayrılarak patlayıcının ateş alma hassasiyetini ve patlama özelliğini bozar. Ancak bu olay toplam enerjiyi etkilemez. Bu nedenle bu tür patlayıcılar yüksek sıcaklıklarda depolanmamalıdır. Yüksek sıcaklıklarda depolama yapılırsa, patlayıcı yumuşar ve bünyesindeki tuz kartuş kağıdın içerisine nüfuz ederek bozulma meydana gelir. Bu nedenle depolama sıcaklığı 32°C'yi geçmemelidir. Ayrıca 32°C amonyum nitrat içinde kritik bir sıcaklıktır. Bu sıcaklığın üzerinde patlayıcı içerisinde bulunan amonyum nitrat bozularak patlayıcının şişmesine, bu da kartuşun bozulmasına neden olur. Ancak bu husus patlama özelliğini etkilemez. Ayrıca depolama sırasında ortam nemi de önemlidir. Özellikle kartuşlanmış toz tipi dinamitler neme karşı hassastır. Nemli ortamda bırakılan bu tip patlayıcıların bünyesinde bulunan tuz tortulaşarak sertleşmeye neden olur. ANFO'da neme karşı son derece hassas olup, nemli ortamlarda

depolanması durumunda kekleşme meydana gelir. Kullanıcının stok seviyesini düzenlemesi için, üretici ürettiği patlayıcı maddelerin güvenli raf ömrünü ve depolama koşullarını belirtmelidir.

2.2.1.11. Duman ve Gaz Karakteri

Gaz ürünler iki ayrı açıdan önem göstermektedir; birincisi gaz ürünlerin hacmi detonasyon sıcaklığında çok büyük boyutlarda genişlemekte ve kayacın kırılması ve ötelenmesi işinde görev almaktadır. Kolaylıkla denebilir ki; gaz hacmi yüksek patlayıcıların kayaçları öteleme karakteri daha fazladır. Gaz ürünlerin önemli olduğu ikinci açı ise, işçi ve çevre güvenliğidir. Detonasyon reaksiyonun ideal koşullarda gerçekleşmesi durumunda gaz ürünlerin; azot, su buharı, karbondioksit gibi gazlardan oluşması gerekmektedir. Bunların hiç biri zehirli değildir. Öte yandan, gerçekte hiçbir zaman ideal koşullar oluşamayacağı için gaz ürünlerin içerisinde, az veya çok, karbon monoksit, nitrojen oksitler gibi çok zehirli elemanlar da oluşur. Bu gazların oluşması bir yandan da detonasyonun ideal olarak oluşmaması nedeni ile enerji kayıpları olduğunu işaret eder. Detonasyon sonucu oluşan bu gazlar genellikle açık işletmelerde herhangi bir problem yaratmamakla birlikte, yeraltındaki patlatma operasyonlarında belli sınırların üzerinde, çalışan kişiler için tehlike meydana getirmektedir.

Patlayıcı maddeler ne kadar oksijen dengesinde üretilirse üretilsin patlatma koşulları zehirli gaz üretimine yol açabilir. Bu koşullar arasında;

- ✓ Gereğinden küçük delik çapı,
- ✓ Yetersiz yemleme veya ateşleme,
- ✓ Su

bulunmaktadır. Bu durumda patlatma anında toksik gaz oluşumu kaçınılmazdır.

Patlayıcıları duman karakterine göre üç sınıfa ayırmak mümkündür (Erkoç,1990).

- ✓ Duman sınıfı 1 : 25lt/kg'dan az zehirli gaz,
- ✓ Duman sınıfı 2 : 25-50 lt/kg arası zehirli gaz,
- ✓ Duman sınıfı 3 : 50-100 lt/kg arası zehirli gaz

Bu sınıflandırma da 2. ve 3. sınıf duman sınıfı patlayıcıların yer altında kullanılması zehirlidir. Yapılan patlatmanın çevre ile uyumu çok önemli olduğu için, patlatma sonucu açığa çıkan gazların miktarı çok önemlidir. Patlatma sonucu ortaya çıkan ve zehirleyici özelliği olan karbonmonoksit ve azot oksitlerin miktarına göre bir sınıflama yapılır. Tablo 2.3.'da bu sınıflama görülmektedir.

Tablo 2.3. Gaz miktarına göre duman sınıflaması (Barutsan, 1997)

SINIF	GAZ MİKTARI Ft ³ /gr*200
1	16
2	16-33
3	33-67

2.2.1.12. Çevre Sıcaklığına Tolerans

Patlayıcı karışımları aşırı sıcak ve aşırı soğuk koşullarda depolandığı veya kullanıldığından verimlerinde düşme görülmektedir.

2.2.1.13. Raf Ömrü

Patlayıcı maddenin stoklanabilme ömrüdür. Değişik kimyasal maddelerin bileşimi olan patlayıcı maddeler zamanla bozulmaya başlar ve patlama karakteri değişir. Bunlarla yapılan patlatmalar verimsiz olur. Bozulmuş bu patlayıcıların saklanması ve imhası işletmeler için büyük bir sorun olmaktadır. Bu yüzden raf ömrünün bilinmesi ve stokların ona göre ayarlanması gerekir.

2.2.1.14. Su Basıncına Dayanım

Bu özellik patlayıcı maddenin etkilenmeden kaldığı statik basıncı ifade eder. Bazı patlayıcı maddeler derin deliklerde ortaya çıkan hidrostatik basınçlar altında yoğunlaşır ve duyarlılığını yitirir. Bu sorun en çok Slurry ve Slurry-ANFO karışımlarında görülmektedir.

2.2.1.15. Ambalaj ve Kullanma Kolaylığı

Patlayıcı madde ambalajlanması işletme maliyetinde zaman zaman artmalara, zaman zamanda düşmelere yol açar.

2.2.1.16. Emniyet

Patlayıcı madde personel için tehlike oluşturmadan taşınabilmesi ve patlatma deliğine yerleştirilebilmelidir. Bunu belirlemek amacıyla kullanılan bazı testler vardır. Bu testler aşağıdaki gibidir;

- ✓ Çekiç Testi
- ✓ Sürtünme Testi
- ✓ Hız Testi
- ✓ Isı Testi
- ✓ Statik Elektrik Testi

2.2.2. Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması

Bugün endüstride yaygın olarak kullanılan ve ticari piyasada önemli yeri olan patlayıcılar şunlardır;

- ✓ Ateşli Patlayıcılar
- ✓ Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar
- ✓ Patlayabilir Karışımlar

2.2.2.1. Ateşli Patlayıcılar

Bunlar çok hassas ve patlaması çok kolay patlayıcılardır. Adından da anlaşılacağı gibi bunlar diğer patlayıcıların ilk ateşlenmesinde diğer bir deyişle kapsül imalatında (infilaklı fitil) kullanılırlar. Bakır veya alüminyum yüksüklere konurlar ve bunların patlamasıyla meydana gelen çok şiddetli darbe veya şok daha az hassas olan esas patlayıcı maddeyi patlatır. Kapsül imalatında kullanılan başlıca ateşli patlayıcılar Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Başlıca ateşleyici patlayıcılar(Bilgin, 1999)

Adı	Formül	Kullanışı	Patlama hızı m/sn
Pentaeritrol tetra nitrat	$C_5H_8N_4O_{12}$	Kapsül infilaklı fitil	830°
Kurşun Azit	$Pb(N_3)_2$	Kapsül	-
Civa Tulmanit	$Hg(ONC)_2$	Kapsül	-
RDX		Kapsül	835°

Kapsül imalatında kullanılan bu patlayıcılar büyük miktarda gaz çıkarmaz ve doğrudan kaya patlatma işlerinde kullanılmaz. Ancak yerel ve çok kuvvetli şok yarattıklarından dinamitleri ateşlemekte kullanılırlar.

2.2.2.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar

Bütün cins dinamitler bu gruba girerler. Bunların patlatma hızı genellikle 2500–7600 m/sn' dir. Patlamaları bir kapsülün verdiği ani ve çok şiddetli patlama sonucu çok miktarda ve yüksek basınç altında gaz çıkarırlar. Böylece kaya şokla parçalanır ve gaz basıncıyla ileri püskürtülür. Bunların çeşitleri şöyledir: Nitrogliserin esaslı dinamitler, Amonyum nitratlı dinamitler, Jelatin dinamitler, Yarı jelatin dinamitler, Antigrizutin dinamitler.

Nitrogliserin Bazlı Patlayıcılar;

Alfred Nobel'in insanlığın hizmetine sunduğu nitrogliserin esaslı patlayıcılar, günümüzde bile temel patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. İlk olarak diatomit toprağı ile karıştırılıp duyarlılığı kontrol altına alınan nitrogliserin esaslı patlayıcılarda, daha sonraları jelatinleştirici donmayı önleyici katkıları katılmaya başlanmıştır. Zaman zaman gereğinden kuvvetli patlayıcı üretmemek, buna bağılı olarak gereksiz maliyet artışından kaçınmak için, amonyum nitrat katkılı olanları üretilmeye başlanmıştır. Nitrogliserin esaslı dinamitler taneli bir yapıya sahiptir. Nitrogliserin yanı sıra nitroselüloz, hatta talaş içerirler. Kartuşlar erimiş muma batırıldığından suya dirençleri yeterli düzeydedir. Ama kudretleri içerdikleri nitrogliserin yüzdesi ile ifade edilir. Amonyum nitratlı dinamitler tane görünümündedir. Bu dinamitlerde nitrogliserin miktarı çok azaltılmıştır. Nitrogliserin hassaslaştırıcı olarak kullanılır. Esas enerji kaynağı amonyum ve sodyum nitratıdır. Bu dinamitler ısı ve şoka daha az hassas, suya daha az dirençlidirler. Hem nitrogliserin hem de amonyum nitrat esaslı dinamitler genellikle açık ocaklarda dip şarj veya yemleyici olarak kullanılırlar. Bunların kartuşları sudan etkilenmemeleri için deliğe kırılmadan atılmalıdır.

Jelatin veya yarı jelatin dinamitler sudan etkilenmeyecek bir yapıya sahiptirler. Bu dinamitlere ilave edilen nitrokoton nitrogliserin ile birleşerek kıvamlı ve yapışkan bir jel oluşturur. Nitrokoton yüzdesi arttıkça yapışkanlık artar. Nitrokoton ile nitrogliserini çözündürerek elde edilen suya dirençli jel suda erimez ve dinamit katkı maddelerini birbirine yapıştırır.

Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Patlayıcılar;

Suya dayanıklı amonyum nitrat esaslı patlayıcı üretebilme çabaları sonucu emülsiyon patlayıcılar gündeme gelmiştir. Genelde organik veya mineral yağların çok büyük bir yüzdesi, su içinde çözünmezler. Ancak özel katkı maddeleri ile emülsiyon haline getirilebilirler. Nitrogliserin, TNT ve diğer patlayıcı hammaddeleri içermediğinden, kullanımını diğer patlayıcılara nazaran çok daha emniyetlidir.

2.2.2.3. Patlayabilir Karışımlar

Açık ocaklarda esas delik şarjı olarak kullanılan başlıca iki türlü patlayabilir karışımlar vardır. Bunlar;

- ✓ Kuru Patlayıcı Karışımlar (ANFO)
- ✓ Sulu Patlayıcı Karışımlar (Slurry, Water gel, Emülsiyon)

Patlayıcı karışımlar adından da anlaşılacağı gibi kendi başlarına patlayabilir özellikte olmayan iki veya daha fazla maddenin karıştırılmasıyla oluşturulur. Bu iki maddeden biri yakıt (fuel) diğeri oksitleyicidir.

Kuru patlayıcı karışımlar, yapımında su kullanılmayan ve 8 nolu kapsülle patlatılmayan her karışım kuru patlayıcı karışım olarak adlandırılacaktır. En bilinen örneği ANFO olarak adlandırılan amonyum nitrat (AN) ve fuel oil (veya mazot) karışımıdır. Amonyum nitrat, amonyak ile nitrik asitin reaksiyonundan elde edilen organik bir tuzdur ve bünyesine yakıt katıldığı zaman patlayıcı haline gelmektedir. Patlayıcı maddelerin en önemli oksijen taşıyıcı maddesi olmakla birlikte, gübre olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

ANFO en basit ifade ile amonyum nitrat ile fuel oil (mazot) belli ağırlık oranlarında karıştırılması sonucu elde edilen patlayabilir bir karışımdır. Kimyasal bir reaksiyondan değil, fiziksel bir karıştırma ile elde edilmektedir. Üretimi için kompleks bir tesis gerektirmez. ANFO en basit biçimde ağırlıkça % 94,3 oranında AN ve % 5,7 oranında mazot karıştırılarak yapılır. Yakıt oranı % 5,5 ile % 6 arasında ANFO en yüksek enerji verimine ve patlatma hızına ulaşır. ANFO patlatıldığında açık sarı duman vermesi iyidir. Portakal rengi, açık kahverengi duman ise yetersiz yakıt durumunu gösterir ki bu iyi karıştırılmamaktan veya ANFO bekleyince mazotu süzülerek ayrıldığından veya ANFO suda çözüldüğünden olabilir. ANFO'dan iyi verim almak için nitrati iyice ezerek topraksız ve toz halinde olmasını sağlamak ve doğru oranda mazot ile iyice karıştırmak gereklidir. ANFO'nun başarılı kullanılması başka bazı faktörlere de bağlıdır. Bunların başında şarj çapı gelir (Tablo 2.5.). ANFO deliklere dökülerek konuyorsa şarj çapı delik çapına eşit olur.

Tablo 2.5. ANFO'nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı ve metre başına şarj miktarı (Şeran ve Akay, 1999).

Delik Çapı		Patlatma Hızı	ANFO Miktarı	
mm	İnç	m/sn	Kg/m	lb/ft
38	1 1/2	2100-2700	0,9-1	0,6-0,7
51	2	2600-3000	1,6-1,9	1,1-1,3
76	3	3000-3300	3,7-4,5	2,5-3,0
102	4	3300-36000	6,5-7,7	4,4-5,2
127	5	3500-3800	10,3-12,2	6,9-8,2
152	6	3700-3900	19,8-23,5	13,2-15,8
203	8	3800-4000	26,2-31	17,6-20,8
230	9	3900-4100	29,8-39,9	20-26,8

ANFO'nun verimli patlamasında önemli bir diğer husus şarj yoğunluğudur. Delik dışında yoğunluğu 0,8–0,85 gr/cm³ olan ANFO deliğe basınçlı hava ile püskürtülerek delik içi (şarj) yoğunluğu 1,2 gr/cm³ kadar arttırılabilir. Bu durumda ANFO en yüksek verimle patlar. ANFO doğrudan 8 nolu kapsülle ateşlenemez. Bu nedenle bir yem kullanmak gereklidir. Yemler her çeşit dinamit olabilir.

ANFO fiyatı nitrogliserin esaslı dinamit fiyatının en az dörtte biri, en çok yarısı kadar olabilmektedir. Bu ucuzluğu ile açık ocak madenciliğinde en çok kullanılan patlayıcı maddedir. ANFO'nun hassasiyeti daha düşük olduğundan taşınması ve kullanılması daha emniyetlidir. Yukarıda sayılan yararları yanı sıra ANFO'nun sakıncaları da vardır. Bunlar suya dirençsiz oluşu, düşük patlatma hızı, düşük yoğunluğu delik doldurma süresinin uzunluğu, iyi ezilmez ve karıştırılmaz ise verim düşüklüğüdür. Sıvı Patlayabilir Karışımlar (Slurry, Watergel, Emülsiyon), sulu deliklerde patlamayan çok verimli ve güvenli bir patlayıcı madde olan ANFO'ya bir seçenek olarak geliştirilmişlerdir. Başlıca türleri;

- ✓ Çamurumsu Karışımlar (Slurry)
- ✓ Yarı-Akışkan Karışımlar (Watergel)
- ✓ Krema Tipi Karışımlar (Emülsiyon)

Çamurumsu karışımlarda su oranı %5 ile %40 arasında değişir. Diğer katkı maddeleri de örneğin AN %40-%70, TNT %20-%35 oranlarında konulabilir. Diğer bir deyişle sonsuz çeşitte çamursu patlayıcı karışım yapmak mümkündür. Sulu patlayabilir karışımların, su direnci jelatin dinamitlerinkine eşit veya daha fazla olup 'çok iyi' olarak tanımlanabilir. Sulu patlayıcıların yoğunlukları suyun yoğunluğundan fazla olduğundan sulu deliklerde kolayca dibe çökerek suyu delikten dışarı atar ve suda ermediği ve su ile karışmadığı için yüksek verimle patlar. Yoğunlukların fazla olmasının bir yararı da belirli çaptaki (hacimdeki) deliğe daha fazla patlayıcı enerjisi yerleştirmeyi mümkün kılmasıdır. Böylece kaya iyi parçalanabilecek veya aynı deliğe daha fazla enerji yerleştirilebildiği için delikler arası mesafeler büyütülebilecek ve daha randımanlı madencilik yapılabilecektir. Çamursu patlayıcı karışımların yararları suya dirençli oluşları, delik doldurma işleminin hızlı olması, deliği tamamen doldurması ve sudan ağır olması olarak sayılabilir. Sakıncaları ise ANFO'dan pahalı olması ve çok çatlaklı boşluklu kayalarda formasyona sızarak maliyeti arttırmasıdır (Şeran ve Akay, 1999).

Tablo 2.6. Sulu patlayıcı karışım katkı maddeleri (Tosun, 1991)

Oksitleyiciler	Amonyum Nitrat (AN) - Sodyum Nitrat Kalsiyum Nitrat
Yakıt	Madeni Yağlar – Mazot- Alüminyum (Toz)
Hassaslaştırıcılar	a-) Kimyasal Organik Amin Nitrat Tuzları-Alüminyum Alkollerin Nitrat esterleri-TNT b-) Fiziksel Hava Kabarcıkları-Mikro Cam Balonlar
Su	
Jel Yapıcılar (Suya direnç için)	Kimyasal Bağlama Maddeleri, Mum

2.2.3. Ateşleme Sistemleri

Dünya’da ilk kez 1831 yılında William Bickford tarafından bulunan Emniyetli Fitol’den önce Kara Barutu ateşleme işlerinde, çok riskli yöntemler uygulanmaktaydı. 1876 yılında Alfred Nobel’in civa fülminantlı kapsülü bulması ile günümüzde kullanılan kapsüllerin temeli atılmıştır. Patlatma işlemlerinde iyi sonuçlara ancak delikteki patlayıcı maddeyi ateşleyecek gereçler dikkatle seçildiğinde ve kullanıldığında ulaşılabilir. Bugün dünyada kullanılan ateşleme yöntemlerini başka iki gruba ayırmak mümkündür;

Elektriksiz Ateşleme Sistemleri

- ✓ Emniyetli fitil-adi kapsül
- ✓ İnfilaklı fitil ve gecikmeli röleleri
- ✓ Elektriksiz Kapsüller

Elektrikli Ateşleme Sistemleri

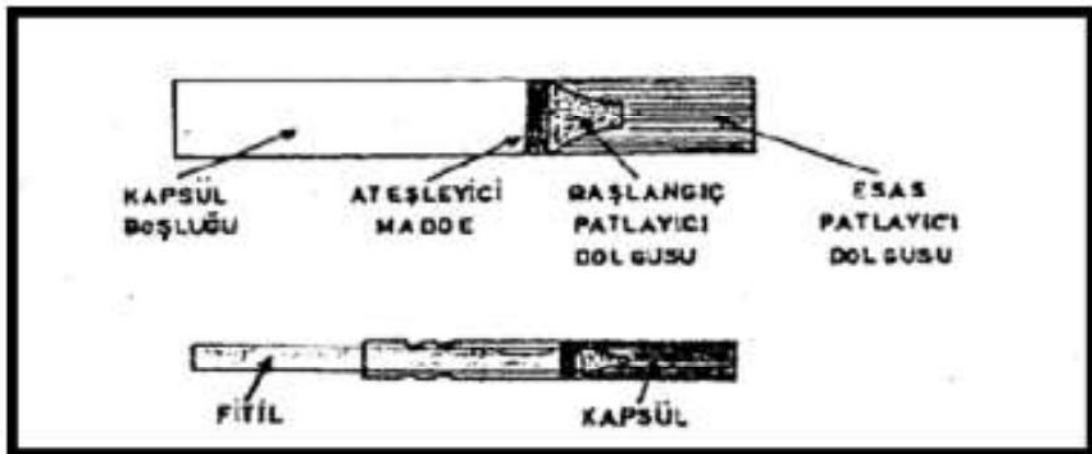
- ✓ Gecikmesiz Elektrikli Kapsüller
- ✓ Gecikmeli Elektrikli Kapsüller

2.2.3.1. Emniyetli Fitol-Adi Kapsül

Elektriksiz ateşleme yöntemlerinden bilinen en eski yöntem Emniyetli Fitol ve Adi kapsüldür. Az sayıda delikten oluşan küçük gruplarda elektrikle ateşlemenin tehlikeli olduğu metal madenlerinde küçük taş ocakları ve madenlerde kullanımı yaygındır (Şeran ve Akay, 1999).

Emniyetli fitil, ortasında kara barut ve onu dış etkenlerden (su, nem) koruyan parafin veya plastiğe bulaşmış bir dokumadan oluşur. Kablo görünümlü bir patlatma aracıdır. Kibrit veya benzeri bir açık alevle tutuşturulduğunda, fitilin standart yanma hızı 115 sn/m (± 15 m/sn)'dir. Metredeki bu ± 15 sn'lik sapmalar nedeni ile birden çok ateşlemelerde fitil boylarının da emniyetli seçilmesi şarttır. En kısa ateşlemenin 1 m olması uygundur. Fitillerin boyları, yanma hızları dikkate alınarak, patlatmayı yapan kişinin güvenli bir yere ulaşmasını sağlayacak uzunlukta olmalıdır. Ayrıca, fitiller sabit bir hızla yandığı için, birkaç delikten oluşan grup patlatmalarında fitil boyları farklı kesilerek, bir çeşit gecikmeli patlatma uygulanabilmektedir. Adi kapsüller, bir tarafı kapalı ve diğer tarafında fitilin girebilmesi için açıklık bulunan alüminyum veya bakırdan yapılmış silindirik tüplerdir. Kapsül içinde biri "başlangıç" diğeri "esas" patlayıcı dolgusu denilen, çok duyarlı ve kolaylıkla patlayabilen dolgular bulunur (Şekil 2.7). Başlangıç patlayıcı dolgusu olarak genellikle kurşun asidi ($Pb(N_3)_2$) veya gümüş asidi (AgN_3) kullanılmaktadır. Esas patlayıcı dolgusu olarak ise civa fülminat ($Hg(CO)_2$) veya Pentaeritrol Tetranitrat ($C_5H_8N_4O_{12} = PETN$) gibi çok hassas ve patlama hızları 8.000 m/sn'nin üzerinde olan patlayıcı maddeler kullanılmaktadır.

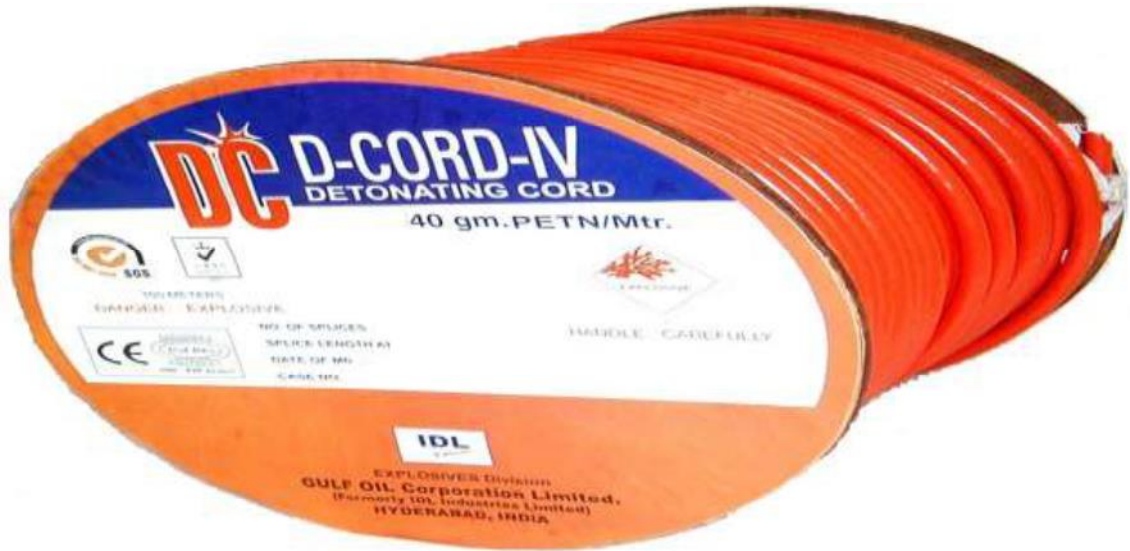
Emniyetli fitil ile bağlantılı kullanılan adi kapsüllerde (Şekil 2.7), yanan fitil öncelikle başlangıç patlayıcı dolgusunu tutuşturur. Bu başlangıç patlamasından sonra ise esas patlayıcı dolgu patlar. Bu patlamayla birlikte, dinamitin patlaması için gerekli enerji meydana gelmiş olur.



Şekil 2.7. Adi kapsül ve fitil bağlantısı (Barutsan, 1995)

2.2.3.2. İnfilaklı Fitol ve Gecikme Röleleri

İşletmecinin, elektrik tehlikelerinden dolayı delik içerisinde elektrikli ateşleme istemi kullanımı tercih etmediği durumda infilaklı fitil ile ateşleme sistemi, elektrikli ateşlemeye bir alternatif olarak yıllardan beri kullanılmaktadır. Dünyada yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. İnfilaklı fitil, dış kısmı muhtelif tekstil, plastik ve rutubete dayanıklı koruyucu birtabaka içine yerleştirilmiş ortalama 11 gr/m miktarında yüksek hızlı bir patlayıcı madde bulunan esnek bir plastik tüptür. Yüksek kudretli infilaklı fitiller 40 gr/m patlayıcı madde içerir. Ancak bunlar çok fazla hava şoku yaratırlar. İnfilaklı fitil delikteki yemi doğrudan ateşler, infilaklı fitilin kendisi ise fitile bağlanmış bir kapsülle ateşlenir. İnfilaklı fitil kullanıldığında gecikmeli patlama dışında kalın gecikme röleleri ile sağlanır. Röleler 5–400 ms arasında değişen sürelerde gecikme sağlayabilir. Gecikme rölesi adeta iki ucu açık bir alüminyum boru içinde dip tarafları birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiş iki kapsülden oluşur. İnfilaklı fitilin tek sakıncası gürültü ve hava şoku yaratılmasıdır (Şeran ve Akay, 1999).



Şekil 2.8. İnfilaklı Fitol (Orica, 2013)



Şekil 2.9. Gecikme Roleleri (Orica, 2013)

2.2.3.3. Elektriksiz Kapsüller (Patlayıcı Sıvanmış Şok Tüpü -Nonel)

Elektriksiz ateşleme yöntemleri arayışına Nitro Nobel firması tarafından geliştirilen NONEL ateşleme yöntemiyle gelmiştir. Bu sistem patlatma da daha üst seviyede emniyetli ve daha verimli patlatma sonuçlarını elde etmeye yardımcı olmuştur. Yöntem 2 mm iç, 3 mm dış çapında ince, saydam plastik tüp kullanılır. Bu tüpün iç yüzeyine 0,02 gr/mm miktarında hassas bir patlayıcı madde tozu sıvanmıştır. Tüp bir kapsül veya infilaklı fitille ateşlendiğinden ateşlenen uçtan diğer uca 2.000 m/sn gibi düşük bir hızla giden şok dalgası oluşur. Bu şok dalgası zayıf olup, tüpe zarar verecek yeterli enerjisi yoktur. O nedenle dinamiti ateşleyemez. Dinamiti ateşlemesi için diğer ucuna söz konusu şokla patlayabilecek hassasiyette bir kapsül koymak gerekir. Bu kapsüllerin içi tıpkı gecikmeli elektrikli kapsüllere benzer. Onlardan tek farkı kapsül ağzından iki tel çıkmayışı ve bunun yerine kapsül ağzına tüp takılmasıdır.

Nonel Yönteminin başlıca yararları;

- ✓ Kaçak elektrik ve radyo vericileri gibi nedenlerle olabilecek kazaen patlamalara karşı emniyetlidir.
- ✓ Serbestken veya sıkıştırılmışken ısı ve darbelere duyarlıdır. Patlamaz.
- ✓ Nitrogliserin dinamiti gibi yüksek hassasiyetli patlayıcıları bile kendiliğinden ateşleyemez. Diğer bir deyişle dinamitlerle birlikte emniyetle taşınır.



Şekil 2.10. Elektriksiz Kapsül (Orica, 2013)

2.2.3.4. Gaz Patlamalı Şok Tüpü (HERCUDET)

Bu yöntem içinde bir gaz patlaması sürüp giden bir tüpün, şokla bir kapsülü patlatması sonucu yemin ateşlenmesinden ibarettir. Bu yöntemde yemi (dinamiti) ateşlemede kullanılan gecikmeli kapsüller gecikmeli elektrikli kapsüllerden daha güçlüdür. Hem mili saniye, hem de yarım saniye gecikmeli kapsüllerin gecikmeli elektrikli kapsüllerden tek farkı kapsül ağzından iki adet tel yerine iki adet ince tüp çıkmasıdır. HERCUDET kapsülleri ya delik içinde doğrudan yemi ateşleme veya delik ağzında delik içindeki patlayıcıyı ateşleyecek olan infilaklı fitili ateşleme şeklinde kullanılabilir. HERCUDET sistemi hava şoku, elektriksiz kazalar yaratmaması, şarjın patlamasında

kesinti olmaması ve gecikme imkanı vermesi nedenleriyle yararlıdır. Gaz karışımı patlatılınca kadar çok emniyetlidir. Tek sakıncası elektrikli kapsülle ve infilaklı fitille ateşlemeye göre çok farklı olduğundan imalatçıların bir uzmanın yöntemi uygulayacak ekibi eğitmesinin gerekli olmasıdır.

2.2.3.5. Elektrikli Ateşleme Sistemleri

Elektrikli ateşlemenin en büyük yararı yeterli güçte bir enerji kaynağı olmak koşulu ile ve gecikme kullanılarak diğer hiçbir ateşleme yöntemiyle atılamayacak kadar çok sayıda deliğin birlikte patlatılmasına olanak tanınmasıdır. Elektrikli ateşlemede başarı aşağıdaki dört genel koşula bağlıdır;

- ✓ Patlatma devresinin doğru şekilde seçimi ve uygulanması
- ✓ Patlatma devresinin gerektirdiği kuvvette bir enerji kaynağı
- ✓ Elektrikli ateşlemede kaza sebeplerinin bilinmesi ve önlenmesi
- ✓ İyi kablo bağlantıları ve devrenin atım öncesi kontrolü

Elektrikli kapsüller, prensipte içine iki iletken kabloya bağlı bir elektrikli kibrit başı yerleştirilmiş özel tahrip kapsülünden oluşmaktadır; yani tahrip kapsülünün gelişmiştir. İletken iki kablonun ucu akım kaynağına bağlanır. Adi tahrip kapsülü ile aynı olan elektrikli kapsüllerde, birinci şarjı patlatmak için fitilin alevi yerine bir kibrit başı vardır. Verilen elektrik akımı kablodan ve kibrit başının direnç telinden geçer. Akım direnç telini kızdırır ve üzerindeki eczayı yakar. Bu yanma kapsül içerisindeki birincil patlayıcıyı daha sonra ana patlayıcıyı patlatır. Adi kapsüllerde olduğu gibi hem gecikmesiz hem de gecikmeli elektrikli kapsüller 6 no. ve 8 no. olmak üzere iki ayrı kuvvette imal edilirler. Elektrikli kapsüller başlıca üç çeşittir:

- ✓ Gecikmesiz elektrikli kapsüller
- ✓ Yarım-saniye gecikmeli elektrikli kapsüller
- ✓ Mili-saniye gecikmeli elektrikli kapsüller

Gecikmesiz elektrikli kapsül, adi kapsülün gelişmiş olanıdır. Bu tip kapsüller gecikmenin gerekli olmadığı, deliklerin aynı anda patlatılması gerektiği durumlarda kullanılır. Elektrik akımı verilen kapsüldeki köprü direnç teli kızarak kapsül içerisindeki primer ve sekonder patlayıcıları sıra ile ateşler. Gecikmeli elektrikli kapsüllerde kibritbaşı ile primer patlayıcı arasında gecikme aralığına göre boyu değişen bir gecikme elemanı vardır. Gecikme elemanları, yanma süreleri belli olan piroteknik maddelerdir. Mili-saniye kapsüllere kısa süreli gecikmeli kapsüllerde denilmektedir. Yarım-saniye gecikmeli kapsüller genellikle 1-16 numara arasında imal edilirler ve ilk ateşleme anından itibaren 1 no. kapsül 500 ms'de, 1 no. 1 saniyede 3 no. kapsül 1,5 saniyede patlar. Elektrikli kapsüllerle ateşlemede kapsüllerin bir elektrik devresi oluşturulacak şekilde birbirine bağlanması üç türde yapılır. Seri bağlama, paralel-seri bağlama ve paralel bağlamadır. Bağlaması kolay olan seri bağlama en çok kullanılanıdır.



Şekil 2.11. Elektrikli Kapsüller (Orica, 2013)

ICA' nın yüklenicisi bulunduğu "3. Boğaz Köprüsü Otoyol Projesi" için, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla, inşaat faaliyetleri başlamadan önce, patlatma tasarımı yapılmıştır. Patlatma tasarımında faaliyetin kapasitesi, yerel tedarik ve depolama olanakları ve Firma koşulları dikkate alınarak, tablo 2.7' de verilen ve Ülkemizde faaliyet gösteren çeşitli firmaların portföyünde bulunabilen aşağıda belirtilen patlayıcı maddelerin seçenekli olarak kullanılabilceği öngörülmüştür (Özellikleri verilen patlayıcı maddeler dışında muadili olan başka patlayıcı maddelerin kullanılması tercih edebilir, bu durumda da tasarımın yeniden modifiye edilmesi gerekebilir). Ateşlemenin ise tablo 2.8. ' da verilen elektriksiz kapsüllerle yapılabileceği öngörülmüştür. Atımlar sırasında oluşabilecek rahatsızlık ve çevresel sorunları minimize etmek amacıyla, gecikme başına şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Projede kullanılan patlayıcı türleri (Orica, 2013)

Patlayıcı Madde Adı	Boyutlar (mm)	Kartuş Ağırlığı (gr)	Yoğunluk (gr/cm³)	Detonasyon Hızı (m/s)
Orica- Powergel Magnum 365	27x225	155	1,20	6437
Orica- Powergel Magnum	75x200	1000	1,20	6345
Orica- Powergel S 650	75x450	2500	1,26-1,27	4300-4500
Nitromak- Nobelex TG	32x450	400	1,10-1,15	5000
Jelatinit Dinamit (Barutsan)	25x200	150	1,20	6500–7200

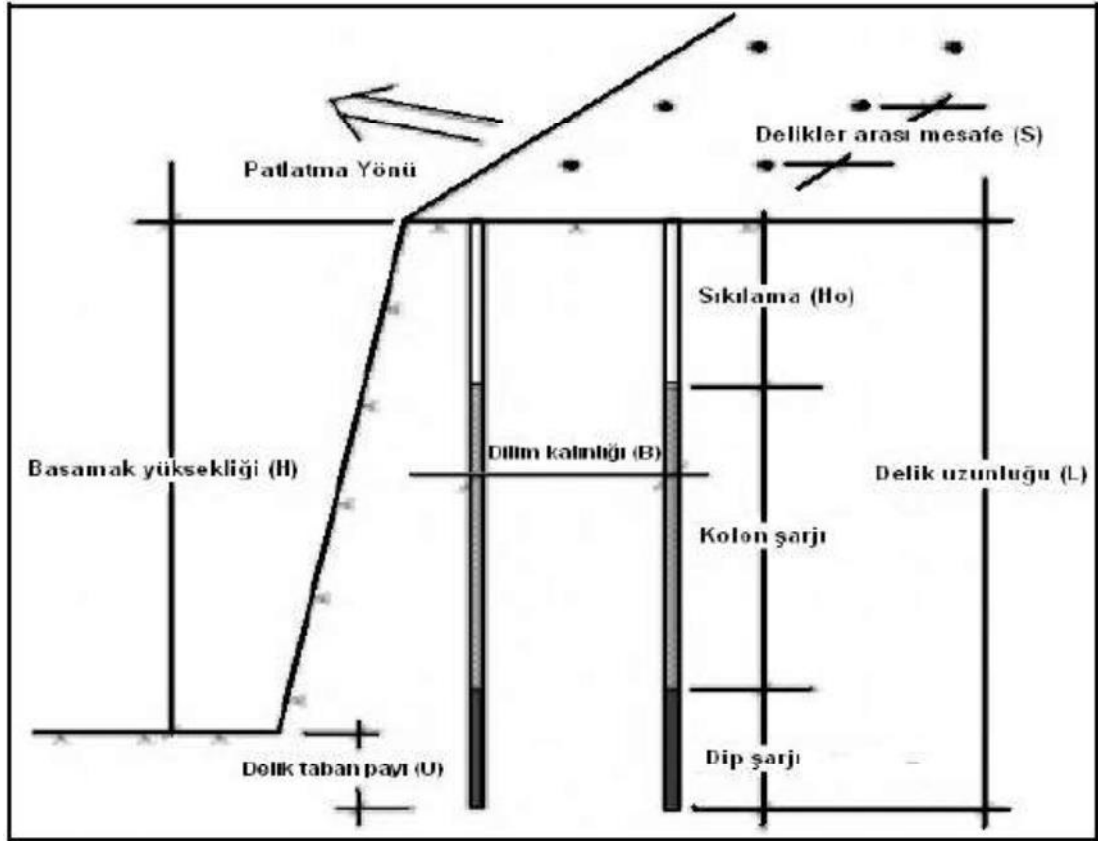
Tablo 2.8. Projede kullanılan kapsül türleri

Ateşleme Sistemi	Gecikme Adedi
Elektrikli Gecikmeli Kapsül	16
Elektriksiz Kapsül Exel MS (Orica-Nitro)	29
Elektriksiz Kapsül NONELDET MS(NITROMAK)	20
Elektriksiz Kapsül Exel LP (Orica-Nitro)	26
Elektriksiz Kapsül NONELDET LP (NITROMAK)	25
Elektriksiz Kapsül Handidet (Orica-Nitro)	7
Elektriksiz Kapsül Exel HTD (Orica-Nitro)	8

2.3. BASAMAK PATLATMASI

2.3.1. Basamak Patlatması Terimleri

Açık maden işletmelerinde kazı sırasında oluşturulan ayrı kotlardaki her kademeye basamak, burada yapılan atımlara da basamak patlatması denilmektedir. Her basamağın bir üst bir de alt kotu olup, bunların farkı basamak yüksekliğini belirlemektedir (şekil 2.12). Basamak alını kayanın sağlamlığına ve yapısına (Fay, eklem, tabakalanma vb.) ve delik eğimine bağlı olarak dik veya 90° 'den az meyilli şev oluşturur. Bu şev, basamağı oluşturan kayanın parçalanmasını özendirir ve parçalanmış kayanın ileri fırlatılabilmesine imkan veren bir serbest yüzey olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.12: Basamak patlatmasında kullanılan terimler (Gustaffson, 1973)

Serbest yüzey ile birinci sıra delikler veya delik sıraları arasındaki uzaklıklara dilim kalınlığı adı verilmektedir. Bir atımın basamak patlatması olarak adlandırılabilmesi için dilim kalınlığı (B) en fazla basamak yüksekliği (K)'nin yarısına ($B \leq K/2$) eşit olmalıdır (Gustaffson, 1973; Langefors ve Kihlström, 1978).

Aynı sıradaki deliklerin birbirlerine olan uzaklıkları ise delikler arası mesafe olarak bilinmektedir. Delik boyları basamak tabanının düzgün ve tırnaksız olmasını sağlamak için basamak yüksekliğinden biraz fazla delinir ve bu fazla kısım delik taban payı olarak adlandırılmaktadır. Deliğin dip kısmına konulan patlayıcı maddeye dip şarjı, bunun üzerinde bulunan şarja ise kolon şarjı denilmektedir. Genellikle basamak tabanına yakın kısımlarda kayanın parçalanması daha güç olduğundan dip şarjı, kolon şarjına göre miktarca ve kudretçe fazla olacak şekilde seçilmektedir. Deliğin ağız tarafına patlayıcı maddeyi örtmek üzere ve deliği tamamen dolduracak şekilde konulan ve patlayıcı olmayan maddeden (çakıl, kum, kırma taş, delme makinası kırıntıları) oluşan tıkaca ise sıkılama denilmektedir.

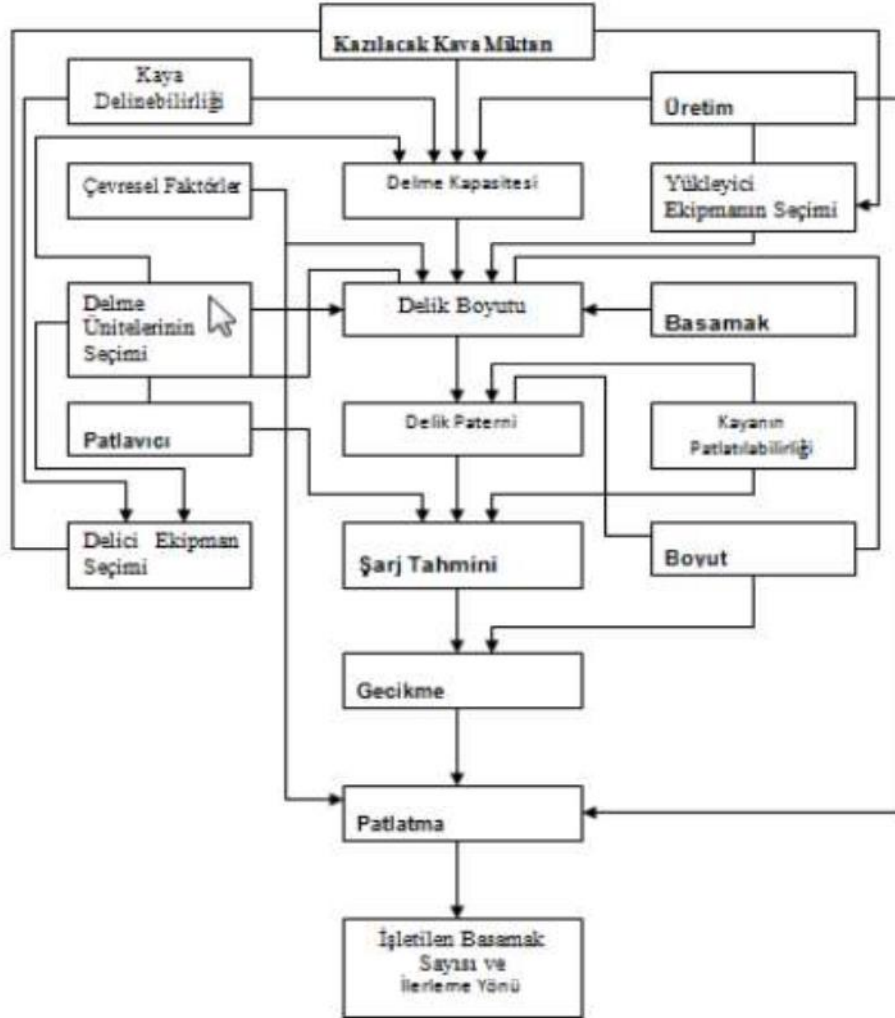
2.3.2. Basamak Patlatması Tasarım Parametreleri

Açık ocak işletmeciliğinde, birbirini izleyen delme-patlatma, kazı-yükleme, nakliye, kırma (özellikle primer kırma) ve/veya tumba gibi faaliyetlerin tümünü birden dikkate almak kaydıyla, ekonomik ve emniyetli bir patlatmanın gerçekleşmesi, ancak güvenilir bir patlatma tasarımı ile mümkün olabilmektedir. İyi ve güvenilir bir patlatma tasarımından kastedilen; yükleyici ekipmanın verimliliği ve/veya müteakip kullanım açısından arzu edilen parçalanma derecesinde, yeterince kabarmış, kısmen ötelenmiş, gevşek bir yığının elde edilmesine izin veren ve yer sarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya gibi çevresel sorunları olmayan yada en aza çekilmiş bir patlatmanın sonuçlarını önceden tahmin etmektir. Öte yandan doğrudan veya ripleme ile yapılabilecek kaya kazısının, ancak belirli değerlere kadar olan dayanımlarda mümkün olabildiği bilinmektedir. Bu nedenle delme ve patlatma, çoğu işletmede, üretim sürecinin ilk işlemini oluşturmaktadır. Genel olarak daha fazla delik delmek ve/veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak, delme ve patlatmanın maliyetini arttırırken, daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması ihtimalini arttıracaktır. Ancak bu şekilde elde edilen bir yığınla ilgili olarak, müteakip işlemlerin maliyetlerinde belirgin bir azalma söz konusu olabilecektir. Bununla birlikte, yalnızca kullanılan patlayıcı maddenin enerjisi arttırılabilirse, delik delme ve patlatma işleminde ek bir maliyete gerek kalmaksızın istenen parçalanma elde edilebilecektir. Bu çerçevede, patlatma tasarımında iki temel soruna yanıt aranmaktadır. Bunlardan birincisi, her bir deliğe konacak optimum patlayıcı madde miktarının ne olacağı, ikincisi ise, istenen parçalanma derecesinde ve arzu edilen konumda bir yığını oluşturmak için delik

paterninin nasıl olacağıdır. Başka bir deyişle, herhangi bir kaya ortamında yapılacak basamak patlatması için yanıt aranacak iki temel parametre: özgül şarj ve dilim kalınlığıdır. Bu iki unsurun belirlenmesi durumunda, diğer parametreler bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir.

Maden üretim sürecinde patlatmanın önemi bilindiğinden, konuyla ilgili değişik çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından uzun süreden beri yoğun bir biçimde sürdürülmektedir. Ancak konunun karmaşıklığı ve koşulların zorluğu nedeniyle hala yanıtlanması gereken pek çok husus mevcuttur. Teknik, ekonomik ve emniyet açısından iyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı üzerinde etkili olan pek çok parametre söz-konusudur. Bu parametreleri aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür (Hoek & Bray, 1991; Dick ve diğ., 1983; Tamrock, 1984; Bilgin, 1986; Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990; Bilgin ve diğ., 1986).

Tablo 2.9. Patlatma Tasarımında Etkili olan parametreler(Karadogan,2008).



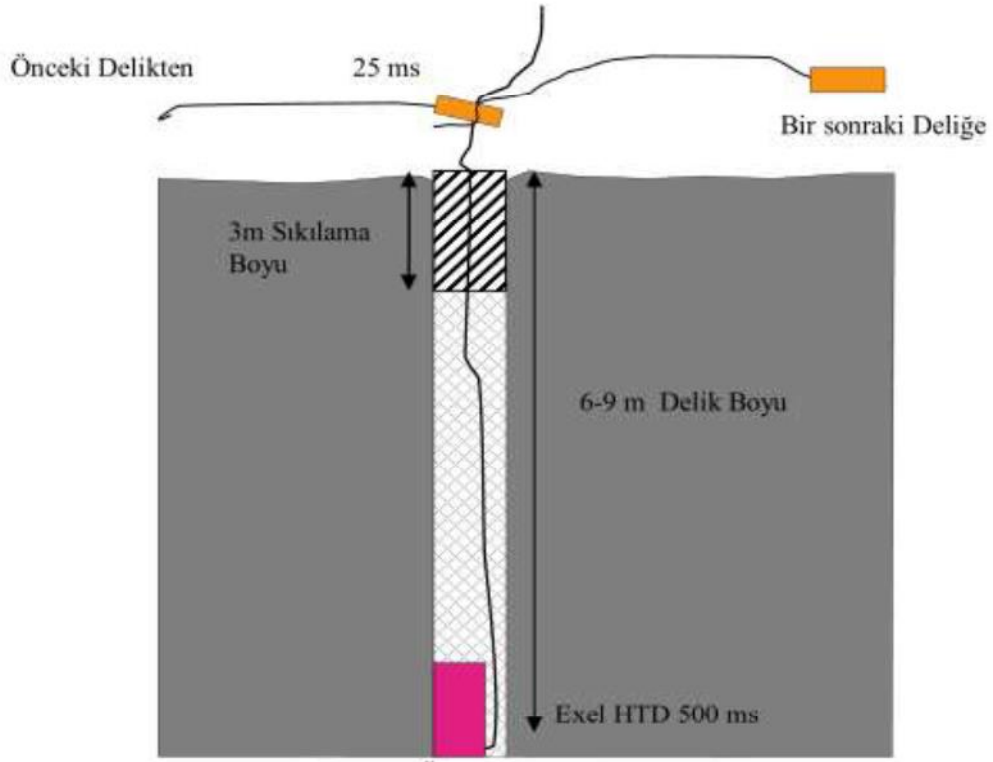
2.3.2.1. Araştırmada Uygulanan Yöntem

ICA' nın yüklenicisi bulunduğu "3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyol Projesi" için, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla, inşaat faaliyetleri başlamadan önce, patlatma tasarımı yapılmıştır.

Patlatma tasarımında faaliyetin kapasitesi, yerel tedarik ve depolama olanakları ve Firma koşulları dikkate alınarak, Çizelge 1' de verilen ve Ülkemizde faaliyet gösteren çeşitli firmaların portföyünde bulunabilen aşağıda belirtilen patlayıcı maddelerin seçenekli olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür (Özellikleri verilen patlayıcı maddeler dışında muadili olan başka patlayıcı maddelerin kullanılması tercih edebilir, bu durumda da tasarımın yeniden modifiye edilmesi gerekebilir). Ateşlemenin ise Çizelge 2' de verilen elektriksiz kapsüllerle yapılabileceği öngörülmüştür. Atımlar sırasında oluşabilecek rahatsızlık ve çevresel sorunları minimize etmek amacıyla, gecikme başına şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmiştir. Bu kapsamda gerek literatür bilgilerine, gerekse araştırma ekibinin benzer alanlardaki (Özellikle İstanbul' daki) tecrübelerine başvurulmuştur.

Projede Patlatma tasarımında 76 mm (3 inç) çapında 70 cm aralıklarla 10 metre uzunluğunda prespliting (ön kesme) delikleri delinmesi uygun görülmüştür. Ön kesme deliklerine ise 27x225 mm çapında 155 gr ağırlığında kapsüle duyarlı emülsiyon tipi patlayıcı madde 15 cm aralıkla (metrede ~ 0,5 kg), 10 gr/mt PETN ihtiva eden infilaklı fitile bağlanarak delik ağzından 2-2,5 m mesafeye kadar doldurulmuştur.

Üretim delikleri ise 89 mm çapında (3,5 inç) delinmiş, delik dibine ise 75x200 mm boyutlarında 1 kg ağırlığında kapsüle duyarlı emülsiyon tipi patlayıcı madde yerleştirilmiştir (primer charge). Primer charge' a 12 metre uzunluğunda yüzey gecikmeli Elektriksiz Kapsül takılmıştır. Primer charge' ın üzerine anfo (deliklerin su durumuna göre suya dayanıklı ağır anfo) doldurulmuş; sıkılama boyu da 3 metre bırakılmıştır. Sıralar arasında ise 4 metrelik yüzey gecikmeleri kullanılmıştır. Delikler arası mesafe 3 metre; sıralar arası mesafe 3 metre; fazla delgi 1 metre olarak belirlenmiştir. Delik başına toplam patlayıcı madde miktarı 40 kg (1 kg primer charge + 39 kg anfo); özgül şarj ise 0,400 kg/m³ olarak belirlenmiştir.



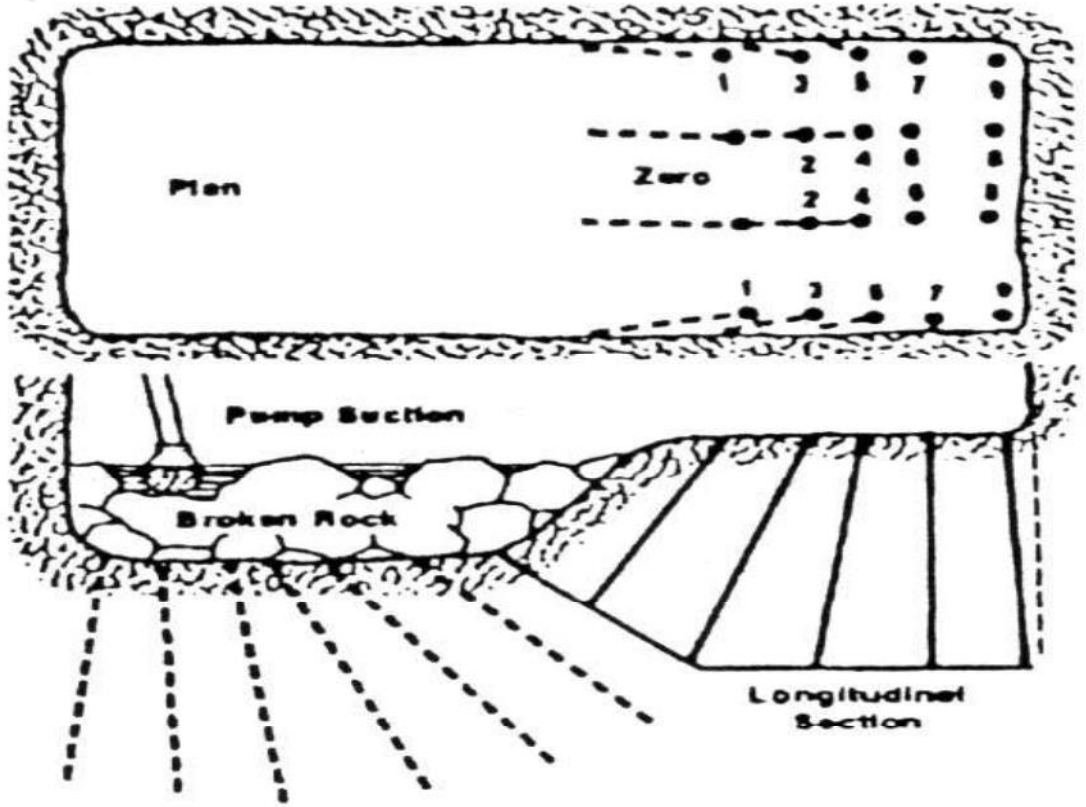
Şekil 2.13. Bir üretim deliğinin şarjlanmış tip kesit görüntüsü

Her bir gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir. Atım noktaları ile yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm istasyonları arasındaki mesafeler topografik aletlerle belirlenmiştir. Ölçekli mesafenin belirlenmesinde literatürde en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır ($SD = R / W^{0.5}$).

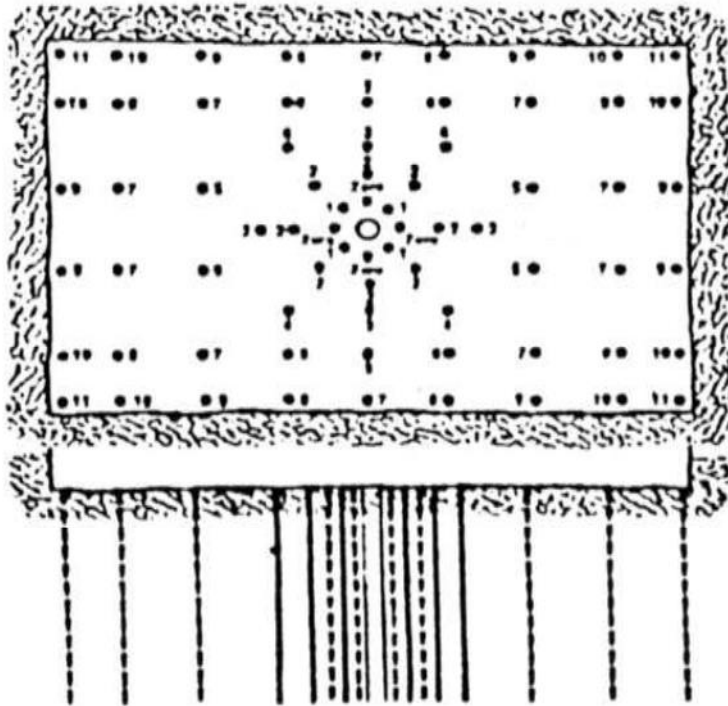
2.4. KUYU(ŞAFT) TASARIMI

Patlatmalı kazılarda kuyu veya shaft tasarımları uygulama açısından zor ve çok dikkat isteyen yöntemler içerir. 3. Boğaz Köprüsü temel shaftları 20 m çapında ve 20 m derinliğinde imal edilmiştir. Bu imalatlar sırasında uygulanan yöntemler şunlardır.

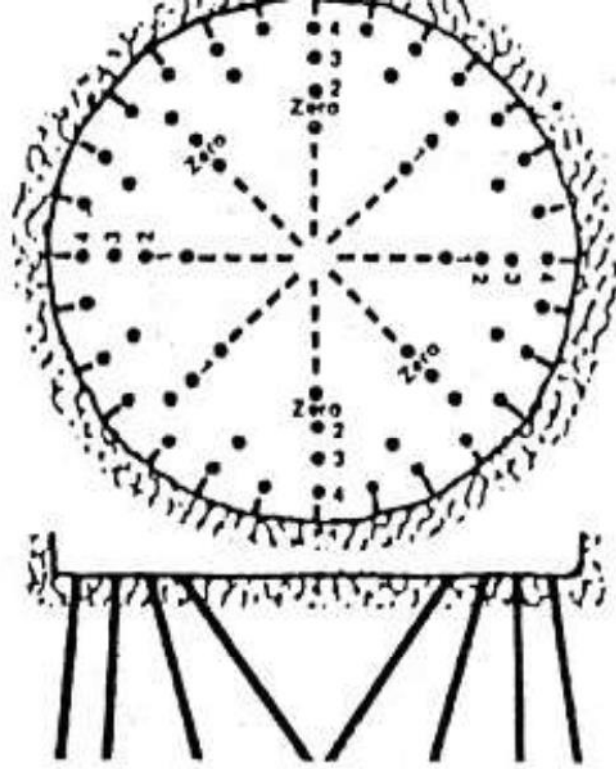
- ✓ Basamak Yöntemi (Şekil 2.14.)
- ✓ Gevşetme Deliği Şekli Kuyu (Şekil 2.15.)
- ✓ Piramit Kesim (Şekil 2.16.)
- ✓ V Kesme (Şekil 2.17.)



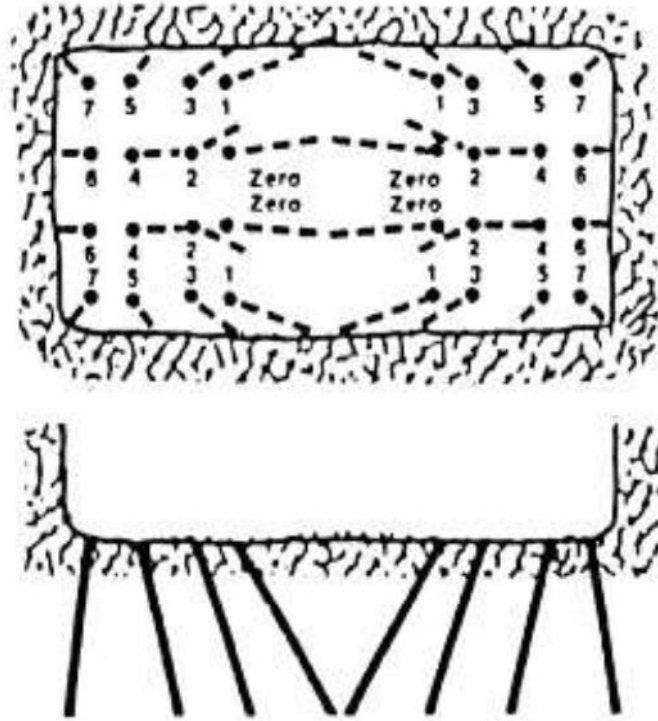
Şekil 2.14. En etkili kuyu alçalma yöntemlerinden biri basamak yöntemidir (Anon, 1998)



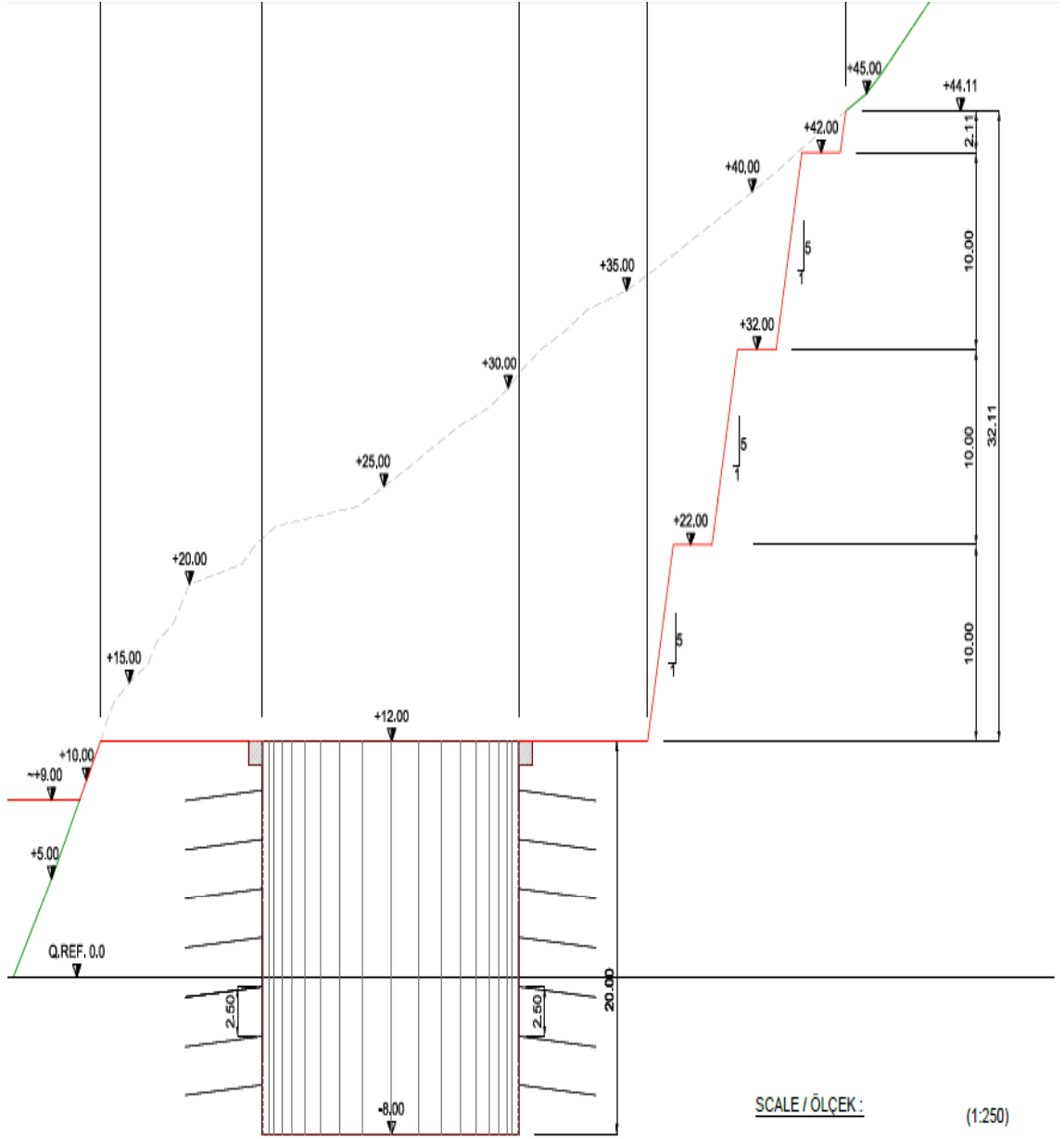
Şekil 2.15. Geniş çaplı tipik gevşetme deliği şekli Kuyu, başka bir yaygın metottur (Anon, 1998)



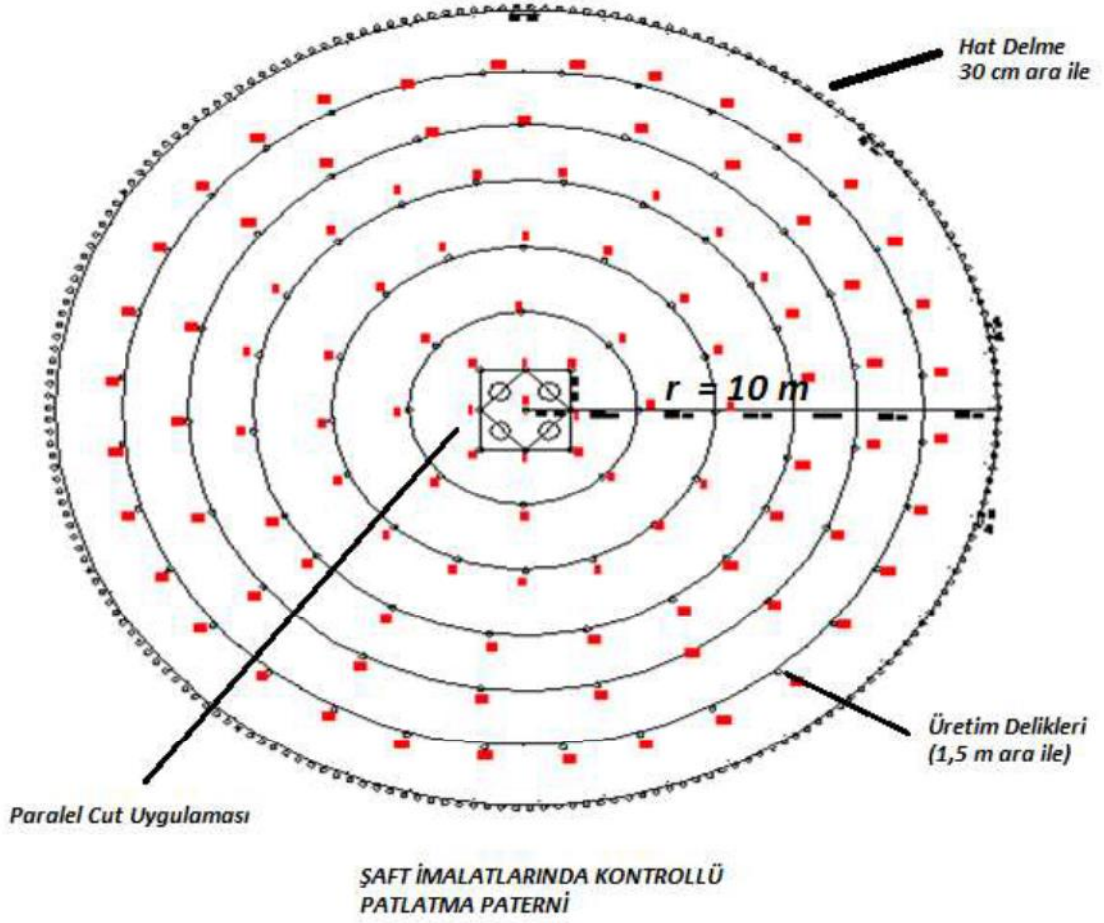
Şekil 2.16. Piramit kesim, kuyu döngüsünde yaygın bir üretim yöntemidir(Anon, 1998)



Şekil 2.17. V kesme kullanılan (Anon, 1998)

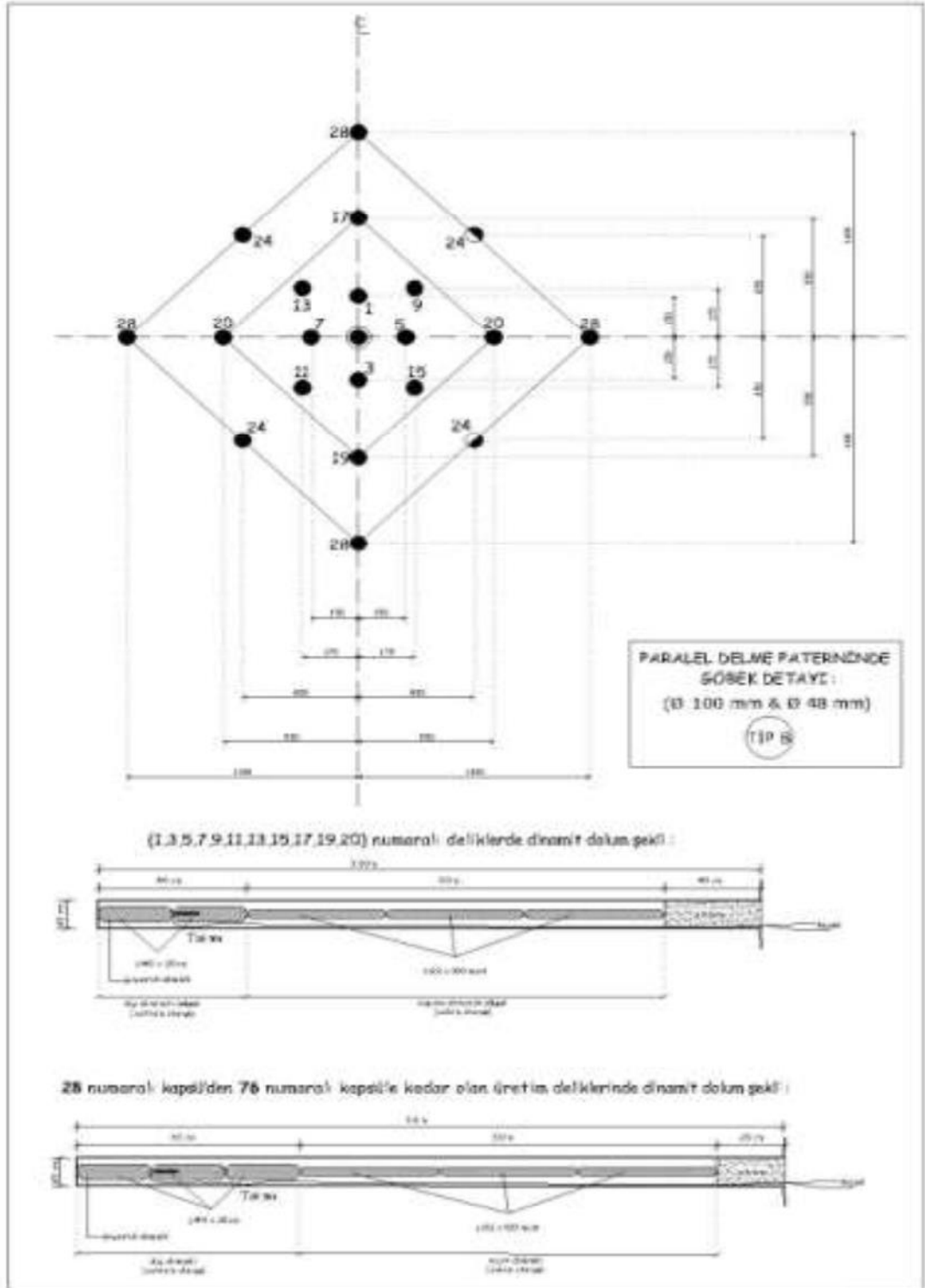


Şekil 2.18. '3.Boğaz Köprü'sü' Temel Şaftı ve Portal yapısı Tip Kesiti



Şekil 2.19. ‘3.Boğaz Köprü’sü’ Temel Şaftı Paralel Cut patlatma Gevşetme Paterni Tip Kesiti.

Kuyu patlatmalarında suya dayanım hemen hemen her zaman önemlidir. Bu nedenle emülsiyonlar, sulu jeller ve diğer yüksek su rezistanslı dinamit patlayıcılar tercih edilir. Emülsiyon ve sulu jeller, yüksek yoğunluklu sıkılama deliklerine şarj edilir ve etkili olurlar. 3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesinde temel shaftlarında su problemi ve aşırı geri çatlak sorununa karşılık ANFO kullanılmamıştır. Delik çapına uygun dinamit patlayıcılar kullanılmıştır.



Şekil 2.20. '3.Boğaz Köprü'sü' Temel Şaftı Patlatma Paterni Şarj detayı.

2.5.KONTROLLÜ PATLATMA KAVRAMI

2.5.1 Kontrollü Patlatmanın Tanımı

Kontrollü patlatma, normal yöntemler ile yapılan basamak, yol şevi, tünel ve kanal patlatmalarının istenmeyen sonuç ve etkilerinden kurtulmak için geliştirilmiş özel yöntemlerin genel adıdır. Kontrollü patlatma uygulamalarına, madencilik, yol yapımı, baraj inşaatı, tünel yapımı gibi faaliyetlerde yoğun olarak başvurulmaktadır. Tünelde, planlanan kazı kesit alanının üzerinde bir alan kazıp dolgu masrafına neden olmamak; yol ve baraj şevlerinde sağlam ve düz bir yüz bırakmak; madencilikte istenilen tane boyundaki cevheri sismik şok, savrulan kaya ve titreşim oluşturmadan üretmek, kanal kazılarında istenilen kesitteki kanalı, aşırı hacim yaratmadan, titreşim oluşturmadan kazmak gibi bir çok amaç için kontrollü patlatma teknikleri uygulanmaktadır. Ayrıca şehirlerin büyümesi, maden sahalarının ve yolların yerleşim yerlerine geçmişte olduğundan daha fazla yaklaşmaları, şehir altyapı sistemlerinin ve yer altı ulaşım şebekelerinin her geçen gün artması sonucunda patlatma gerektiren uygulamalar, biraz daha yerleşim yerlerine, insanların yoğun yaşadığı bölgelere yaklaşmaktadır. Bunun sonucunda da patlatmaların ses, savrulan kaya ve titreşim gibi olumsuz etkilerinden şikayet eden kişilerin sayısında bir artış olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı patlatmaların, bu tür şikayetlere konu olan sonuçlarının kontrol altına alınmasının da gerekliliği doğmaktadır. Tüm bunlara ek olarak birlikte yaşamak zorunda olduğumuz depremler gibi doğal afetler sonrası kullanılamaz durumda olduğu için yıkılması gereken ağır hasarlı binaların patlatma yolu ile yıkılmaları gibi konular da kontrollü patlatma adı altında değerlendirilmektedir. Tüm bu farklı amaçlar için başvuru kontrollü patlatma teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler (Olofsson 1988);

- Hat delme
- Son kesme
- Yastıklamalı son kesme
- Demolition (bina yıkımı)
- Ön kesme
- Birleşik yöntemler

2.5.1.1 Hat delme yöntemi

Hat delme yönteminde kazı hattı boyunca tek sıra küçük çaplı delikler sık olarak delinir ve bu deliklere patlayıcı şarjı yapılmaz, bir hat oluşturan bu delikler üretim deliklerinin patlatılması sırasında zayıf bir düzlem oluşturarak aşırı kazıyı önlerler (Kahraman & Kılıç 2000).

2.5.1.2. Son kesme yöntemi

Son kesme yönteminde kazı kesitinin sonuna sık aralıklarla delinen ve üretim deliklerinden %50 daha az şarj edilen delikler üretim deliklerinden hemen sonra patlatılırlar, burada amaç arkada kalan yüzeyi fazla örselememek ve kazı kesit alanını hacimce ve şekil olarak bozmamaktır. Son kesmenin başarılı olabilmesi için önemli bir şart deliklerin sapmaları en az olacak şekilde çok hassas delinmeleridir (Olofsson 1988).

2.5.1.3. Yastıklamalı son-kesme yöntemi

Yastıklamalı son-kesme yöntemi, son-kesme uygulamasının biraz değiştirilmiş halidir bu yöntemde, patlayıcı madde şarjından sonra delik tamamen kum ile doldurulur. Burada amaç, patlatma şokunun kazı hattı gerisindeki kayaca etkisini en aza indirmektir (Kahraman & Kılıç 2000).

2.5.1.4. Demolition

Bina yıkımı (demolition) için patlayıcı madde ve patlatma teknikleri kullanmak son zamanlarda geliştirilen ve özel kontrollü patlatma tekniklerinden birisidir. Binanın taşıyıcı kolonları çok az bir patlayıcı madde ile kesilerek binanın kendi ağırlığı ile içine yıkılması esasına dayanan bir yöntemdir. Birleşik yöntemler ise, sayılan kontrollü patlatma tekniklerinin kendilerine özgü kuralların bütünleştirilerek birlikte uygulanmaları gereken durumlarda tatbik edilebilmeleri için ortaya çıkan hibrit yöntemlerdir. Bu çalışmaya konu olan uygulamada ise patlatma etki alanındaki bir binanın savrulan kaya ve titreşim etkilerinden kurtulması için ön-kesme yöntemi uygulanmıştır. Ön-kesme yöntemi bu çalışmaya konu olan yöntem olduğu için ayrıntılı olarak incelenecektir. (Germen & Abdullahoğlu 1998).

2.5.1.5. Ön-kesme yöntemi

Ön-kesme patlatması, kazı sınırı boyunca sonraki ana patlatmayı kesen yapay bir düzlem meydana getirerek, az ya da aşırı olmayan bir kırılmaya sahip düzgün bir yüzey meydana getirir. Ön-kesme düzlemi oluşturulduktan sonra ateşlenen ana patlatmadan kaynaklanan bazı şok dalgaları, bu dalgaların kalan kaya formasyonuna aktarılmasını

önlemek için ön-kesme düzlemi ile yansıtılır. Bu genellikle yer titreşiminin azalmasına yol açar. En uygun sonuç için en önemli etken delme işlemindeki hassaslık ve zamanlamadır (Olofsson 1988).

Ön-kesme teorisi 1990 yılından sonra değişikliğe uğramıştır. Oloffson (1988), ‘komşu deliklerdeki patlatmaların şok dalgaları çarpışmakta ve her iki tarafta çekme gerilimi bileşkeleri oluşmakta, oluşan çatlak zonunu bu çekme gerilmesi meydana getirmektedir’ derken; Konya & Walter (1990), çatlakların şok dalgalarının çarpışmaları ile değil, radyal çatlakların birleşmeleri ile oluştuğunu laboratuar analizleri ve arazi deneyleri ile göstermişlerdir. Bu yeni tespit çok önemlidir. Çünkü bu durum ön-kesme atımlarının, gecikmeli de yapılabileceği sonucunu doğurur ki bu durumda gecikmesiz bir ön kesme atımında meydana gelen gürültü ve hava şoku gibi olumsuz sonuçların da önüne geçilebileceği anlamına gelmektedir (Kahraman & Kılıç 2000). Üretim deliklerinin hemen arkasına sık aralıklarla delinen ön-kesme deliklerinin patlatılması sonucunda kaya kütlelerinde birbirini takip eden ve delikler ile aynı düzlemde olması beklenen bir kırık hattının oluşması beklenir. Burada amaç, üretim patlatmasının radyal çatlaklarının geçemeyeceği bir kırık hat oluşturmaktır. Ön-kesme patlatmasında, delik çapları genelde 30-120 mm arasındadır ve çoğunlukla tüm delikler, delik çapından küçük çaplı patlayıcılarla şarj edilir (Oloffson 1988). Patlayıcı çapının delik çapından küçük olması, patlatmanın şok dalgalarını sönmeler ve böylece kaya ezilmeden sadece çatlama ile yenilir (Kahraman & Kılıç 2000). Ön-kesme deliklerinin, şarj ve mesafe hesabında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılabilir (Konya & Walter 1990);

$$D=8,25 \times 10^{-5} \times d^2 \quad (1) \text{ Burada;}$$

D : Şarj miktarı (kg/m)

d : Delik çapı (mm)

$$S=10 \dots 12 \times d \quad (2)$$

$$B=S/2 \quad (3) \text{ Burada;}$$

S : Ön-kesme delikleri arası mesafe (mm)

S1 : Üretim delikleri arası mesafe (mm)

B : Ön-kesme dilim kalınlığı (mm)

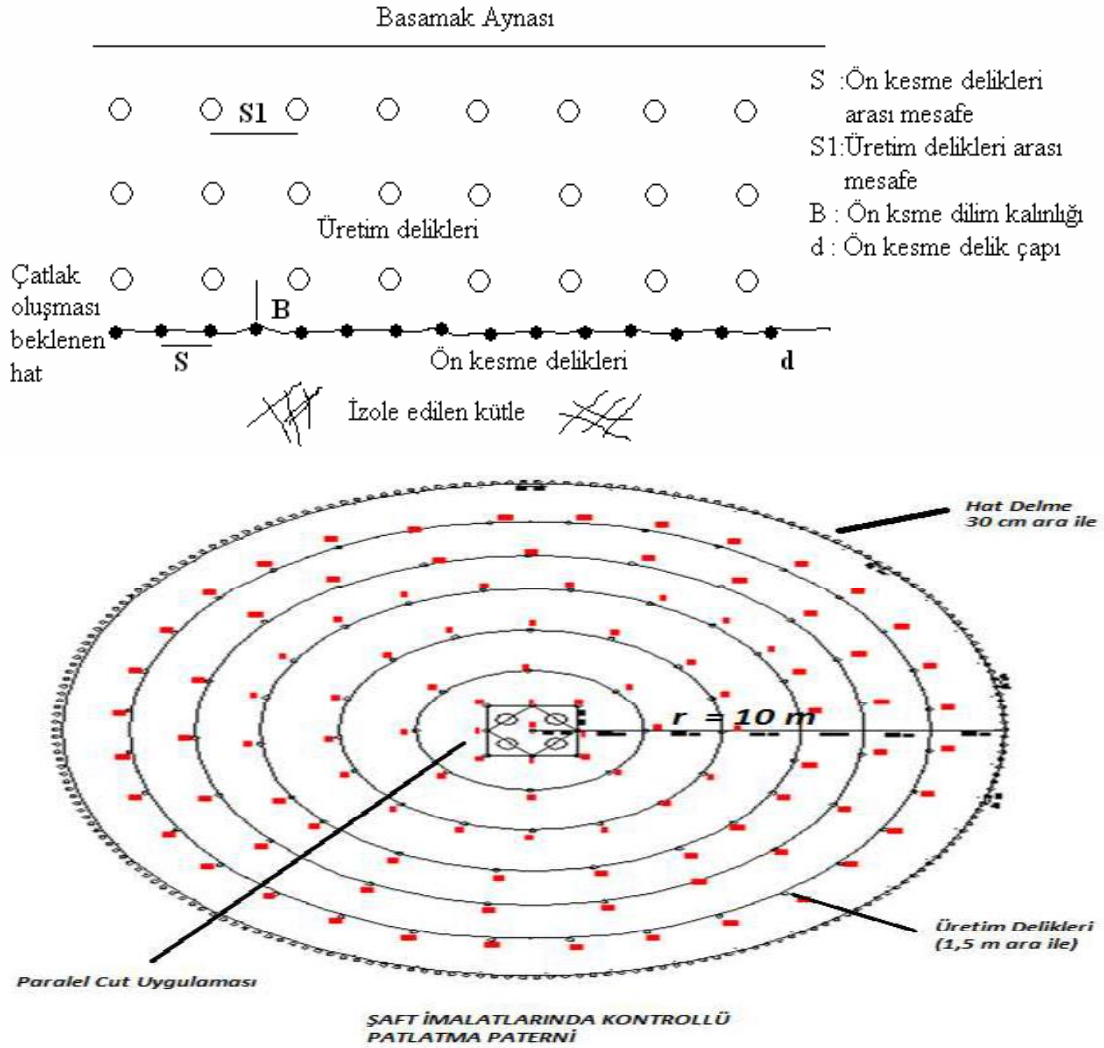
d : Ön-kesme delik çapı (mm)

Ön-kesme deliklerinin sıkılanmaması tavsiye edilir (Olofsson 1988). Gecikmeli atım durumunda 25’ ms. den fazla gecikme önerilmez (Konya & Walter 1990).

Sıkılama yapılmadığı için ve genelde infilaklı fitil kullanıldığı için hava şoku fazla olmaktadır ancak yöntem homojen kayada çok iyi sonuç verir (Kahraman & Kılıç 2000).

2.5.2. Projede Hat Delme Ve Ön Kesme Yöntemlerinin Uygulanması

Kontrollü patlatma uygulaması 3. Boğaz Köprü'sü Temel Şaftlarında ve portal yapılarında uygulanmıştır. Şaftlar 20 m çapında ve 20 m derinliğindedir. Şaft kenarlarında çatlakların ve fazla kazı açılmalarının olmaması için hat delme uygulaması şart koşulmuştur. Kuzey Marmara Otoyolu'ndaki şevlerin projeye uygun imalatının yapılabilmesi için ön kesme uygulaması kullanılmıştır(şekil 2.21).



Şekil 2.21. Basamak patlatması ve şaft patlatmasında hat delme ve son kesme uygulamaları.

2.6. PATLATMA SONUÇLARINI ETKİLEYEN VE TASARIMDAN GÖZ ÖNÜNE ALINMASI GEREKEN ETKENLER

2.6.1. Kaya Birimlerinin Malzeme ve Kütle Özellikleri

Maden ve inşaat mühendisliği kazılarının tasarımında, kayaçların kütle ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi en önemli safhalardan biridir. Maden mühendisliğinde, kayaçların mühendislik özellikleri, üretim yöntemi ve kazı ekipmanı seçimi, patlatma geometrisinin tasarımı, şev stabilitesi ve yeraltı açıklıklarının boyutlandırılması çalışmalarında temel tasarım parametreleri olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında yapılacak ön incelemeler ile kaya birimlerinin;

- ✓ Yoğunluk
- ✓ Basınç, Çekme ve Darbe Dayanımları
- ✓ Sismik dalga hızı
- ✓ Empedans
- ✓ Süreksizlik durumu ve kütleli olarak sağlamlık derecesi
- ✓ Su durumu
- ✓ Elastik modülü
- ✓ Poisson oranı
- ✓ Değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi, izotropluk)
- ✓ Sertlik

gibi özellikleri belirlenmeli ve bu veriler kullanılarak delme-patlatma dizaynı yapılmalıdır.

Yoğunluk patlatma sırasında harekete geçen kütleyi işaret etmektedir. Patlatma ile yaratılan şok dalgalarının dinamiğini etkiler. Şok dalgaları yoğun ortamlarda daha iyi yayılma olanağı bulmakta, az yoğun ortamlarda ise dalga yayılma koşulları pek iyi olamamaktadır. Patlayıcı-kayaç uyuşması konusunda rol alır. Empedans kavramına göre patlayıcıdan en yüksek verimi alabilmek için; patlayıcının empedansı ile kayacın empedansının birbirine yakın veya uyumlu olması gerekir.

Basınç, çekme, darbe dayanımları, baskıya ve çekmeye dayanım, kaya yapılarının direnebileceği yük miktarını gösterir. Üzerinde durulması gereken nokta, yüklemenin

hızıdır. Kaya yapılarının tansiyonal dayanımı, baskıya dayanımın yaklaşık 1/10 değerindedir. Kayaçların çekme dayanımlarının, basma dayanımlarından çok daha düşük olması nedeniyle patlatma sırasında, patlatılacak malzemenin çekme dayanımını aşacak değerlere ulaşılmalıdır.

Elastisite modülü, Young Elastisite Modülü ve Poisson Oranı, kaya yapılarının elastisite özellikleri açısından, şekil olarak direnebilecekleri deformasyonları gösterir. Kaya mühendisliğinin yeraltı açıklıklarıyla ilgili uygulamalarında, birincil ve ikincil gerilmeler kapsamında, Poisson oranı karşımıza çıkmaktadır.

Su durumu, su kayaçlar içinde depolanmakta, hareket etmekte ve kayaçların özelliklerini fiziksel ve kimyasal yönden etkilemektedir. Su kayacın dayanım özelliklerini düşürmektedir. Çatlaklarda oluşturduğu basınç nedeniyle bazen çatlakların daha fazla açılmasına neden olmaktadır. Suyu doygun dayanımın kuru dayanımın yarısına kadar düştüğü görülmüştür. Özellikle bünyesinde kil mineralleri içeren kayaçlar su ile temas ettiklerinde, bütün dayanım özelliklerini kaybedebilmektedir.

Süreksizlikler, jeolojik olarak “süreksizlikler” terimi fay hatlarını, tektonik çatlakları, soğuma çatlaklarını ve bunun gibi diğer çatlakları kapsar. Patlatmalı kaya kazısı ile uğraşanların çoğunlukla şikayet ettikleri konu üzerinde çalıştığı kaya yapısının çok çatlaklı olduğudur. Süreksizliklerin oluşmasında rol alan diğer bir unsur da soğumadır. Volkanik kayaçlar için geçerli olan bu olay, soğuma sırasında oluşan hacim küçülmesi veya büzümeye bağlıdır. Bir bölgedeki volkanik kayaçların oluşumu değişik fazlarda meydana gelebilir. Daha önce oluşan kaya yapıları, arkadan gelen ikinci lav akıntısında parçalanır, yuvarlanır ve tekrardan soğuma sonucunda ortaya enteresan görüntüler çıkar. Bu tür yapılar doğaldır ki patlatma sonucunda oluşan tane boyu dağılımını etkileyecektir. Sedimentasyonun jeolojik süreçler içerisinde değişik koşullarda olması, aynı kaya yapısı içerisinde değişik özelliklerde katmanlar oluşmasına yol açar. Sedimanter katmanlar bazen patlatma sonrası elde edilen tane boyu dağılımı konusunda sorunlar yaratabilir. Süreksizlik sistematüğini yakalayabilmek için “gül diyagramı” çalışması yapılmalıdır. Bunun için süreksizliklerin coğrafi yönleri saptanır, büyüklük ve etkinliklerine göre değerlendirilir. Bu diyagrama göre süreksizliklerin hakim yönü saptanmış olur. Süreksizlik yönünün patlatma tekniğinde tane boyu dağılımını etkileyen bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Süreksizlik yönüne paralel aynalarda yapılan patlatmalarda tane boyut dağılımı daha iyi kontrol edilebilmiştir. In-situ basınç dağılımları, doğada insan eli değmemişken kaya yapılarının insitu basınç dağılımları

dengededir. O nedenle çok uzun süreler boyunca dengede dururlar. Dengeleri bozulduğunda ise heyelan ve toprak kaymaları görülür. Herhangi bir amaç ile kazı yapılmaya başlandığında ise denge bozulmaktadır. Kazı aynasında kompresif ve tansiyonal bölgeler oluşur. Tansiyonal bölgeler kullanılarak uygulanan patlatma tekniklerinde bir taraftan patlayıcı tasarrufu sağlanırken, öte yandan daha iyi bir pasa profili ve tane boyut dağılımı elde edilebilir.

Patlatma tasarımında iki temel parametre vardır. Bunlar; özgül şarj ve uygun dilim kalınlığıdır. Bu iki parametreye (herhangi bir kaya birimi için) makul bir yanıt verildiği takdirde; kabul edilebilir yaklaşımlara dayalı olarak diğer tasarım parametreleri bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir. Özgül şarjı süreksizlik yönelimleri de etkiler ve özgül şarj değerleri; süreksizlik yönelimleri, aynaya paralel olduğunda minimumdur. Dilim kalınlığı için bazı araştırmacılar sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Bazıları ise bu büyüklüklerle birlikte kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır.(Köse, 1989)

2.6.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı

- ✓ Yoğunluk
- ✓ Patlatma hızı
- ✓ Kudret (güç)
- ✓ Hassasiyet
- ✓ Suya dayanım
- ✓ Dona dayanım
- ✓ Gaz özellikleri
- ✓ Patlatma ısı ve özgül gaz hacmi
- ✓ Depolanma süresi ve şekli

2.6.3. Patlatma Geometrisi

- ✓ Delik çapı, yeri, eğimi ve boyu
- ✓ Dilim kalınlığı, delikler arası mesafe
- ✓ Basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi
- ✓ Sıkılama payı

- ✓ Delik taban payı
- ✓ Şarj şekli, delik içi dağılımı
- ✓ Atım grubu boyutları
- ✓ Yemleme, ateşleme şekli ve düzeni
- ✓ Gecikme tipi ve süresi

Yukarıda değinilen bu üç temel unsurun aralarındaki ilişkilerin ortaya konulması sonucunda tasarım için uygun yaklaşımlarda bulunmak mümkün olabilmektedir. Ancak, birçok araştırmacının kabul ettiği ve yanıt aradığı iki anahtar parametre öne çıkmaktadır. Bu iki parametre; özgül şarj ve en uygun dilim kalınlığıdır. Bu iki parametreye (herhangi bir kaya birimi için) makul bir yanıt verildiği takdirde; kabul edilebilir yaklaşımlarla diğer tasarım parametreleri bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir (Güstaşsson, 1973; Langefors ve Kihlstrom, 1978; Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990). Deneme-yanılma yoluyla yapılacak dilim kalınlığı ve özgül Şarj miktarı belirleme çalışmalarında, maliyeti göz önüne almak gerekmektedir. Bu nedenle, ilk tasarım açısından makul bir değerdeki özgül şarj ve dilim kalınlığı değerinden başlamak çok olumlu sonuçlar verebilmektedir. Bu da ancak yukarıda ifade edilen üç ayrı temel parametre arasındaki ilişkilerin yorumlanması ile mümkün olabilmektedir. Konu ile ilgili olarak, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş belirli ampirik ilişkilerden yararlanarak ve kaya koşullarını dikkate alarak, bir başlangıç dilim kalınlığı ve özgül şarj değeri belirlenmekte ve ön tasarım yapılabilmektedir.

Uygulama sonunda; gerekli gözlemler, verimlilik ve maliyet analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilebilmektedir. En uygun değerlere ulaşmak için iterasyonlar yapılmakta ve işletme koşullarını da dikkate alan bu çalışmalar sonucu bulunan değerler, uygun değer olarak kabul edildiğinde; tasarım kesinleştirilebilmektedir. (Kahriman, 1995)

2.6.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler

Herhangi bir kayada istenen parçalanma derecesini elde etmek için bir deliğe konacak Patlayıcı madde miktarının (esasen özgül şarjın) büyük oranda kaya özelliklerine bağlı olduğu bilinmekle birlikte, bu kritik ilişki birçok kaya özelliklerinin birlikte etkili olması nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bu nedenle tam olarak ortaya konulamamıştır.

Bu konuda belirli teorik yaklaşımlar olmasına rağmen günümüzde kullanılacak özgül şarj; çoğunlukla, her bir kaya birimi için deneme yanılma yöntemi ile belirlenmek durumundadır. Bu yüzden kayanın madde ve kütle özellikleriyle, optimum özgül şarj arasında güvenilir bir ilişki geliştirmek önemini korumaktadır (Paşamehmetoğlu, 1986). Patlatma geometrisi ve kaya patlatma sabiti önem arz eden Langefors formülü aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$q = [(1,4x\text{CoxB}^3+0,4x\text{CoxB}^2x(K-2B))] / (nxKxB^2), (\text{kg/m}^3) \quad (2.1)$$

Özgül şarj ve sismik hız arasındaki ilişki Broadbent (1974) tarafından geliştirilmiştir. Başka bir ampirik yaklaşım ise kaya kütlelerinin çatlak sıklığı ve etkin içsel sürtünme açısı dikkate alınmak suretiyle Ashby (Hoek&Bray, 1991) tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$q = 1.4x\tan(\varphi + i) (\text{kg/m}^3) \quad (2.2)$$

(Çatlaksayısı / metre)^{1/3} Ülkemizdeki bazı demir ve linyit işletmelerinde araştırmalarda bulunan Paşamehmetoğlu ve arkadaşları özgül şarj ile basma dayanımı, çekme dayanımı, yoğunluk, empedans, darbe dayanımı, sismik dalga hızı (P dalga hızı) gibi bazı kaya özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler geliştirmişlerdir (Paşamehmetoğlu ve ark., 1986; Bilgin ve Paşamehmetoğlu 1986).

Söz konusu araştırmacılarca geliştirilen bu ilişkiler aşağıdaki gibidir.

Basma dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.474 + 0.004 \times \sigma_b \quad (r=0.56) \quad (2.3)$$

Çekme dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.369 + 0.0224 \times \sigma_{\varphi} \quad (r=0.82) \quad (2.4)$$

İçsel sürtünme açısı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.2349 \times (\tan\Phi)^{0,5570}, \quad (r=0.68) \quad (2.5)$$

Kohezyon ve darbe dayanımı ilişkisi:

$$q = 0.1156 + c \times 0.0072, \quad (r=0.95) \quad (2.6)$$

Darbe dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.414 + 9.55 \times 10^{-7} \times DD, \quad (r = 0.99) \quad (2.7)$$

Yoğunluk ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.019 + 2.038 \times 10^{-4} \times dr, \quad (r=0.99) \quad (2.8)$$

Kaya empedansı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.02 + 3.97 \times 10^{-8} \times I, \quad (r=0.99) \quad (2.9)$$

Sismik hız ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = -1.9928 + 0.2904 \times \ln V_p, (r = 0.89) \quad (2.10)$$

Özellikle dönmeli delik delme işlemlerinde kayaların patlatılabilirlikleri konusunda, delme performanslarından elde edilen kaya kalite indeksinin (RQI) önemli olduğunu ifade eden Leighton (1982), özgül şarj ve kaya kalite indeksi arasında aşağıdaki ilişkiyi geliştirmiştir.

$$q = (RQI - 24.9) / 7.1, (kg/ton) \quad (2.11)$$

Aynı konuda Paşamehmetoğlu ve ark., Topper ve Dinçer'de Türkiye'de yaptıkları çalışmalarda benzer yaklaşımlarda bulunup bazı ilişkiler geliştirmişlerdir.

$$q = 0.208 + 0.0224 \times RQI, (r = 0.82) \quad (2.12)$$

Kou ve Rustan, özgül şarj kavramına yakın bir kavram olarak kabul edilen patlayabilirlik faktörünün (C_o), kayanın tek eksenli basma dayanımını, dinamik elastisite modülünü ve referans patlayıcı maddenin ısı enerjisini dikkate alan aşağıdaki formülle tahmin edilebileceğini belirtmektedir.

$$C_o = (\sigma_b)^2 / (2 \times E_d \times Q_{er}) \quad (2.13)$$

Bilgin ve Arkadaşları (1994), özgül şarj üzerinde, süreksizlik yönelimlerinin de etkili olduğunu ve özgül şarj değerlerinin; süreksizlik yönelimlerinin, aynaya paralel olduğu durumlarda minimum olduğunu ifade etmektedir. Burada kullanılan semboller;

q: Özgül şarj, (kg/m³)

C_o : Kaya patlatma katsayısı, (kg/m³)

K: Basamak yüksekliği, (m)

n: Delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı

B: Dilim kalınlığı, (m)

f: Delik eğim faktörü

$\Phi+i$: Etkin içsel sürtünme açısı, (derece)

σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

σ_c : Kayanın endirekt çekme dayanımı, (MPa)

ϕ : Kayanın içsel sürtünme açısı, (derece)

c: Kohezyon, (MPa)

DD: Darbe dayanımı, (kg.m / m³. 10⁻⁵)

dr: Kayanın yoğunluğu, (kN/m³)

I: Empedans, ((MN-m) / (m³-sn))

V_p : Sismik (P-dalga) hız, (m/sn)

RQI: Kaya kalite indeksi, (Mpa-dak/m)

Ed: Dinamik elastisite modülü, (MPa)

Qer: Referans patlayıcı maddenin ısı enerjisi, (kJ/kg)

2.6.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar

Patlatma geometrisi tasarımı konusunda yapılan araştırmalar göstermiştir ki dilim kalınlığı, diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkindir. Bir başka ifade ile, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebildiği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceği konusu çoğu araştırmacılarca vurgulanmıştır (Gustafsson, 1973; Tamrock , 1978; Bilgin ve Ark., 1986; 1994; Arıoğlu, 1988; Olofsson, 1988; Konya, 1990).

Dilim kalınlığı, kritik bir tasarım unsuru özelliğindedir. Bu kritiklik hem delme patlatmanın ekonomisi yönünden, hem de fırlayan kaya, yer sarsıntısı gibi ocak ve çevre emniyetini etkilenmesi bakımından önem arz etmektedir. Araştırmacılar, işletme koşullarına uygun dilim kalınlığını belirlemek amacıyla uzun süreden beri çeşitli çalışmalar yapmışlar ve ampirik yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bununla beraber dilim kalınlığını her işletme ve her kaya birimi için deneme yanılma yoluyla belirleme yaklaşımı, güncelliğini korumaktadır. Çeşitli araştırmacıların dilim kalınlığı için önerdikleri bağıntılar, Arıoğlu (1988) tarafından ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan bir kısmı sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Diğer bir kısmı ise, bu büyüklüklerle birlikte, kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlara geniş bir şekilde aşağıda yer verilmiştir.

$$B = 0.024 * d + 0.85, \text{ (Arıoğlu, 1988) (2.14)}$$

$$B = (25-35) - 12 * d, \text{ (Atlas Power Company, 1985) (2.15)}$$

$$B_{max} = 0.045 * d, \text{ (Gustafsson, 1973) (2.16)}$$

$$B_{max} = 1.36 * (I_b)^{0,5} * R_1 * R_2, \text{ (Oloffson, 1988) (2.17)}$$

$$B_{max} = (d/33) * (P * s) / [C_o * f * (S/B)]^{0,5}, \text{ (Langefors ve Kihlstrom, 1978),}$$

$$(B = B_{max} - E) \text{ (2.18)}$$

$$B = 3.15 * d * (S_{Ge} / S_{Gr})^{0,33}, \text{ (feet), (Konya & Walter, 1990) (2.19)}$$

$$B = [(Q_b + Q_p)] / [(S/B) * K * K_{tp}], \text{ (Zeigler, 1991) (2.20)}$$

$$B = 10^{-3} * K_r * d * (P_p / (\sigma_c))^{0,5}, \text{ (Pearse formülü, Arıoğlu, 1988) (2.21)}$$

$$B = f(q, d, K, \tau_p, a), \text{ (Arıoğlu, 1988) (2.22)}$$

$$B = [(K_o / (\mu \times n \times \tan(\theta/2))]^{0,5} \times d \times [(SG_e \times Q_e / Q_{er}) / ((\sigma_b^2 / (2E_d \times n \times Q_{er}))^{0,5} \\ \text{(Kou ve Rustan, 1992) (2.23)}$$

Burada kullanılan semboller;

B_{max} : Maksimum dilim kalınlığı, (m)

d: Delik çapı, (mm)

l_b: Şarj yoğunluğu, (kg/m)

R1: Delik eğimi düzeltme faktörü

R2: Kaya düzeltme faktörü

d_e: Patlayıcı maddenin çapı, (inç)

SG_e: Patlayıcı maddenin özgül ağırlığı

SG_r: Kayanın özgül ağırlığı

P: Patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu, (kg/dm³)

s: Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

C_o: Kaya patlatma katsayısı

f: Atım güçlük katsayısı

S: Delikler arası mesafe, (m)

E: Delik hata payı, (m)

Q_b: Dip şarj miktarı, (kg)

Q_p: Kolon şarj miktarı, (kg)

K: Basamak yüksekliği, (m)

K_{tp}: Teknik şarj faktörü

K_r: Kaya faktörü

P_p: Delikteki patlama basıncı, (MPa)

σ_ç: Kayanın çekme dayanımı, (MPa)

P_d: Detonasyon basıncı, (MPa)

σ_{ç,d}: Kayanın dinamik çekme dayanımı, (MPa)

σ_{ç min} : Minimum çekme gerilmesi, (MPa)

σ_{ç max} : Maksimum çekme gerilmesi, (MPa)

α: Süreksizlik düzleminin aynaya göre olan açısı, (derece)

η: Enerji iletim verimi

μ: Kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki oran

Q_e: Patlayıcı ısı enerjisi, (kJ/kg)

Qer: Referans patlayıcının ısı enerjisi, (kJ/kg)

θ : Kırılma açısı, (derece)

Ed: Dinamik elastik modülü, (GPa)

σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

Bu formüllerin dışında; uygun dilim kalınlığının belirlenmesi için Rustan, Bilgin, Paşamehmetoğlu ve arkadaşları her bir işletmede tek delik düzeninin uygulanmasının daha olumlu sonuçlar vereceğini ifade etmektedirler. Tüm bu formüller genel bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda; dilim kalınlığını, delik çapının fonksiyonu olarak ifade eden yaklaşımların pratik kolaylıklar sağladığı ve hemen tümünün birbirine oldukça yakın değerler olduğu (minimum ve maksimum aralıkları içinde) görülmektedir. Patlatma geometrisi unsurlarıyla birlikte çalışılan kayaların madde ve kütle özelliklerini belirli ölçüde kullanmanın yanında, kullanılan patlayıcı madde özelliklerini de göz önünde tutan yaklaşımlardan; pratikte daha olumlu sonuçlar elde edilenler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Konya yaklaşımının yoğunluk dışında diğer kaya özelliklerini dikkate almaması nedeniyle; kullanımının sınırlı olacağı çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. Bununla birlikte bu yaklaşımın zayıf formasyonlar için iyi sonuçlar verdiği de belirtilmektedir. Pearse formülün kayaların çekme dayanımını esas alması dolayısıyla ön tasarımlarda olumlu sonuçlar verdiği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir (Arıoğlu, 1988). Bu yaklaşımın, özellikle kalker formasyonu için başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Ancak diğer kaya özelliklerini dikkate almaması, uygulama şansını sınırlamaktadır. Keza Arıoğlu'nun (1988) özgül şarj, patlatma geometrisi büyüklüklerini ve patlayıcı madde özelliklerini kapsar şekilde önerdiği bağıntı ile belirli sonuçlar alınabilmesi söz konusu olabilir. Bu yaklaşımda; birim patlayıcı tüketimi, kayanın diğer madde ve kütle özelliklerini dikkate alacak şekilde belirlendiğinde, yaklaşımın başarı şansı artabilecektir. Nova ve Zanietti tarafından değiştirilen Pearse yaklaşımının, süreksizlik yönelimini dikkate almış olması nedeniyle oldukça olumlu sonuçlar verdiği Özkahraman (1994) tarafından ifade edilmektedir (Kahriman, 1999). Rustan tarafından önerilen tek delik düzeni ile dilim kalınlığı belirleme yaklaşımının, bir takım deneme zorlukları ve ek maliyet unsurları oluşturma gibi hususlar bir tarafa bırakıldığında, oldukça iyi sonuçlar verdiği çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmektedir (Bilgin, 1994; Özkahraman, 1994). tarafından önerilen yaklaşımın;

kayaların dinamik elastik modülünü, basma dayanımı, patlayıcı madde özelliklerini, delik çapı ve diğer geometrik büyüklükleri dikkate alması nedeniyle olumlu sonuçlar verebileceği, ancak süreksizlikleri ve yönelimlerini dikkate almadığından tahminlerde yanılmalar olabileceği bazı araştırmacılarca belirtilmektedir (Özkahraman, 1994).

Langefors ve Kihlstrom tarafından verilen formülün; (özellikle sağlam kayalarda) kaya özelliklerini (kaya patlatma katsayısı şeklinde), delik çapı ile diğer delik geometrisi unsurlarını ve patlayıcı madde özelliklerini (yoğunluk ve kudretini) dikkate alması nedeniyle pratikte çok başarılı sonuçlar verdiği birçok araştırmacı ve uygulamacı tarafından pek çok yayında ifade edilmektedir. Aynı yaklaşımın esas alındığı bu çalışma kapsamında yapılan tasarımlarla da başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak formülün başarısı için, kaya patlatma katsayısının çok iyi bir şekilde (gerekirse test atımlarıyla) tayin edilmiş olması gerekmektedir.

2.6.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyüklükleri

Güvenilir bir patlatma tasarımında belirlenmesi gereken diğer parametreler; sırasıyla, delik çapı, delik eğimi, delikler arası mesafe, delik taban payı, sıkılama boyu, gecikme zamanı, taban şarj boyu ve miktarı, kolon şarj boyu ve miktarı, yemlemenin konumu, miktarı ve sayısı ile ateşleme sistemidir. Tasarımda etkili olan bu parametrelerin dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebileceği hemen hemen tüm araştırmacılar tarafından benimsenmiş ve bu yönde yaklaşımlar geliştirilmiştir.

2.6.6.1. Delik Çapı Tahmini

Delik çapının seçiminde etkin olan başlıca unsurlar; kaya özellikleri, istenen parçalanma derecesi, üretim kapasitesi kıstasları, çevre koşulları, basamak yüksekliği, kullanılacak patlayıcı maddelerin kudreti ve çapın artışına bağlı olarak birim delme maliyetinde olabilecek azalmadır. Her ne kadar pek çok işletmede, belirli bir makine parkı varlığı dolayısıyla delik çapı seçimi kısıtlı ise de; yeni oluşturulacak projelerde delik çapının çok iyi tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda özetlenen tüm etkili parametrelere karşın, araştırmacıların çoğu, delik çapının (d), daha çok basamak yüksekliğinin (K) bir fonksiyonu olarak ifade etmektedirler. Patlayıcı madde üreten kuruluşların bazıları ise iyi bir parçalanma ve tasarım kontrolü için delik çapının basamak yüksekliğinin onda biri kadar olmasını önermektedirler (Dick ve Ark., 1973). Bazı araştırmacılar da açık işletmelerde seçilebilecek delik çapları (d) için pratik olarak aşağıdaki verilen aralıkları önermektedirler.

$$d = 51\text{mm}-425\text{mm} \text{ (Dick ve Ark, 1973) (2.24)}$$

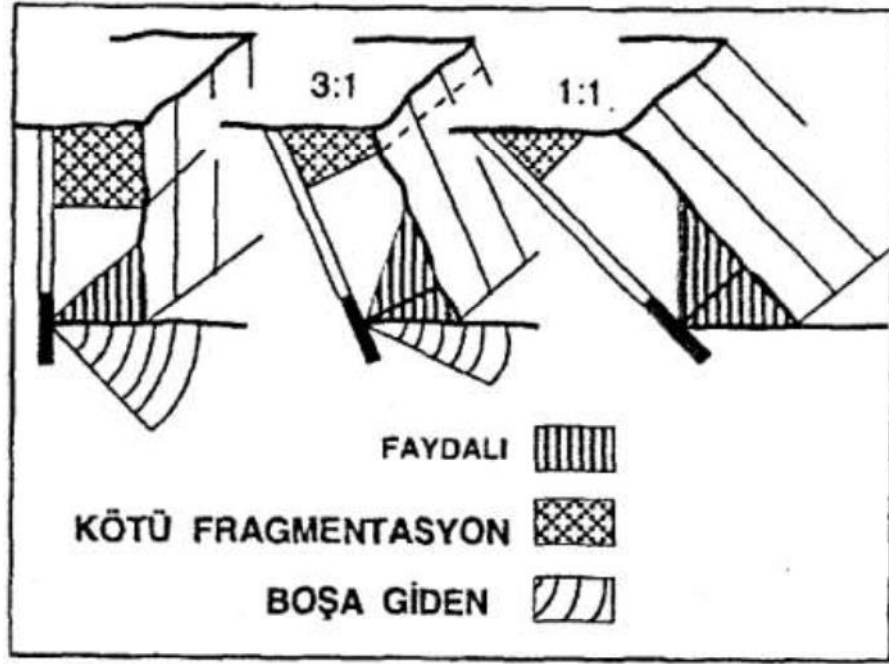
$$d = 30\text{mm}-400\text{mm} \text{ (Olofsson, 1988) (2.25)}$$

$$d \text{ (m)} = K / (100-200) \text{ (Tamrock, 1984) (2.26)}$$

Hagan ve bazı diğ er araştırmacılar ise delik çapının, basamak y kseklilğinin 40 ta biri ile 80 de biri arasında değiştiğini, yaptıkları çalışmalar sırasında gözlemlemişlerdir (Paşamehmetoğlu ve Ark, 1986). Tamrock'a (1984) göre; eğer kesme derinliği herhangi bir çaptaki deliğin kullanılmasına izin veriyorsa ve çevresel unsurlara (binalar v.s.) yeterince uzaksa, delik çapını tayin edici nihai faktör olarak ekskavatör kepçe hacmi dikkate alınabilmektedir.

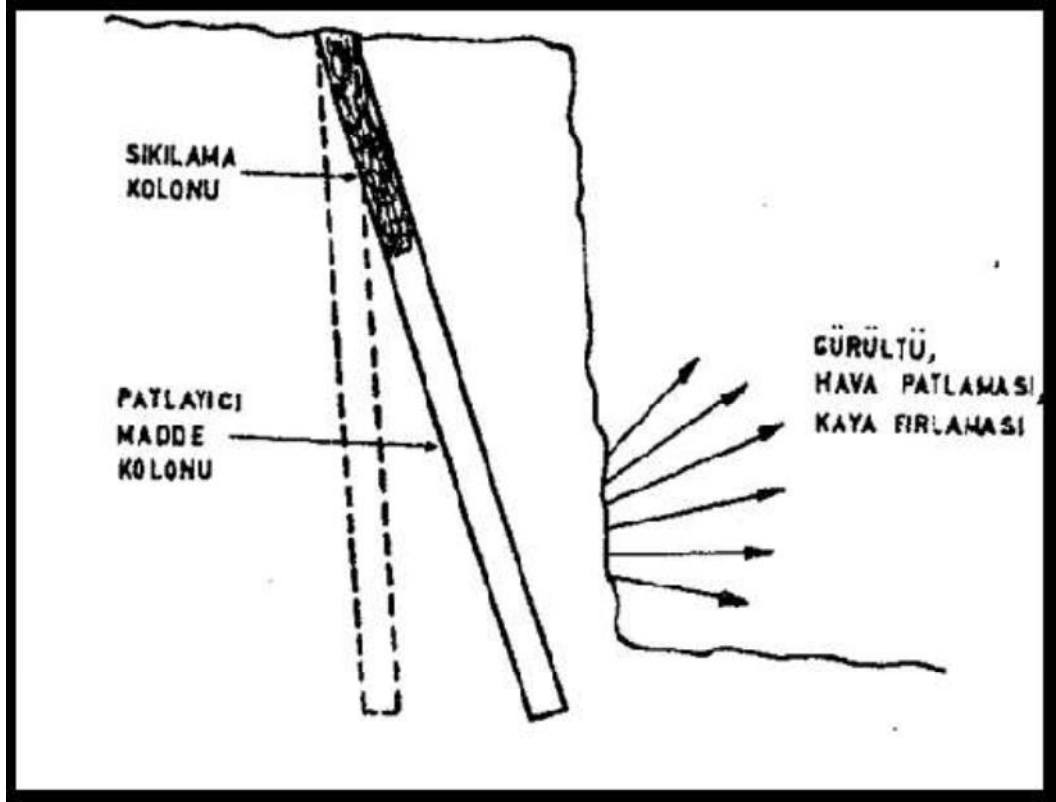
2.6.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi

Açık işletme basamaklarında dik delme, kolay olması ve delik boylarının daha kısa olması nedeniyle genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Buna karşılık, açık ocak şevlerinin genellikle eğimli olmaları nedeniyle deliklerin dik delinmesi durumunda, basamağın üst kısımlarındaki kayaçlar, istenilen parçalanma meydana gelmeden büyük bir kuvvetle ileri itilirler ve bu nedenle de büyük boyutlu bloklar halinde parçalanırlar. Ayrıca, basamak üst kısımlarında delik ile şev yüzeyi arası mesafe daha küçük olduğundan, patlama işlemini tam olarak yapamadan atmosfere kaar. Bunun sonucunda da, basamak üst kısımlarında gürültü, hava patlaması ve kaya fırlamaları meydana gelebilir (şekil 2.22). Basamak alt kısımlarında da, delik ile basamak şev yüzeyi arası mesafenin çok büyük olması nedeniyle, basamak alt kısımlarında iyi parçalanmamış ve itilmemiş kısımlar (tırnaklar) kalabilir.



Şekil 2.22. Eğimli deliklerin taban zorluğunu yenmesi (Ozer, 2001)

Genel olarak, eğimli delik kullanımının, geri çatlak, kaya fırlaması ve yer sarsıntısı gibi olumsuzlukları azaltmanın yanında, patlatmanın verimliliğini artırdığı pek çok araştırmacı tarafından gözlenmiştir. Öte yandan çok sağlam kayalar için dik deliklerin olumlu sonuçlar verebileceği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. Şarj zorluğu nedeniyle çeşitli araştırmacılar arasında delik eğiminin genel kabul görmüş minimum değeri 45° dir.



Şekil 2.23. Eğimli deliklerde, eğim açısının büyük seçilmesi halinde gürültü, hava patlaması ve kaya fırlamaları oluşumu (Köse ve diğ; 1989).

Başarılı bir atım için, genel olarak seçilmesi gereken ortalama eğim açısını Olofsson (1988) 71° olarak önerirken, Rosenberg (1970) 65°-75° ve Gregory (1984), 60°-65° olarak önermektedirler (Zeigler, 1991). Delik eğimine etki eden diğer bir unsur ise basamak yüksekliği ve delik uzunluğuna bağlı olarak değişen delik hata payıdır.

2.6.6.3. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi

Delikler arası mesafe patlatma tasarımında önemli bir unsurdur. Bazı araştırmacılar delikler arası mesafeyi, basit bir şekilde yan yana iki delik (aynı sırada) arası mesafe olarak kabul ederken, bazıları delikler arasındaki (bitişik delikler) gecikme aralığı olarak tanımlamaktadırlar. Delikler arası mesafenin belirlenmesinde başka birçok faktör etkin olmakla birlikte, yaygın bir kabul ile, daha çok dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Formüllerde daha çok delikler arası mesafe dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Çeşitli araştırmacıların konuya yaklaşımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$S(m) = 1.25 \times B(m), \text{ (Olofsson, 1988) (2.27)}$$

$$S = 1.8 \times B, \text{ (Tek sıra delik için) (Hemphill, 1981) (2.28)}$$

$S = [Bx(hb+hp)]^{0,5}$,(çok sıralı ve gecikmesiz) eğer $(hb+hp) < 4$ ise (Hemphill,1981)

$S = 2 \times B$ eğer $(hb +hp) > 4$ ise, (Hemphill, 1981) (2.29)

Burada;

hp: Kolon şarj boyu, (m)

hb: Dip şarj boyu, (m)

$S = (1.15-1.25) \times B$, (Langefors ve Kihlstrom, 1978) (2.30)

$S = (1-1.8) \times B$, (Atlas Powder Comp., 1987) (2.31)

$S = 2 \times B$, (Dick ve Ark, 1983) (2.32)

Genel bir değerlendirme olarak, araştırmacıların birçoğunun, basamak patlatması için önerdikleri delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1-1,8 arasında değişmektedir. Öte yandan araştırmacıların hemfikir olduğu başlıca konular aşağıda ifade edilmiştir. Eğer delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1'den küçük olursa; sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bunun sonucu, gaz kaçıışının hızlanması, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Tersine bu oran çok büyük olursa, uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama nedeniyle iri bloklar ortaya çıkacaktır. Yukarıda verilen yaklaşımlar dikkate alınarak ön tasarımlar geliştirmek ve işletme koşullarına en uygun değerleri elde etmek, izlenmesi gereken en uygun yol olacaktır.

2.6.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi

Güvenilir bir patlatma açısından, sağlıklı olarak belirlenmesi gereken unsurlardan biri de delik taban payıdır. Basamak tabanında arzu edilen düzgünlükte bir yüzey ve iyi kesilmiş bir ayna elde etmekte taban payı önemli olmaktadır. Delik taban payının gereğinden fazla veya az olmasının getirdiği problemlere, hemen hemen tüm araştırmalarda geniş yer verilmiştir. Eğer delik taban payı küçükse kaya zemin seviyesinde tamamen kesilip ayrılmaz, bu ise tırnak kalmasına ve yükleme masraflarının artmasına neden olur. Delik taban payı aşırı ise; delik delme ve patlatma maliyetlerinde artış, vibrasyonda artış meydana gelir. Araştırmacıların çok büyük bölümü, taban payını (u) dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bu önerilerin bazıları aşağıda verilmiştir.

$U(m) = (0.2-0.3) \times B$, (Hoek ve Bray, 1991) (2.33)

$U(m) = (0.1-0.5) \times B$, (Dick ve Ark., 1983) (2.34)

$$U(m) = (0.2-0.5) \times B, \text{ (Atlas Powder Comp., 1987) (2.35)}$$

$$U(m) = 0.3 \times B, \text{ (Konya, 1990; Tamrock, 1984;) (2.36)}$$

$$U(m) = 0.3 \times B_{\max}, \text{ (Olofsson, 1988; Langefors ve Gustaffson, 1973) (2.37)}$$

$$U(m) = 8 \times d, \text{ (Hagan'ın önerisi, Bilgin ve Ark, 1986) (2.38)}$$

d : Delik çapı, (m)

2.6.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi

Sıkılama, patlama sonrası açığa çıkan enerjinin havaya kaçmasını önleyerek, patlama verimliliğini arttırmakta ve gürültülü hava şokunu önlemektedir. Eğer sıkılama yetersiz ise gazların atmosfere vaktinden önce kaçması ile hava akımı ve kaya parçalarının uçması tehlikesi meydana gelecektir. Diğer taraftan, eğer sıkılama aşırı ise basamağın üst kısmından gelen büyük bir miktar molozun gelmesi ve artan bir titreşim meydana gelecektir.

Uygun parçalanma derecesinde bir yığın elde etmenin yanında, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevre etkenlerinin en aza indirilmesi bakımından önemli unsurlardan biri, sıkılama boyu ve sıkılama malzemesinin cinsidir. Sıkılama boyu ve etkileri konusunda yapılan araştırmalarda; araştırmacıların çoğu sıkılama boyunun, dilim kalınlığının bir fonksiyonu olduğunu kabul ederek aşağıdaki yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

$$h_o(m) = (0.7-1) \times B, \text{ (Tamrock, 1984) (2.39)}$$

$$h_o(m) = (0.67-2) \times B, \text{ (Hoek ve Bray, 1991) (2.40)}$$

$$h_o(m) = B, \text{ (Langefors, 1978; Gustaffson, 1973; Olofsson, 1988) (2.41)}$$

$$h_o(m) = (20-60) \times d, \text{ (Bilgin ve Ark, 1986) (2.42)}$$

d : Delik çapı, (m)

$$h_o(\text{feet}) = 0.7 \times d, \text{ (Konya,1990) (2.43)}$$

Konya (1990), pratik yaklaşımına ek olarak, sıkılama boyunun hesabında, patlayıcı madde kudretini ve kayanın yoğunluğunu dikkate alan aşağıdaki formülü önermektedir.

$$h_o(\text{feet}) = 0.45 \times d_e \times (Stv / SGr)^{0,33}, \text{ (Konya, 1990) (2.44)}$$

Burada;

d_e: Delik çapı, (inç)

Stv: Patlayıcı maddenin hacimce kudreti

SGr: Kayanın özgül ağırlığı

Bazı araştırmacılar sıkılama boyunu, hava şokunu ve kaya fırlamasını en aza indirecek bir fonksiyon şeklinde ifade etmektedirler (Zeigler, 1991).

$$h_o = Z \times (12/R_f) \times (W_e \times Stw / 100)^{0,33} \quad (2.45)$$

Burada;

Z: Kaya fırlaması ile ilgili bir faktör

R_f: Kaya faktörü

W_e: Sekiz kartuş çapındaki patlayıcı maddenin miktarı, (kg)

Stw: Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

Normal koşullarda; sıkılama boyunun dilim kalınlığına eşit alınmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği hemen tüm araştırmacılarca kabul görmüş bir yaklaşımdır.

2.6.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi

Delige şarj edilen patlayıcı madde kolonunun zamanında ve güvenilir bir şekilde ateşlenmesinde, yem sayısı ve konumu önem taşımaktadır. Gereğinden uzun şarj kolonunda, yem detonasyonun sönümlenmesi nedeniyle yeterli olmayabilir. Tabana konan bir yemlemenin uygun nitelikte ateşleyebileceği şarj kolonu uzunluğunun tahmin edilmesi, dolayısıyla delikteki yem sayısının belirlenmesi amacıyla bazı ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir (Kahrıman, 2003).

Öte yandan, iyi bir ateşleme için yemleme çapının yaklaşık olarak şarj çapına eşit olması ve yemleme uzunluğunun şarj çapının 2-4 katı arasında bulunması bazı araştırmacılarca önerilmektedir (Bauer,1990; Zeigler, 1991; Olofsson,1988).

2.6.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi

Güvenilir ve istenilen parçalanmaya cevap veren bir atımın gerçekleştirilmesi bakımından gerek aynı sıradaki delikler arasında, gerekse delik sıraları arasında uygun bir gecikme süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileri de en aza indirmek bakımından zorunludur. Konuyla ilgili çalışma yapan araştırmacılar gecikme zamanını dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Delikler arası gecikme zamanı(t_h)

$$t_h \text{ (ms)} = TH \times S, \text{ (Konya, 1990) (2.46)}$$

$$t_h = 5 \times B, \text{ (Larsson ve Ark., 1985) (2.47)}$$

$$t_h = (B/305) + PC / V_e + B/23 \text{ (2.48)}$$

Burada;

TH: Delikten deliğe gecikme sabiti

b: Sıralar arası gecikme zamanı (tr)

$$tr = TR \times B, \text{ (Konya, 1990) (2.49)}$$

$$tr = 12 \times B, \text{ (Olofsson, 1988; Gustaffson, 1973) (2.50)}$$

$$tr = (333 \times 32,17) / (K \times Ib0,39), \text{ (Larsson, 1985) (2.51)}$$

$$tr = (3-5) \times B, \text{ (Langefors, 1978) (2.52)}$$

TR: Delik sıraları arasında gecikme sabiti

2.6.6.8. Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi

Genel olarak, basamak patlatma delikleri iki farklı şekilde şarj edilmektedir. Bunlar, sürekli ve kısmi şarjdır. Kısmi şarj özel durumlar için geçerlidir. Buna karşılık sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en genel uygulama biçimidir. Sürekli şarj durumunda; delikteki şarj boyu; kaya özellikleri ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak ikiye ayrılmıştır.

✓ Dip şarjı

✓ Kolon şarjı

Delik taban kısmında daha fazla enerji ihtiyacı nedeniyle; genellikle delik tabanına konacak patlayıcı madde gücünün daha fazla olması gerekir. Ayrıca patlayıcı maddenin ayna boyunca iyi dağılımını sağlamak için patlayıcı madde kolonunun belirli bir uzunlukta olması hususu; patlama teorisi açısından gereklidir. Konuyla ilgili olarak çalışmalar yapan bazı araştırmacılar, dip ve kolon şarjının boylarını dilim kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıda verildiği gibi ifade etmişlerdir.

✓ Dip şarj uzunluğu;

$$hb \text{ (m)} = B + U = 1.3 \times B, \text{ (Langefors ve Ark, 1978; Tamrock, 1984) (2.53)}$$

$$hb = (0.3-0.5) \times B + U, \text{ (Atlas Powder, 1985) (2.54)}$$

$$hb = (0.3-0.6) \times (B+U), \text{ (Dick ve Ark., 1983) (2.55)}$$

✓ Dip şarj miktarı(Qb);

$$lb \text{ (kg/m)} = Co \times B^2, \text{ (Tamrock,1984) (2.56)}$$

$$lb = (f/s) \times (S/B) \times 0.8 \times Co \times B^2, \text{ (Langefors,1978) (2.57)}$$

$$lb = d^2/T/1000, \text{ (Gustafsson, 1973) (2.58)}$$

lb : Dip şarj konsantrasyonu

$$Qb : lb \times hb, \text{ (kg) (2.59)}$$

✓ Kolon şarjı uzunluğu (hp);

$$hp(m) = H - 2.3 \times B, (2.60)$$

(Langefors ve Kihlstrom, 1978; Olofson, 1988; Tamrock, 1984)

$$hp = H - hb - ho, (Atlas Powder, 1985) (2.61)$$

✓ Kolon şarjı miktarı (Qp);

$$Ip (kg/m) = 0.4 \times lb, (Tamrock, 1984) (2.62)$$

$$Ip = (0.4-0.5) \times lb, (Langefors, 1978; Gustafsson, 1973) (2.63)$$

$$Qp = Ip \times hp, (kg) (2.64)$$

Ip: Kolon şarj konsantrasyonu

2.6.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi

Arzu edilen parçalanma derecesinde bir yığının elde edilmesinde önemli unsurlardan bir diğeri, deliklerin planlanan geometrik büyüklüklerde delinmesidir. Bu konuda ne kadar ihtimam gösterilirse gösterilsin yine bazı sapmalar olmaktadır. Önemli olan bu sapma miktarlarının, kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasıdır. Bazı araştırmacıların delik hata payı için önerdikleri tolerans değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$E = 0.05 + 0.03 \times K, (Langefors ve Kihlstrom, 1973; Gustafsson, 1973) (2.65)$$

$$E = 0.05 + 0.03 \times H, (Tamrock, 1984) (2.66)$$

$$E = (d/1000) + 0.03 \times H, (Olofson, 1988) (2.67)$$

Burada;

E: Delik hata payı, (m)

d: Delik çapı, (mm)

K: Basamak yüksekliği, (m)

H: Delik Uzunluğu, (m)

2.7. DELME-PATLATMANIN ÖNEMİ

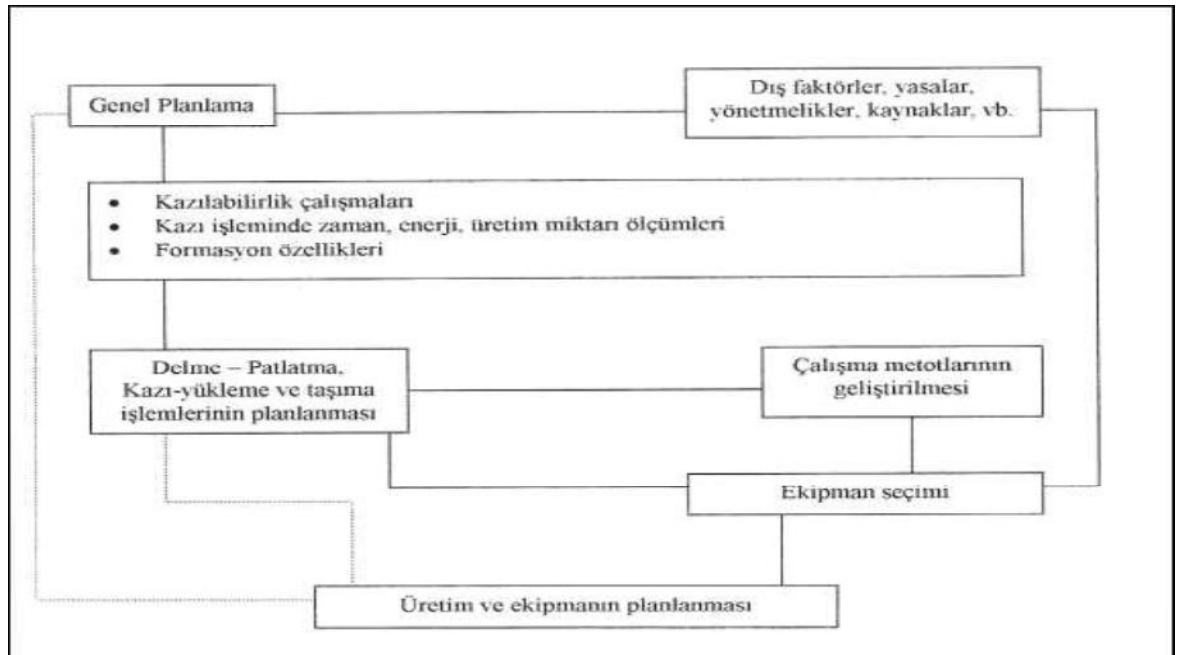
İnsanlık tarihinin çeşitli dönemlerinde karşımıza çıkan patlayıcı maddeler zamanla kaya kazısında kullanılmaya başlamıştır. İlerleyen teknoloji ile kaya delme ekipmanlarındaki gelişme ve ucuz patlayıcı maddelerin devreye girmesi, delme ve patlatmanın büyük hacimlerde uygulanmasını sağlamıştır. Delme patlatmadaki gelişmelerle birlikte cevher hazırlama ve diğer madencilik konularındaki gelişmeler, düşük tenörlü cevherlerin işlenmeye başlanmasını ve yine delme patlatmanın gelişmesi baraj, yüksek standartlı

karayolları, tünel ve diğer yapılar için yapılan kazılarda kolaylık olmasını sağlamıştır. Sonuç olarak insan gücü ya da mekanik makinelerle kazı olmadığı durumlarda ve makine ile kazının ekonomik olmadığı durumlarda delme patlatma yaygın bir kullanım alanı bulmuştur (Ceylanoğlu ve diğ., 1993).

Madencilikte açık ocaklarda uygulanan faaliyetler aşağıdaki teknolojik işlemleri içermektedir.

1. Deliklerin delinmesi
2. Şarj ve patlatma
3. Yükleme
4. Taşıma
5. Kırma-öğütme

Maden ve taş ocağı faaliyetlerinde temel ve en önemli prosesi oluşturan kazı işlemlerinin, makine veya diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesi, kayaçların madde-kütle özellikleriyle ve kullanılmakta olan teknoloji ile sınırlıdır. Bu nedenle bu sınırı aşan delme ve patlatma teknolojisi doğrudan kazı veya gevşetme kazısı olarak büyük bir önem arz etmekte ve ekonomiklik ölçüleri içinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Delme ve patlatmayı esas alan kazı işlemlerinin yönetimi Şekil 2.1.'deki gibidir.

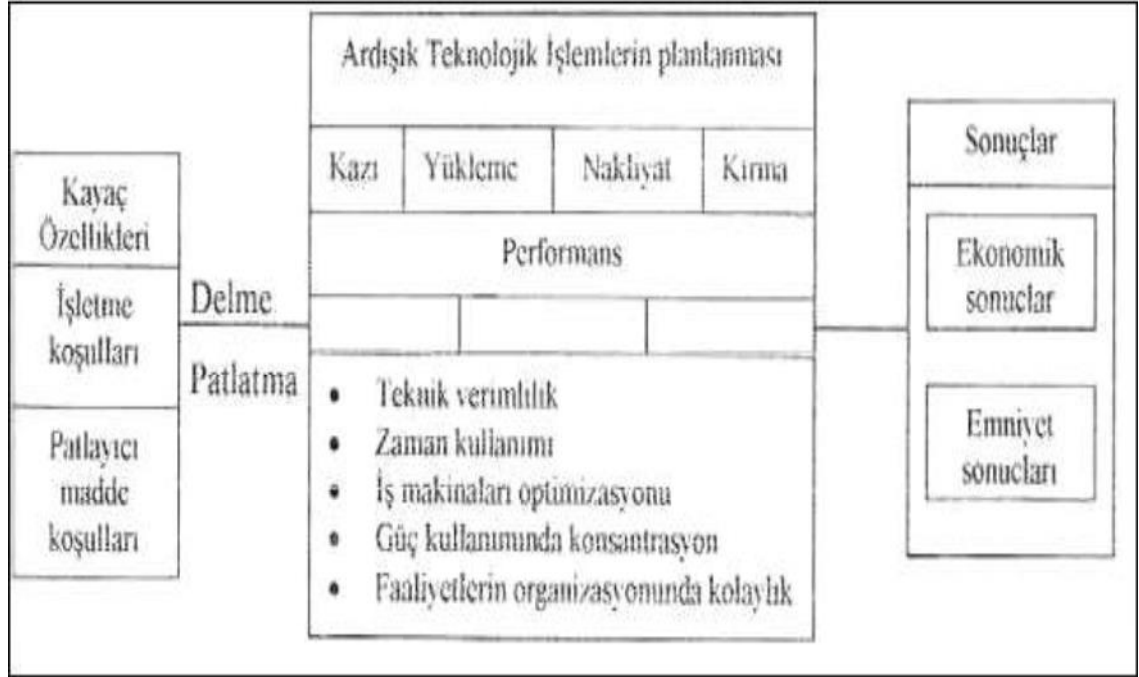


Şekil 2.24. Delme Patlatmayı Esas Alan Kazı İşleminin Genel Planlanması (Ceylanoğlu ve diğ., 1993)

Bu kullanımın önemini bir yandan işletme faaliyetlerinin göstergesini oluşturan maliyet analizlerinde, diğer yandan söz konusu faaliyetlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesinde görmek mümkündür. Ancak işletmelerdeki maliyet analizlerinde delme ve patlatma maliyetlerinin tek başına değerlendirilmesi, elde edilen başarının açık bir şekilde gösterilmesine yetmemektedir. Faaliyetler ardışık olarak gerçekleştiğinden dolayı, delme ve patlatma etkisinin diğer işlemlerde de analiz edilmesi zorunludur. Bu husus ise ancak her teknolojik işlemde görev alan makine ve ekipmanlara ait performansların ayrı ayrı değişik durumlar için analiz edilmesiyle mümkündür. Sadece delme ve patlatma faaliyetlerinde hedeflenecek maliyet minimizasyonu düşüncesi, birbirini izleyen teknolojik işlemlerin maliyetinde önemli artışların olmasını görmemezlikten gelecektir.

Patlatma sonrası işlemlerin maliyeti, genel olarak parçalanma derecesinin bir fonksiyonudur. En uygun sonucun elde edilmesi hem patlatma hem de ardışık işlemlerin birlikte değerlendirilmesiyle mümkündür. Delme-patlatmanın önemi aşağıdaki detaylarda ortaya çıkmaktadır. Kısaca Şekil 2.24.'deki şekilde önemi özetlenebilir (Arpaz, 2000).

- Ekonomik sonuçların sağlanması
- Teknik verimliliğin artırılması
- Zaman kullanımında etkinlik
- İş makineleri performanslarında iyileştirme
- Kapasite artışı
- Ardışık faaliyetlerin organizasyonunda kolaylık
- Uygun niteliklerde malzeme temini
- Güç kullanımında konsantrasyon
- Ekipman seçiminde optimizasyon



Şekil 2.25. Delme ve Patlatmanın Üretim Sürecindeki Yeri ve Önemi (Arpaz, 2000)

2.7.1. Delme Patlatmanın Kullanıldığı Alanlar

Günümüz koşullarında, delme-patlatma teknolojisi genel haliyle madencilik sektörü başta olmak üzere, inşaat sektöründe, petrol arama ve üretim faaliyetlerinde, tarım ve ormancılık sektöründe, altyapı hizmetlerinde, diğer endüstriyel ve askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu genel ve özel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır (Kahrıman, 2003).

a. Madencilik Sektörü

b. Maden Arama Faaliyetleri

- Sismik aramalar
- Yarma
- Yol ve lokasyon hazırlığı
- Arama kuyu ve galeri

c. Açık İşletme Faaliyetleri

- Genel hazırlık
- Gevşetme patlatmaları
- Basamak patlatması

- Yapı taşı üretimi ve taş ocakları

ç. Yeraltı İşletme Faaliyetleri

- Hazırlık işlemleri
- Üretim işleri
- Tavan göçertme çalışmaları

d. Özel Üretim Yöntemleri

- Rezervin kütleli olarak gevşetilmesi
- Rezervin ve yan taşların kırılması ve çatlatılması

e. Tünel Açma Faaliyetleri

- Kara yolu tünelleri
- Demir yolu tünelleri
- Toplu ulaşım (metro) tünel ve istasyonları
- Su ve kanalizasyon tünelleri
- Derivasyon tünelleri

f. İnşaat Sektörü

- Ham madde temini
- Temel kazıları
- Kanal açma çalışmaları
- Yol yapımı
- Baraj ve gölet yapımı
- Kontrollü yıkımlar
- Bina ve beton yapılar
- Çelik konstrüksiyon
- Köprü
- Yüksek fırın bacaları

g. Petrol Sektörü

- Sismik aramalar
- Rezervuarların gevşetilmesi
- Boru hatlarının açılması

ğ. Enerji Sektörü

- Yeraltı güç santralleri
- Yer altı petrol ve gaz depoları

- Yer altı nükleer atık depoları
- Yer altı basınçlı hava depoları

h. Tarım ve Ormancılık Sektörü

- Tabakalara su geçirme özelliği sağlayarak çatlak oluşturma çalışmaları
- Ağaç köklerinin çıkartılması
- Ağaç kesimi

ı. Askeri Faaliyetler

- Tahrip ve imha faaliyetleri
- Mevzilerin hazırlanması
- Stratejik füzeler için yer altı üsleri
- Korunmaya yönelik yer altı boşluk ve sığınakları

i. Diğer Faaliyetler

- Su altı atımları
- Buz ve buz altı çalışmaları
- Zemin stabilizasyon işlemleri
- Metal yapıştırma ve kaynaklama işlemleri
- Endüstride sıcak atımlar
- Kuyu ve silo tıkanıklıklarının giderilmesi
- Nükleer atımlar yaparak işletilebilir yeni ham madde kaynaklarının oluşturulması

2.7.2. Delme-Patlatmanın Patlayıcı Mühendisliği İle İlgisi

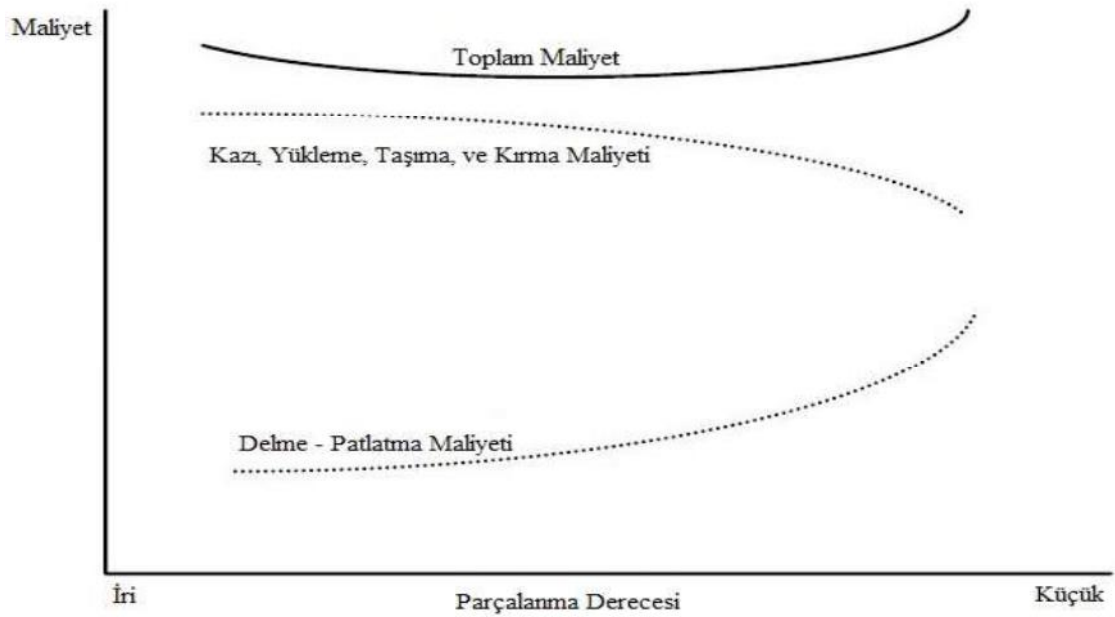
Patlayıcı Mühendisliğinin temel amaçlarından biri, insanoğlunun konforlu bir hayat sürdürebilmesi için gerekli olan maden cevherinin sanayiye, ekonomik olarak kısa zaman diliminde ve emniyetli bir biçimde kazandırılmasının yanı sıra yol, baraj ve tünel imalatlarında delme – patlatma sürecini ve patlayıcı ile yıkım faaliyetlerini de aynı misyonda gerçekleştirmektir.

Ülkemizde yıllık yaklaşık olarak 500.000.000 m³lük kazı işlemi delme-patlama yapılmaktadır. Önemli bir kullanım oranına sahip delme-patlatma işlemlerinde mühendis görevlendirmek büyük önem taşımaktadır. Genel olarak üretim maliyetinde, delme-patlatma maliyeti %5-40 arasında değişmektedir. Bu değerler delme-patlatma

konusunda, bilim ve tekniğe uygun çalışmayla daha alt seviyelere çekilebilir. Bazı işletmelerde yapılan deneysel çalışmalar bu rakamların %10-20 sınırına çekilebileceğini göstermektedir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, delme-patlatma işlemleri, esas olarak mühendislik hizmeti gerektirmektedir.

İyi bir mühendisin hedefleyeceği iki temel unsur söz konusudur. Bunlar; özgül şarj ve özgül delme miktarlarını minimize etmektir. Bu iki değer 1.000.000 m³/yıl kapasiteli herhangi bir işletmede optimize edildiğinde sağlanan katkı %10 ise yaratılan artı değer, 1.000.000 m³ lük bir kazı işlemine eşdeğer olacaktır ki bu değer mühendisin yıllık maliyetini rahatlıkla finanse etmekten başka, kuruluşa önemli artı değerler getirecektir. Mühendisin patlatma dizaynı yaparken dikkate alacağı parametrelerin maliyetle olan ilişkisi Şekil 2.3.'te gösterilmiştir. İyi bir mühendis bu ilişkileri dikkate alarak dizaynını yapmalıdır.

Öte yandan işçi sağlığı, iş güvenliği ve çevre koşulları nedeniyle de patlatma işleminin emniyetle gerçekleştirilmesi zorunluluğu söz konusudur. Mühendis hem istenen parçalanma derecesinde yeterli malzemeyi üretime hazır hale getirecek, hem de patlatma sonuçlarını ekonomiklik ve emniyetlilik açısından kontrol altında tutacaktır (Ceylanoğlu ve diğ., 1993).



Şekil 2.26. Patlatma ve Ardışık Faaliyetlerin Maliyetleri Arasındaki İlişki (Ceylanoğlu ve diğ., 1993; Arpaz, 2000)

2.7.3. Güvenlik Rehberi

Aşağıdaki delik delme prensipleri ve şarj rehberi maden işletmesinin ve federal hükümlerin güvenlik prosedürüne bağlı incelenmelidir (Anon, 1998).

- Delik, detonasyona uğramamış patlayıcılar için denetlenmelidir. Bu işlem, aynayı bir su hortumuyla yıkamayı da içerebilir. Bazen de basınçlı hava kullanılır.
- Bütün delikler gereken derinlikte ya da olabildiğince istenen değere yakın bir derinlikte olmalıdır. Delikler aynı arka düzlemde sonlanmalıdır.
- Paralel delik delmede bütün delikler paralel olmalıdır.
- Delik delme işlemi tamamlandıktan sonra delik içi, şarj için temizlenmelidir.
- Şarj çubuğu delik dibine yetecek uzunlukta, ahşap ya da plastik olmalıdır (ideal boy 13 mm)
- Şarj öncesi, çubuk delik dibine kadar sokulmalı, delik derinliği ve temizliğinden emin olunmalıdır.
- Daima primer kartuş ilk olarak deliğe sokulmalıdır.
- Primer kartuş delik dibine kadar itilmeli fakat asla sıkıştırılmamalıdır.
- Deliğin arta kalan kısmı asla aynı anda 2'den fazla kartuşla şarj edilmemelidir.
- Şarj işlemi sırasında detonatör telinin, çubuk tarafından zarar görmemesine dikkat edilmelidir.
- Sıkılama da patlayıcıyı etkilemeyecek bir madde kullanılmalıdır
- Elektrikli sistemde tellerin birbirine ya da aynaya teması önlenmelidir.
- Patlatma evresine geçmeden bütün personel boşaltılmalıdır.
- Duman ve gazlar temizlenmeden ve görüş düzgün olmadan patlatma sahasına gidilmemelidir.

2.7.3.1. ANFO Şarjı

ANFO yalnızca kuru deliklere şarj edilmelidir. Deliklerdeki nem kötü performansa ve tehlikeli gazların açığa çıkmasına yol açar. ANFO genellikle basınç veya ejektör sistemleriyle deliklere şarj edilir. Böylece şarj edilirken oluşabilecek statik elektriğin tehlikeli seviyelere yükselmesi engellenir. Sistemin düzgün işlediğinden emin olmak için periyodik denetleme yapılmalıdır.

Basıncılı kap sistemi ANFO'yu yarı iletken şarj hortumları vasıtasıyla sıkılama deliklerine şarj eder. Basıncılı kap sisteminin ANFO kapasitesi 22,7–227 kg arasında değişir ve 27,2 kg/dk'ya kadar yüksek şarj kapasitesi vardır. Kapasite, hortum çapı, uzunluğu ve basıncına göre değişir. Bu birimlerin kapasiteleri, boyutları ve ağırlıkları, geniş ayna yüzeyleri ve derin deliklere uygun hale getirilir.

Ejektör sistemi venturi prensibini kullanır. Bu sistemde patlayıcı, açık bir konteynerden emilir ve yarı iletken hortumlar yardımıyla sıkılama deliğine şarj edilir. Venturi şarjları genelde küçük ve yaklaşık 27,2 kg kapasiteli ve 4,5–10 kg/dk arası ANFO şarj edebilen sistemlerdir. Genelde dar kesitli tünellerde kullanılır (Anon, 1998).

2.7.3.2 Pnömatik Şarj (*Kartuş Emülsiyonları, Sıvı Jel*)

Kartuş emülsiyonlu ve sulu jelli pnömatik şarj sistemi bize geniş tünellerde eşsiz bir sistem sunar. Şarj aleti patlayıcı yüklü araç üzerine monte edilebilir. Hortum uzunluğu için 30 m iyi bir performans için kabul edilebilir bir boyuttur (Anon, 1998).

2.8. PATLATMADAN KAYNAKLANAN ÇEVRESEL SORUNLAR

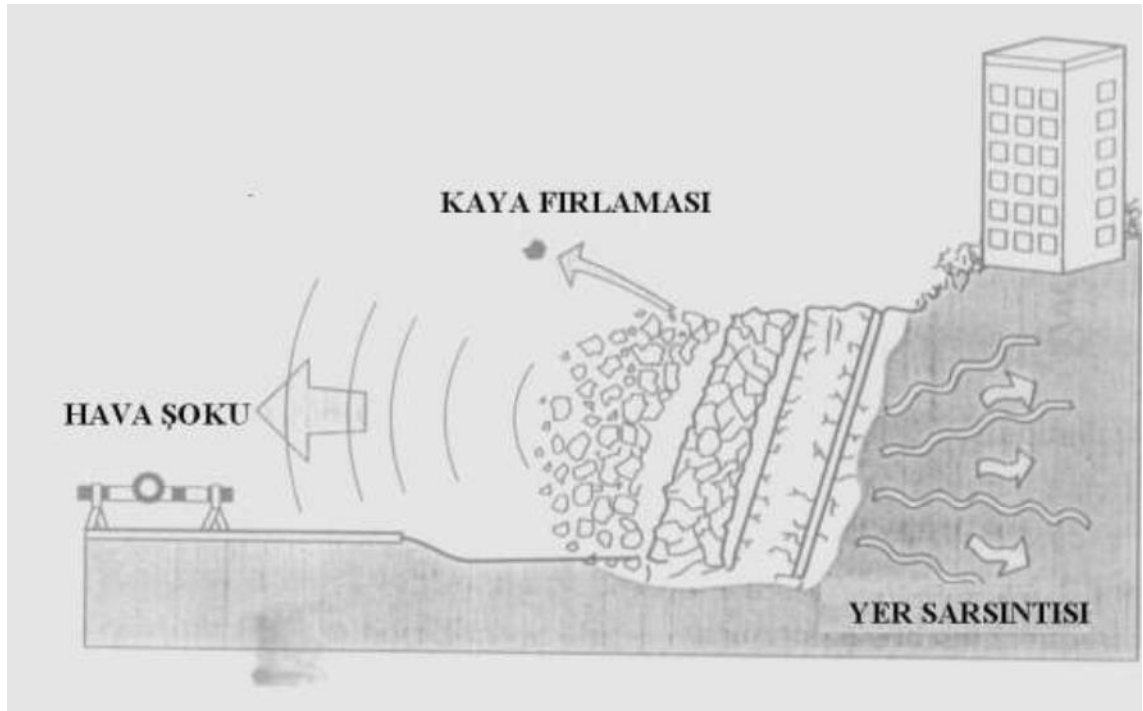
İnsanlık tarihi incelendiğinde barutun icadından beri patlayıcı madde kullanımına rastlanmaktadır. Son birkaç yüzyıldan beride patlayıcı maddeler ağırlıklı olarak askeri amaçların dışında kaya kütlelerini parçalamak amacı ile kullanılmaya başlanılmıştır. Patlayıcı maddelerin kaya kütlelerini kırma amacı ile kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört değişik olumsuzluk bulunmaktadır. Bunlar;

- 1.Kaya Fırlaması
- 2.Toz Emisyonu
- 3.Yer Sarsıntısı (Titreşim)
- 4.Hava Şoku

Son yıllarda patlatmalı kazı faaliyetlerinin neden olduğu çevresel etkilerle ilgili şikâyetler, nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak, daha büyük atımlara duyulan

ihtiyaçla birlikte giderek artmaktadır. Şekil 2.27’de şematik olarak gösterilen yer sarsıntısı, gürültü ve fırlayan kaya gibi çevresel problemler, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelerin yakınlarındaki yöre halkı kadar, patlatma personeli ve kullanılan ekipman açısından da büyük güvenlik sorunları yaratabilmektedir (Arpaz, 2000).

Gerek madencilik ve taş ocakçılığındaki her türlü kazı işleminde, gerekse tünel, metro, baraj teknolojilerindeki kazı faaliyetlerinin bir çoğunda patlatma çalışmaları kaçınılmazdır. Bu faaliyetlerdeki boyut ve kapasitelerin artışı doğal olarak kullanılan patlayıcı madde miktarlarını arttırmaktadır. Bu tür faaliyetlerin yerleşim birimlerine yakın (hatta çoğu zaman içinde) olması ister istemez ortaya çıkan yer sarsıntısı ve hava şoku dolayısıyla giderek artan ölçüde çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu durum çevre sakinlerinin doğrudan can ve mal güvenliklerini etkileyebildiği gibi, psikolojik bazı sorunların doğmasına da zemin hazırlamaktadır.



Şekil 2.27. Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler (Arpaz, 2000)

Bu nedenle, ekonomik ve emniyetli bir patlatmada, aynı zamanda bu tür sorunların da önlenmesi veya en azından tehlike sınırlarının altına indirilmesi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında,

patlatma kaynağından belirli uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve yer sarsıntısından etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımında yanıt aranacak bir diğer konu da; herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilen en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir.

Ülkemizde ne yazık ki patlatma kaynaklı rahatsızlıklar nedeniyle, zaman içinde toplum ve patlatmalı kazı faaliyetlerini sürdüren çevreler arasındaki ilişkilerde çeşitli sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntılar bazen dostça olmayan tartışmaları gündeme getirmekte, bazen de toplum baskısı ile adli mercilerin kazı faaliyetlerini durdurmasına kadar değişik sonuçlar doğurmaktadır. Son yıllarda ülkemizde bu konularla ilgili açılan dava sayılarında da önemli artışlar gözlenmekte ve konuyla ilgili ülkemiz gerçeklerine uygun standartların ortaya konulmamış olmasından dolayı istenmeyen bazı yanlışlıkların yaşanması kaçınılmaz olmaktadır.

Patlatmalı kazı işlemlerinden kaynaklanan benzeri sorunlar; endüstriyel atımlarını ve alt yapılarını ülkemizden daha önce tamamlamış olan gelişmiş ülkelerin birçoğunda da yaşanmıştır. Bu nedenle, bu konuların çözümüne yönelik olarak konuyla ilgili bazı standartların oluşturulması amacıyla, çeşitli sistematik araştırma programları yürürlüğe konulmuştur. Bu yöndeki çabalar, ilgili taraflarca (Patlayıcı madde üreticileri, kullanıcıları, hükümetler ve araştırmacılar) yapılmakta olan deneysel çalışmalarla yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ülkemizde ise maalesef bu konuda herhangi bir yönetmelik ya da saptanmış limitler bulunmamaktadır. Bu yüzden ülkemizdeki mühendisler, ancak diğer ülkelerdeki limitleri kullanarak yorum yapmaya çalışmaktadırlar.

Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerin bir çoğunda patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin kontrolüne yönelik olarak değişik hasar kriterleri geliştirilmiş olmasına rağmen, titreşim hasarlarını; inşaatların doğal yerleşmesinden, uygun olmayan konstrüksiyon ve alt yapı yaşlanmasından kaynaklanan hasarlardan tamamıyla ayırmak çok güçtür. Kabul görmüş ya da yasallaşmış hasar kriterleri ne olursa olsun, patlatmalı kazı çalışmaları sonucu ortaya çıkan hava şoku ve yer sarsıntısından kaynaklanan bütün

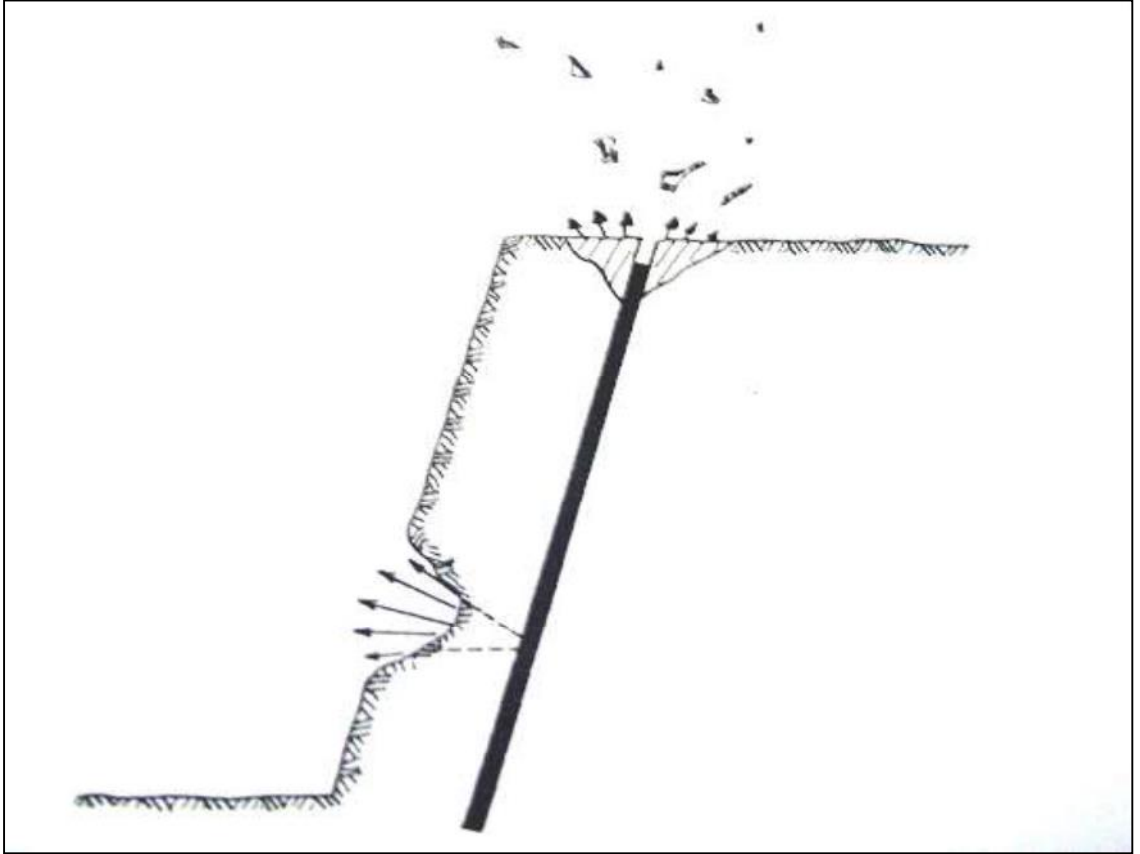
şikâyetleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek; halen patlatma dünyasının gündemini işgal eden bir sorun olma özelliğini korumaktadır.

Patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu sektörlerde, patlatmadan sorumlu teknik eleman ya da yöneticilerin, çevre tesis ve yerleşim birimlerinin zarar görmeyeceği şekilde tasarımlar yapmaları ve kontrollü patlatmalar gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Bu tür tasarımlar ise ancak ölçüm esasına dayalı sistematik deneysel bazı çalışmalarla mümkün olabilmektedir. Bu tür çalışma sonuçlarından üretilecek, ülkemiz gerçeklerine uygun standartlar, sorunun üretim hedeflerini aksatmayacak şekilde çözülmesini sağlayacaktır (Arpaz, 2000).

2.8.1. Kaya Fırlaması

Patlayıcı maddeler kaya kütlelerini kırmak amacı ile kullanıldığında temel olarak öncelikli, ses üstü hızda gelişen kimyasal reaksiyonun yarattığı şok enerjisi etkin olur. İkincil olarak da, reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerin çok büyük basınçlar ile çatlaklara doluşması parçalama işlemini tamamlar ve parçalanmış kütleyi gevşetir ve ötelir.

Patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde bir kısım yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir. Böylece savrulan kaya parçaları çevrede tehlike yaratırlar (Şekil 2.28.).



Şekil 2.28. Patlatma Sırasında Oluşan Taş Savrulması (Jimeno ve diğ., 1995)

Taş savrulmasını kontrol edebilmek için şu önlemler alınır;

- Patlayıcı madde uygun çap ve boyutta delikler kullanılarak kaya yapısı içinde olabildiğince homojen dağılır ve hapsedilir.
- Patlayıcının büyük miktarlarda odaklaştığı ve parçalanma mekanizmasının kontrol edilemediği galeri patlatması uygulanmaz.
- Patlatma delikleri kullanıldığında uygun delik geometrisi hesaplanarak bulunur, böylelikle deliklere uygun yükler verilmiş olur.
- En az delik ayna mesafesi boyutunda sıkılama boyu bırakılır ve uygun bir malzeme kullanılarak ağız sıkılaması yapılır.
- Gecikmeli kapsüller kullanılır.

Taş savrulması daha çok açık işletmelerde önemlidir. Savrulan taşların, 1000 m'ye kadar fırlayabildiği ve ölümle sonuçlanan kazalara neden olduğu bilinmektedir. Çoğu hallerde ise fırlayan taşlar akine ve ekipmanlara hasar vermekte veya yaralanma ile neticelenen kazalara yol açmaktadır.

2.8.2. Toz Emisyonu

Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmektedir. Hareket sırasında bir kısım iç öğütme meydana gelir. Bu nedenle bir miktar toz emisyonu kaçınılmazdır. Basamak patlatması sırasında toz oluşumuna karşı alınabilecek teknik bir önlem bulunmamaktadır.

Diğer toz kaynağı ise ocak içi yollardaki kamyon trafiğidir. Buna karşı mücadele edilmeli ve yollar sürekli olarak özel araçlarla sulanarak toz oluşumu önlenmelidir. Toz oluşumu hem işçi sağlığı hem de makine ve ekipmanların ekonomik ömürleri üzerinde etkili olan ciddi bir sorundur (Jimeno ve diğ., 1995).

2.8.3. Yer Sarsıntısı (Titreşim)

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Çünkü gerek taş savrulması ve gerekse hava şoku patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken, yer sarsıntısı çok uzaklarda da kendini hissettirebilmektedir. Yer sarsıntılarını depremler ile benzer etkiler yaparlar.

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar. Sarsıntıların enerji düzeyleri şu parametreler ile ölçülmeye çalışılır;

- parçacık deplasmanı (mm)
- parçacık hızı (mm/sn)
- parçacık ivmesi (mm/sn²)
- dalga frekansı (Hz)

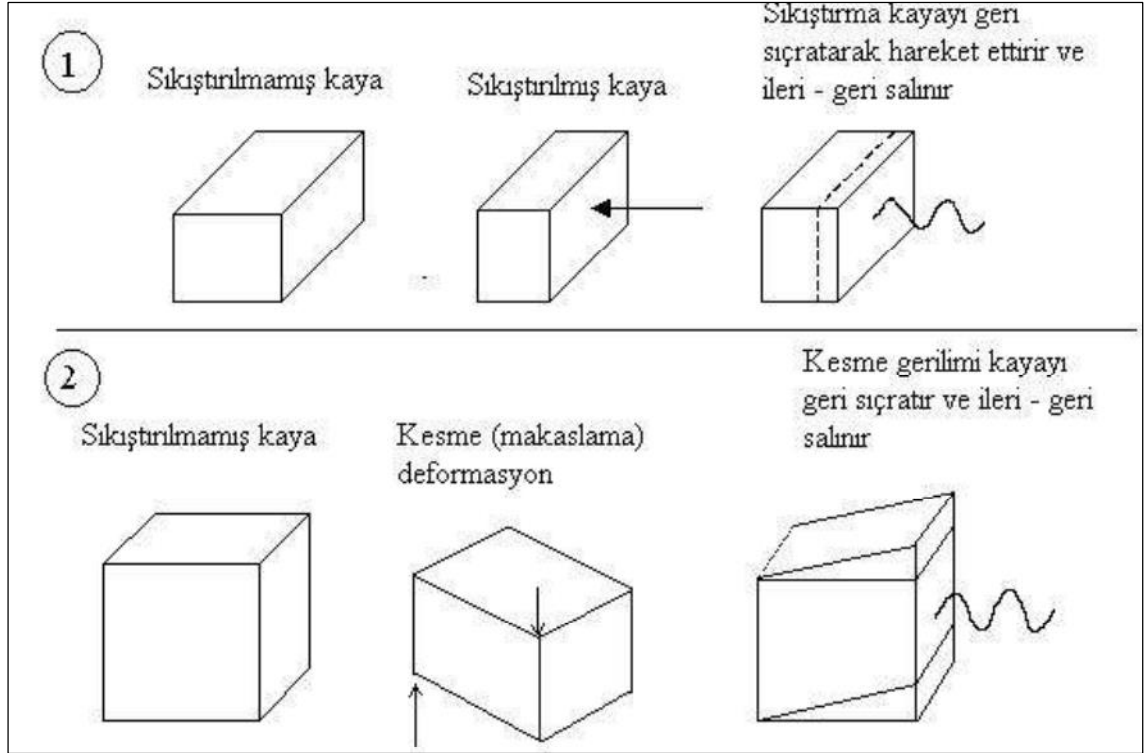
Binalara verilen hasarda, tek başına sarsıntıların taşıdıkları enerji düzeyi sorumlu olmamaktadır. Bu olayda binaların yapım tekniği, boyutları kadar da üzerinde oturdukları zemin özellikleri de etkin olabilmektedir. Bu nedenler ile sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir (Jimeno ve diğ., 1995).

2.8.3.1. Yer Sarsıntısının Oluşumu ve Genel Karakteristikleri

Yer sarsıntısı özelliklerini etkileyen parametreler, patlatma sonuçlarını etkileyen parametrelerle benzerlik gösterirler. Bu parametreler genel olarak, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez parametreler olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar.

Patlatmalı kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve jeoteknik özellikleri, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Homojenlik arz eden masif bir kaya kütlelerinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde yayılırlarken, kompleks jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı, yönle değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Jimeno ve diğ., 1995).

Patlatma gibi işlemler, daima sismik dalga veya titreşime yol açacaklardır. Bunun sebebi çok basittir. Patlatmadan veya benzer diğer işlemlerden amaç; kayadan parça koparmaktır. Kayanın elastiklik sınırını veya kayanın dayanma gücünü aşmak için büyük miktarda yeterli enerjiye gerek duyulur. Bu enerji sağlandığı zaman kaya parçalanır. Parçalanma sürdükçe enerji tükenir ve sonunda kayanın dayanma gücünden daha düşük seviyelere düşer ve parçalanma işlemi durur. Geri kalan enerji kayaya geçer ve onu deforme eder. Fakat kayanın elastiklik sınırını aşmadığı için parçalanmaya yol açamaz. Sadece elastik deformasyon oluşturur. Ancak bu enerji sonucunda sismik dalgalar meydana gelmekte ve içinden geçtikleri kaya ortamlarının madde ve kütle özelliklerine göre farklı yayılım kuralları göstermektedirler.



Şekil 2.29. Sismik dalgaların kaya ortamı içinden geçerken yarattıkları deformasyon (Konya ve Walter, 1991)

Titreşimler, zemin özelliği taşıyan bir tabaka ile örtülü kayalık bir ortamda yayıldığında, genellikle titreşimlerin frekansı ve genlikleri zemin özelliklerinden etkilenir. Zemin genellikle kayalardan daha az bir elastik modüle sahiptir. Bu nedenle, dalga yayılım hızı bu tür malzemelerde azalmaktadır. Aynı zamanda titreşimin frekansı da azalmakta, ancak deplasman, örtü tabakasının kalınlığına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmaktadır.

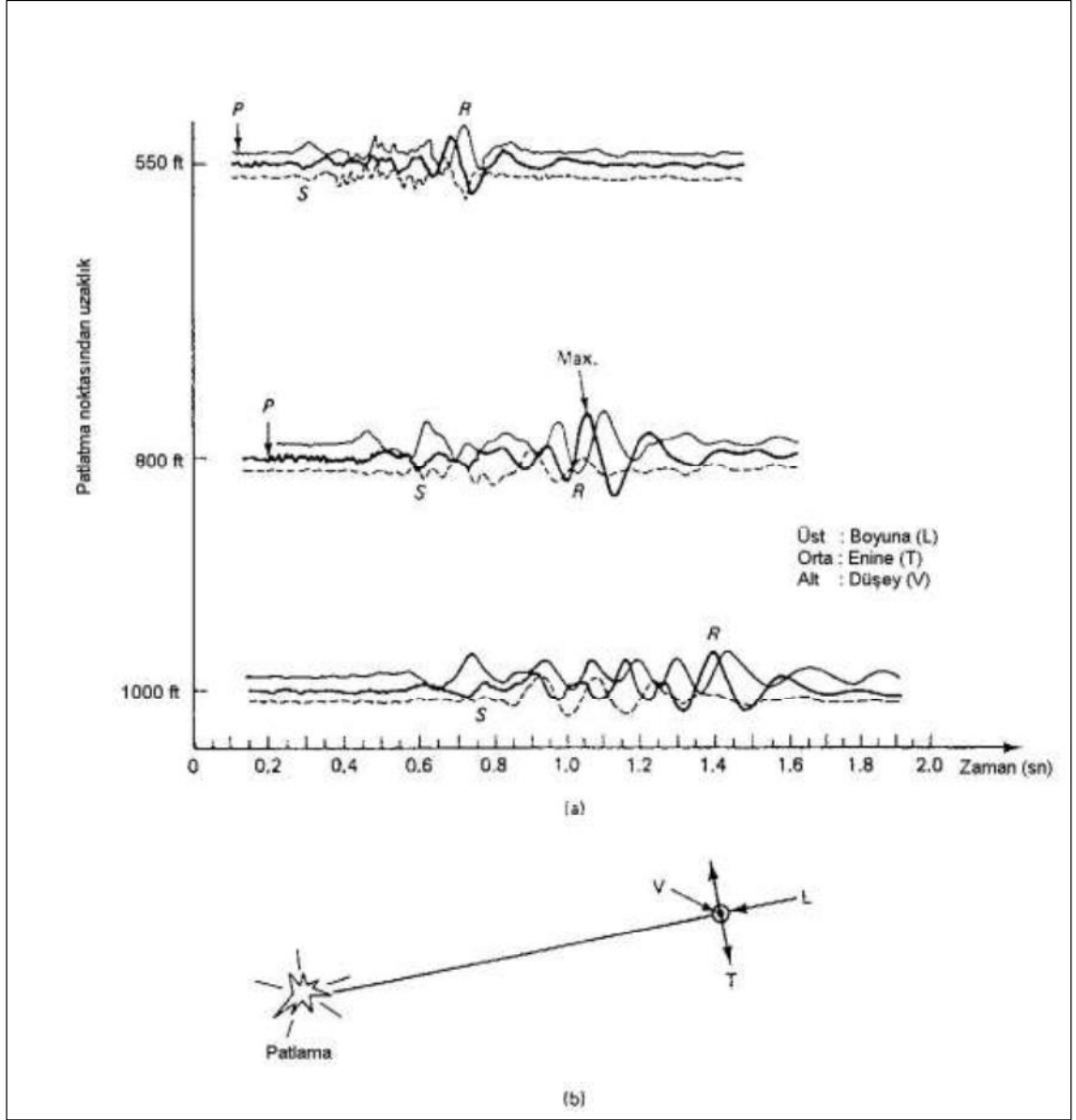
Dalgaların yayıldığı ortam, enerjinin büyük bir bölümünün parçacıklar arasındaki sürtünmenin yenilmesinde ve yer değiştirmelerinde kullanıldığı bir zemin örtü tabakası arz ediyorsa, titreşimlerin genlikleri, mesafenin artmasıyla hızla azalmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelere yakın noktalarda, titreşim özellikleri, patlatma tasarım parametreleri ve tasarım geometrisinden etkilenirken, patlatma bölgesine daha uzak mesafelerde, tasarım faktörleri daha az kritiklik arz etmektedir. Bu mesafelerde kaya ve zemin örtüsünün iletim ortamı dalga özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Kaya kütlesi içinde patlatılan bir patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir. İlk başta

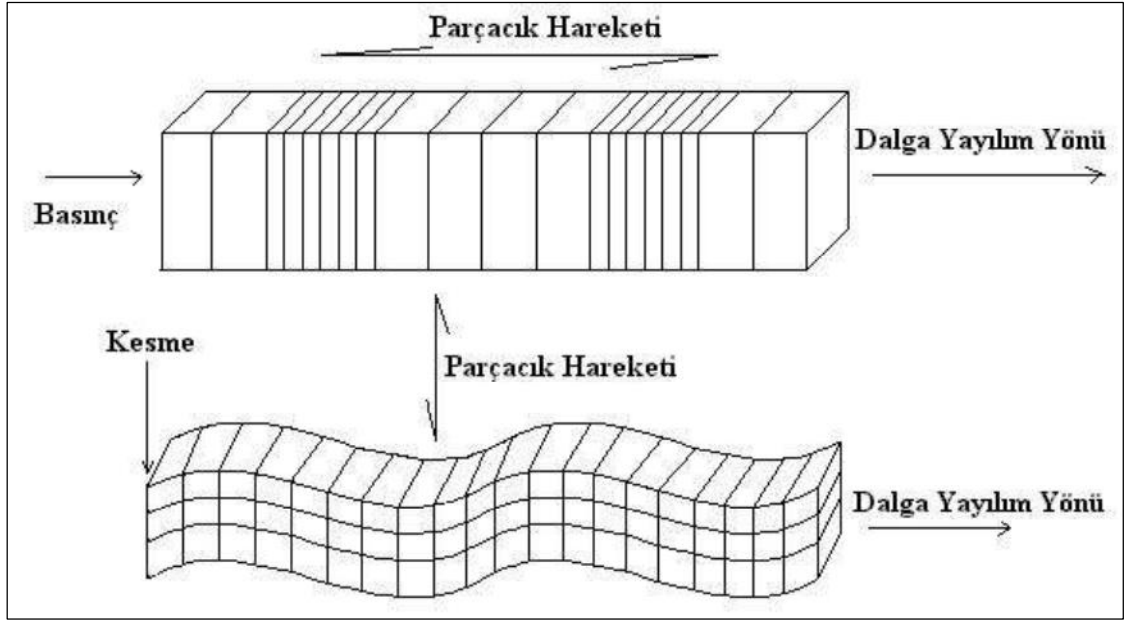
ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır. Eğer, ortam yeni gelen enerjiye elastik özellik göstermezse, enerji sönümlenmekte ve sadece titreşimi azalmış dalgalar yansımaktadır. Elastik özellik gösterdiğinde ise, bozulan ortamın sonucu olarak komşu ortamlar denge konumundan ayrılarak yay-ağırlık mekanizmasına benzer bir şekilde salınım meydana getirmektedir. Böylece bozulan ortamın her elemanı, salınımın özelliklerini diğer elemanlara da geçirerek ortamda dalga hareketi oluşturmaktadır (Dowding, 1985).

Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket söz konusu olmamaktadır. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketi yapmakta dolayısıyla da ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır. Bu özellikleri taşıyan olayda iki hız bulunmaktadır. Birincisi bozulan ortamın yoğunluğuna bağlı olarak dalga veya faz hızı, ikincisi ise dalga enerjisini etkileyerek denge durumunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızı olmaktadır. Parçacık hızı her zaman dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin analizinde, dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Patlatmadan kaynaklanan dalgalar basınç, makaslama ve yüzey olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Bu üç temel kategori kendi arasında gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gövde dalgaları, kaya ya da toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir. En önemli yüzey dalgası R ile gösterilen Rayleigh dalgasıdır(Şekil 2.30.). Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır(Şekil 2.30.). Patlayıcılar kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgalarını oluşturmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir. Bu kesişmede ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Düşük mesafelere bu üç dalga tipi de aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise, daha yavaş olan kesme ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedirler (Dowding, 1985).

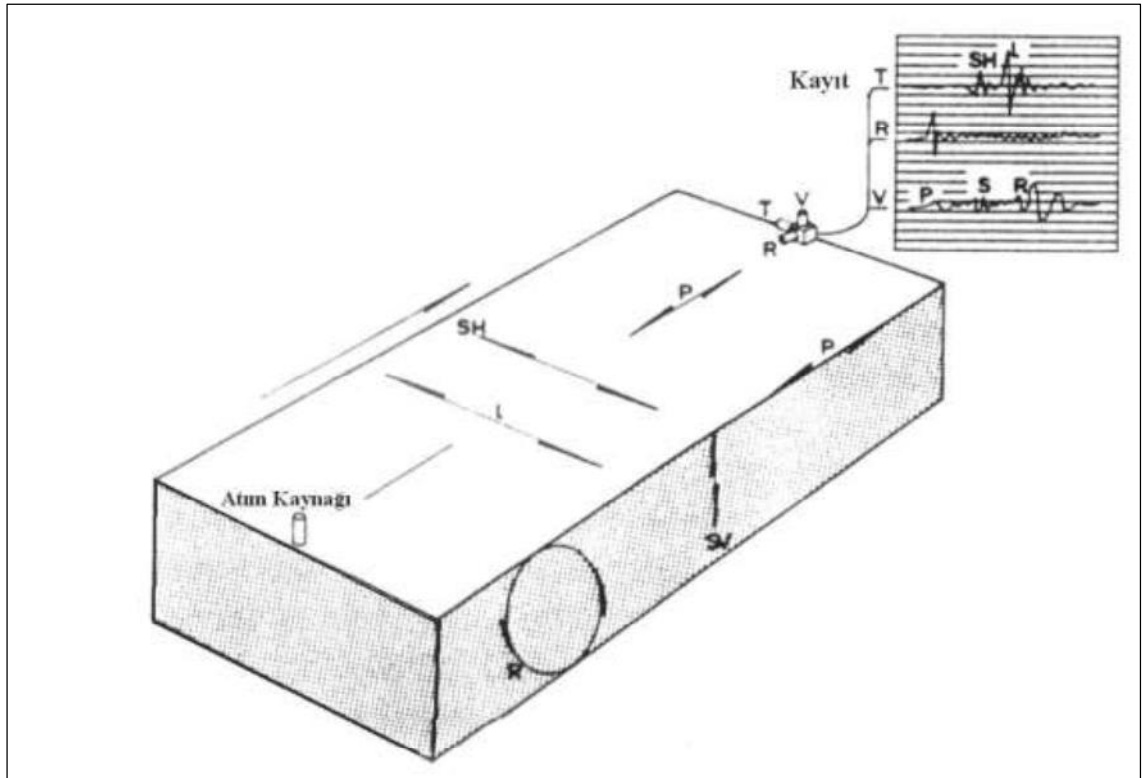


Şekil 2.30. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu (Dowding, 1985)



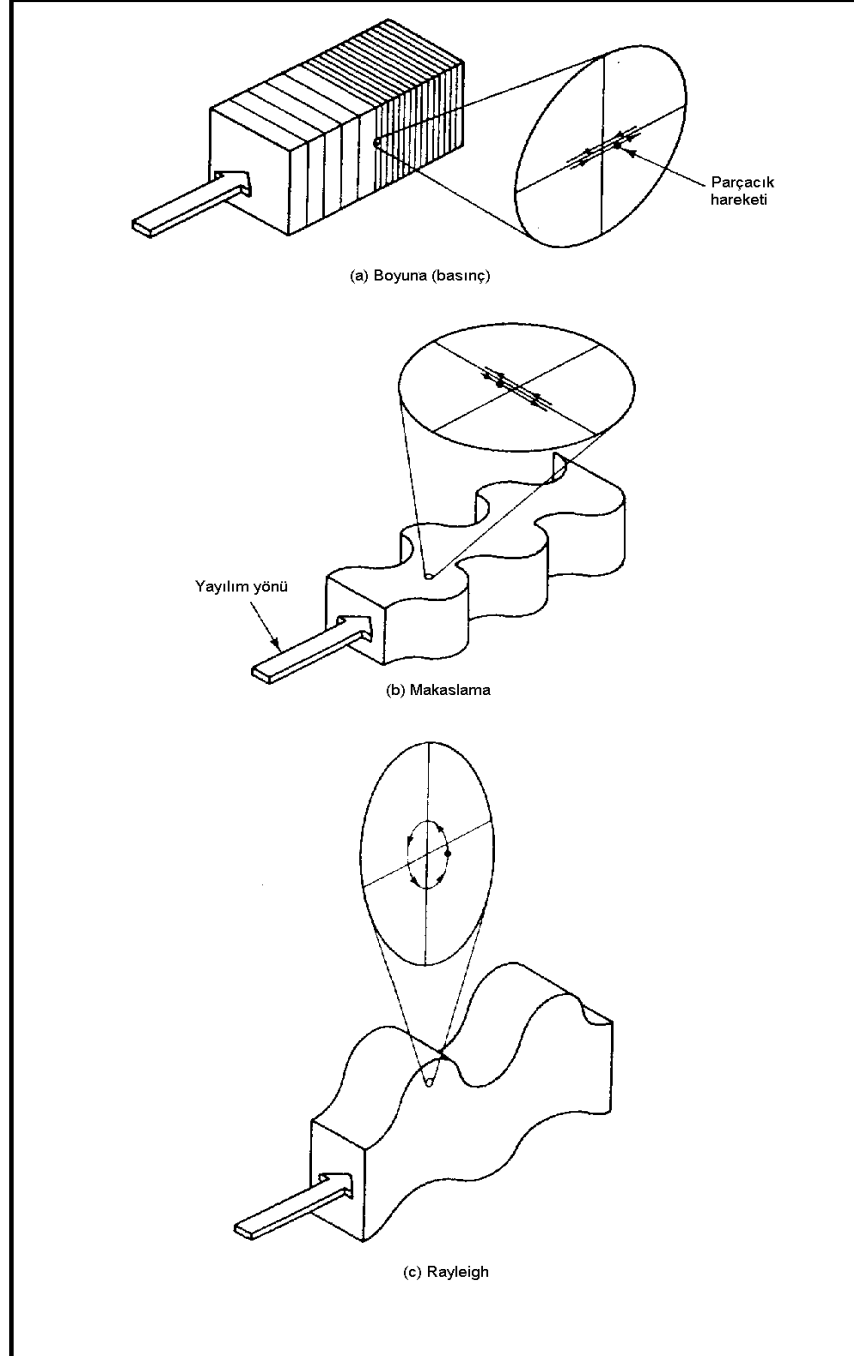
Şekil 2.31. Basınç ve kesme dalgaları (Konya ve Walter, 1991)

Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. Şekil 2.32.'te görüleceği üzere parçacık hareketi tam olarak üç bileşeni (boyuna (R), enine (T) ve düşey (V)) ile tanımlanmaktadır.



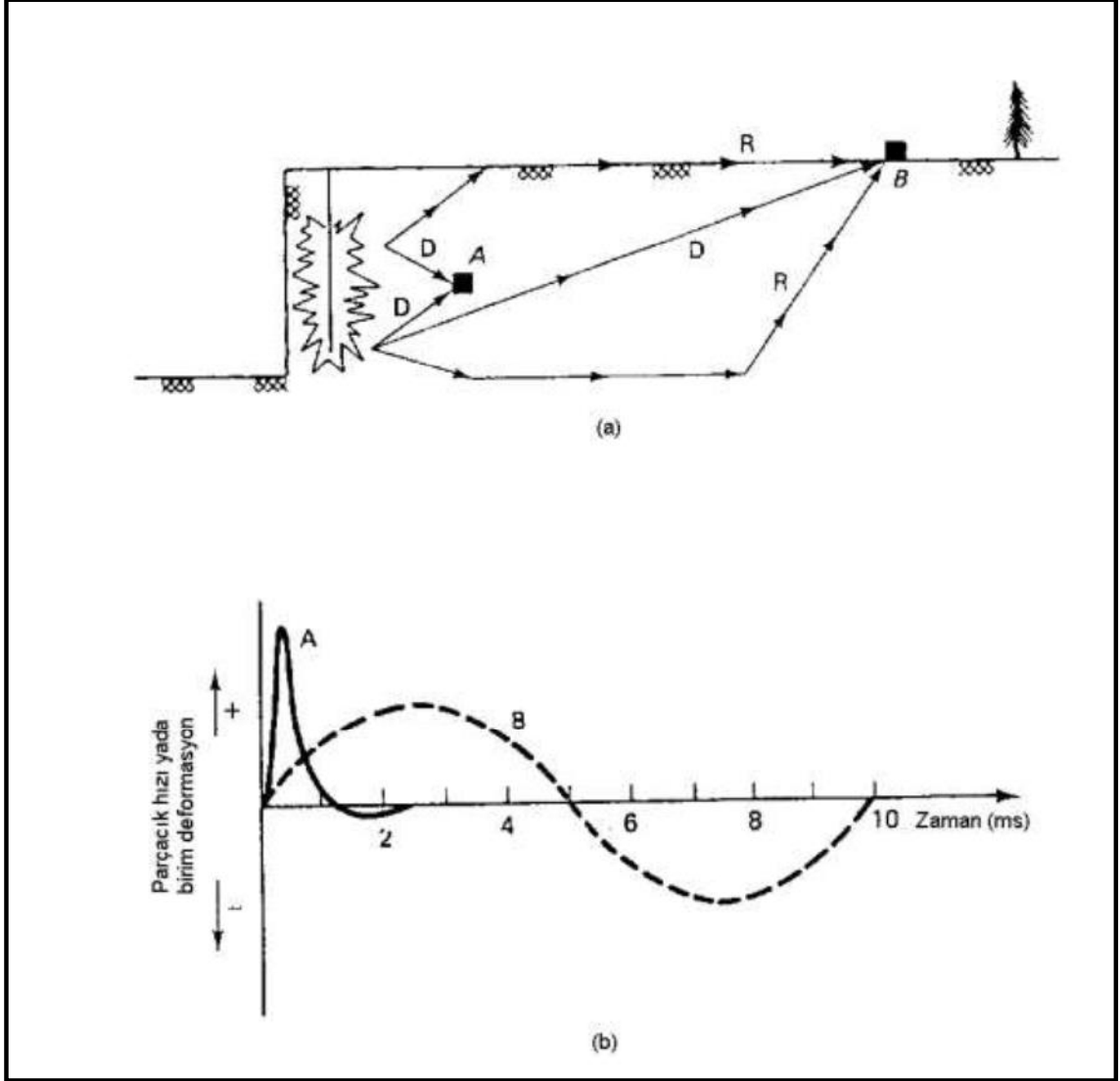
Şekil 2.32. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı (Jimeno ve diğ., 1995)

Bu üç dalga tipi, içinden geçtikleri kaya parçacıkları ya da toprağa göre değişik özellikler göstermektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar ya da kaya her dalga tipine göre farklı bir şekilde deforme olmaktadır. Her asal dalga tipi için değişik parçacık hareketlerinin, yapılar üzerinde yarattığı deformasyon Şekil 2.33.'teki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 2.33. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi (Dowding, 1985)

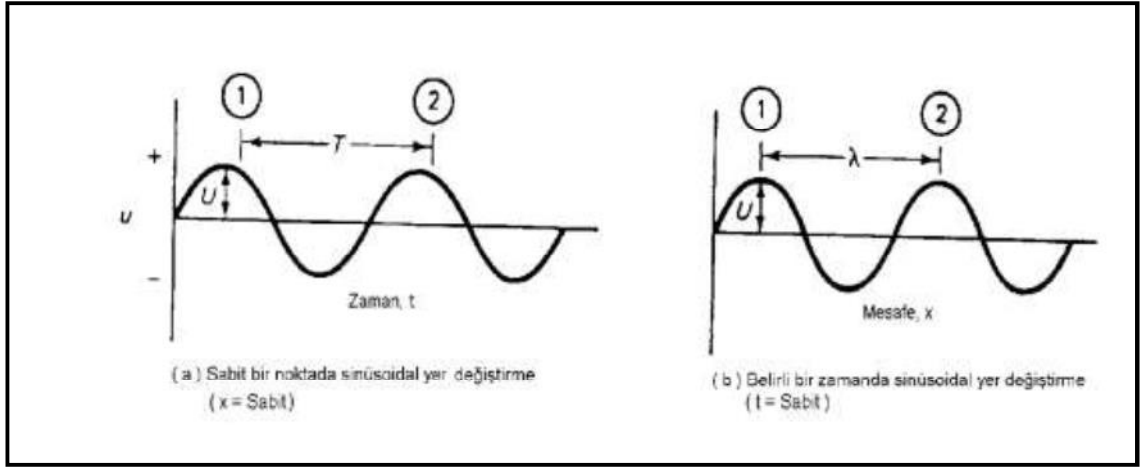
Örnek bir patlatmada, iki izleme noktasına dalgaların erişimi ve bu dalgalara ait parçacık hızı-zaman grafikleri Şekil 2.34.'te verilmiştir. Burada A noktasına dalgalar direkt gelirken, B noktasına direkt ve yansımış olarak ulaşmaktadır.



Şekil 2.34. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi (Dowding, 1985)

Tipik patlatma titreşimleri tartışılırken bunların sayılabilirliği ve ölçülebilirliği gereklidir. Dalga tipi gözetmeksizin Şekil 2.35.'de gösterildiği gibi sinüzoidal olarak yaklaşılabilmektedir. Bu yaklaşım, durgun sudaki bir mantarın, yaratılan bir su dalgası sonucunda ortaya çıkacak hareketine benzetilebilmektedir.

Su dalgasının hareket ettirdiği mantarın ya da patlatmadan kaynaklanan titreşimler sonucu parçacığın yer değiştirmesi (u) sinüzoidal yaklaşımda aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 2.35. Sinüzoidal yaklaşım (Dowding, 1985)

$$u = U \times \sin(k \times x + \omega \times t) \quad (2.1.)$$

Burada,

U; maksimum yer değiştirmeyi,

k; dalga sayısı sabitini,

ω ; açısal frekans sabitini

t; zamanı ifade etmektedir.

Şekil 2.35.'de gösterildiği gibi zaman ve frekans sabit olduğunda mesafe ile yer değiştirmenin değiştiği düşünülmektedir.

$$u = U \times \sin(k \times x + Sabit) \quad (2.2.)$$

Tekrarlanan dalgalar arasındaki mesafe dalga boyu (λ) olarak tanımlanmakta ve K, λ 'ya eşit miktarda her defasında x kadar tekrarlanarak artan sinüs fonksiyonunda $2\pi/\lambda$ 'ya eşit olmaktadır. Benzer bir şekilde, Şekil 2.35.a'da gösterildiği gibi lokasyon ve dalga boyu sabit ise, sabitlenmiş bir noktada zaman ile değişimi;

$$u = U \times \sin(\text{Sabit} + \omega \times t) \quad (2.3.)$$

Dalga tekrarları arasındaki zaman, periyod (T) olarak isimlendirilmekte ve ω , $2\pi/T$ 'ye eşit olmaktadır. Frekans; bir saniyedeki dalga tekrarlamalarının sayısı, periyod; tekrarlamalar arasındaki zaman olduğuna göre frekans $1/T$ 'ye eşit olmakta ve açısal frekans;

$$\omega = 2 \times \pi (1/T) = 2 \times \pi \times f \quad (2.4.)$$

Sinüzoidal yaklaşımda dalga boyu (λ) ve yayılım hızı (c) periyod ile ilişkili bulunmaktadır.

$$\lambda = c \times T = c \times (1/f) \quad (2.5.)$$

Parçacık yer değiştirmesi (u), parçacık hızı (v) ve Parçacık ivmesi (μ) arasındaki ilişki sinüsoidal yaklaşımla aşağıdaki gibi olmaktadır. En çok maksimum hareketin mutlak değeri kullanılmaktadır. Buna göre;

$$u_{\max} = U \quad (2.6.)$$

$$v_{\max} = U \times \omega = U \times 2 \times \pi \times f = 2 \times \pi \times f \times u_{\max} \quad (2.7.)$$

$$a_{\max} = U \times \omega^2 = U \times 4 \times \pi^2 \times f^2 = 2 \times \pi \times f \times v_{\max} \quad (2.8.)$$

$$u = U \times \sin(K \times x + \omega \times t) \quad (2.9.)$$

$$v = \frac{du}{dt} = U \times \cos(K \times x + \omega \times t) \quad (2.10.)$$

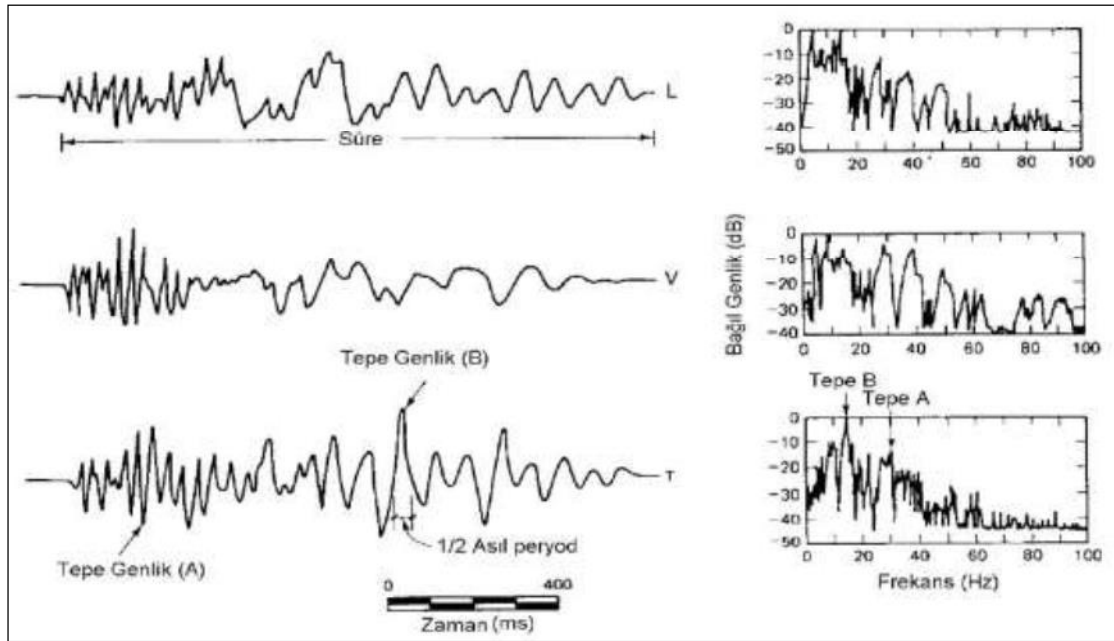
$$a = \frac{dv}{dt} = -U \times \omega^2 \times \sin(K \times x + \omega \times t) \quad (2.11.)$$

Üç farklı yönde oluşan hız değerleri dikkate alındığında bir parçacığın toplam ya da bileşke hızı aşağıdaki gibi olmaktadır (Dowding, 1985).

$$v_b = \sqrt{v_T^2 + v_V^2 + v_L^2} \quad (2.12.)$$

2.8.3.2. Tipik Patlatma Titreşim Kayıtları

Şekil 2.36'da bir kömür açık işletmesinde yapılan patlatmaya ait, zamana bağlı tipik parçacık hızı grafiği verilmiştir (Şekil 2.36.). Zaman gelişimini tanımlamakta en önemli parametreler, tepe genlik, asal frekans ve titreşimin durumudur. Bu parametrelerin hepsi, ortamın geçirimsizliği ve patlatma ardışıklığı ile ilişkilidir. Tünel, açık işletme ve inşaat gibi normal patlatma işlemlerinde, bu parametrelerin değişim aralığı Tablo 2.36.'de verilmektedir (Dowding, 1985).



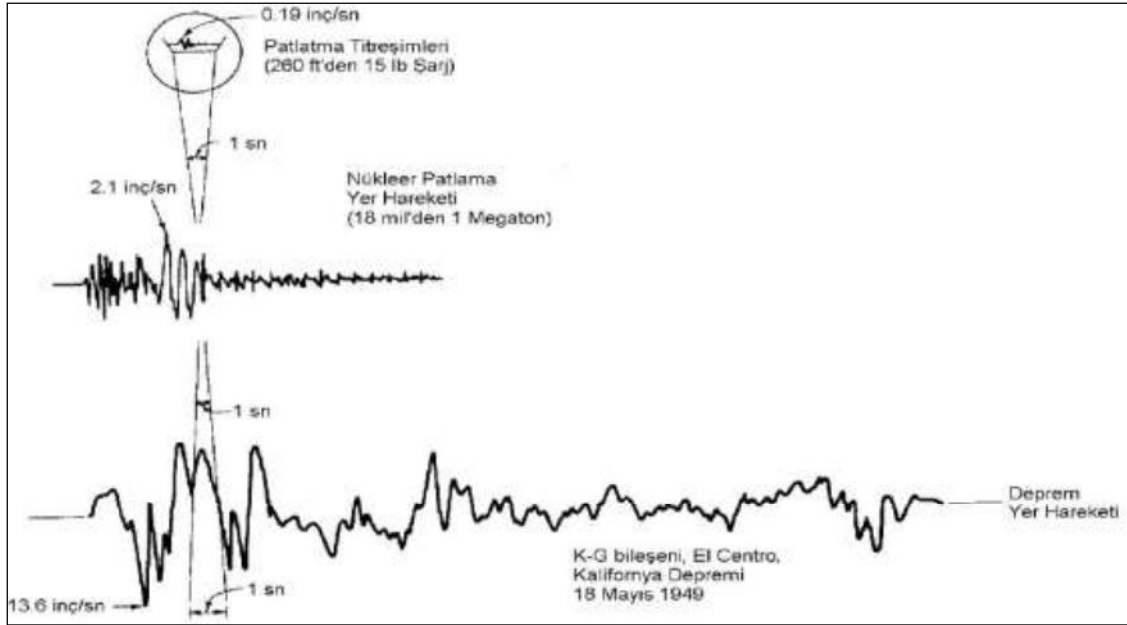
Şekil 2.36. Tipik kömür madeni patlatmasında parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi (Dowding, 1985)

Tablo 2.10. Titreşim Parametrelerinin Aralığı (Dowding, 1985)

Parametre	Değişim Aralığı
Yer değiştirme	$10^{-4} - 10$ mm
Parçacık hızı	$10^{-4} - 10^3$ mm/s
Parçacık ivmesi	$10 - 10^5$ mm/s ²
Atım sürekliliği	0.5 – 2 s
Dalga boyu	30 – 1500 m
Frekans	0.5 – 200 Hz
Birim deformasyon	3.0 – 5000 μ (inç/inç)

Patlatma titreşimlerini, nükleer ve deprem hareketlerinden ayırmada kullanılan iki temel parametre oldukça belirgindir (Şekil 2.37.). Bunlardan birincisi patlatma titreşimlerinin frekansı, deprem ve nükleer patlamalardakinden daha yüksek olmaktadır. İkincisi,

patlatma titreşimleri deprem ve nükleer hareketler ile karşılaştırıldığında daha az enerji taşımaktadır (Dowding, 1985).

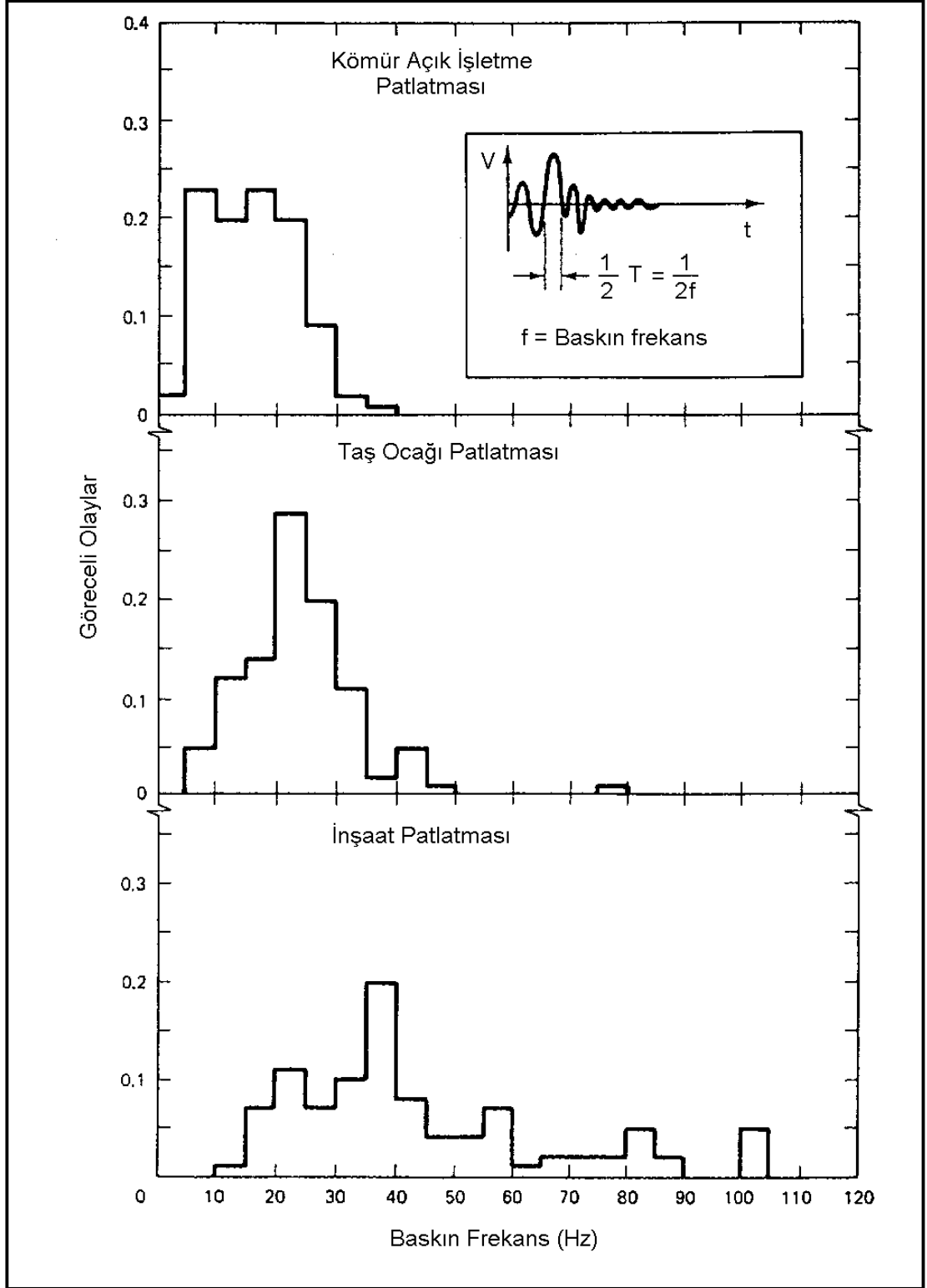


Şekil 2.37. Patlatma titreşimlerinin nükleer patlama ve deprem hareketleri ile karşılaştırılması (Dowding, 1985)

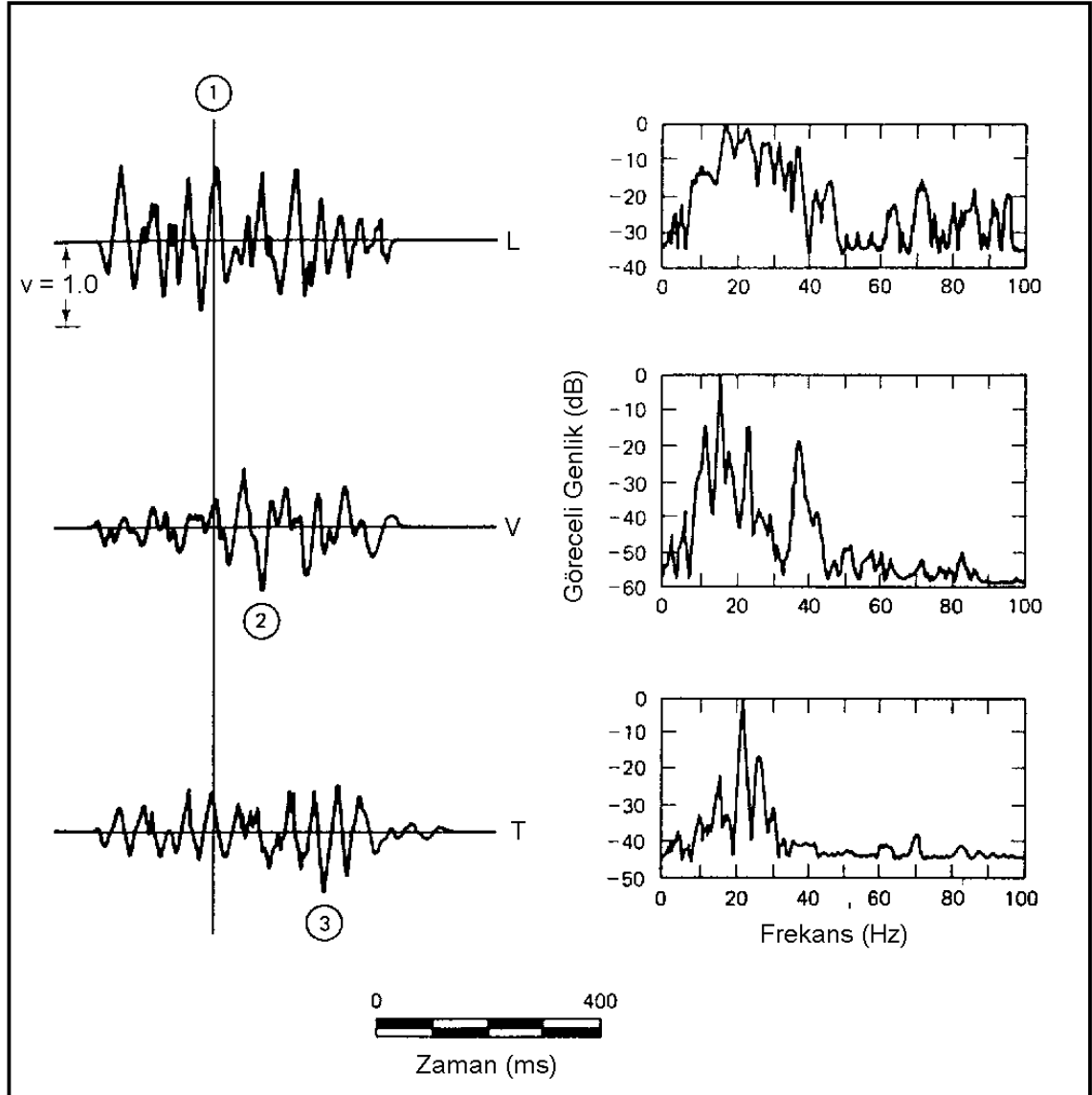
2.8.3.3. Baskın Frekans

Patlatma titreşimlerinde baskın frekans 0.5-200 Hz arasında değişmektedir. Fakat birçok patlatmada, baskın frekans 200 Hz değerinin çok daha altında sınırlanmaktadır. Şekil 2.36.'da gösterildiği gibi en yüksek genlikle ilişkilendirildiğinde çeşitli atım türü ve büyüklüğü farklı olan endüstrilere göre değişmektedir. Uzak mesafelerdeki yapılardan ölçüldüğünde, büyük patlatmaların yapıldığı kömür açık işletmesindeki baskın frekanslar, inşaat sektörü patlatmalarındaki frekanslara göre daha düşük olmaktadır.

Bu durum, inşaat sektöründe daha az patlayıcı kullanılmasına rağmen daha yakın mesafedeki yapılarda gerçekleştirilen ölçümlerden kaynaklanmaktadır. Taş ocağı patlatmalarından ortaya çıkan yer hareketlerinin tepe değerleri yaklaşık olarak 20 Hz civarındadır (Şekil 2.36.). Bu baskın frekans Şekil 2.35.'da gösterildiği üzere elle hesaplanabildiği gibi Şekil 2.36.'daki gibi Fourier Frekans Spektrumu yardımıyla da hesaplanabilmektedir (Dowding, 1985).



Şekil 2.38. Çeşitli patlatmalarda ön baskın frekans histogramları (Dowding, 1985)



Şekil 2.39. Taş ocağı patlatmasında zamana bağlı tipik titreşim gelişimi (Dowding, 1985)

Farklı frekanslarda eşit tepe değerler bulunduğunda kayıtları açıklamak çok daha zor olmaktadır. El ile hesaplama yapılamayacağından, yerini Karşı Koyma Spektrumu ya da Fourier Frekans Spektrumu almaktadır. Karşı Koyma Spektrumu yapısal birim deformasyonlarla ilişkilendirilebileceğinden dolayı tercih edilmektedir.

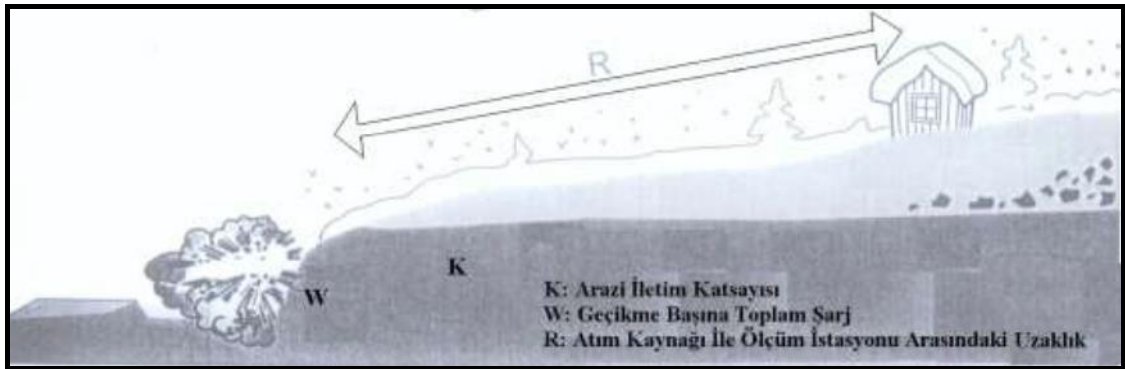
2.8.3.4. Ölçekli Mesafe Kavramı

Ladegaard, Pedersen ve Dally yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısını tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Hoek ve Bray, 1991). Öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını esas alanlara güvenilmektedir. Ölçekli mesafe kavram

olarak, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür (Yağanoğlu ve Altan, 1993; Dick ve diğ., 1983). Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır.

Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji, bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır (Yağanoğlu ve Altan, 1993).

Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir (Şekil 2.40.).



Şekil 2.40. Ölçekli mesafe parametreleri (Tamrock, 1984)

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde en sık kullanılan formül aşağıda verilmektedir.

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \quad (2.13.)$$

Burada;

SD : Ölçekli mesafe

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Açık ocak çalışmalarında kullanılan şarj şeklinin genel olarak silindirik olması nedeniyle (şarj boyu-delik çapı oranı ≥ 6 ise silindirik, < 6 ise küresel şarj olarak kabul edilmektedir), kolon şarjından oluşan dalgalar bu silindirin genişleyen biçimiyle ilerler. Bu basınç silindirinin hacminin, yarıçapının karesiyle değiştiği kabul görmüş bir yaklaşımdır.

Buradan hareketle ve yapılan araştırmalar sonucu ölçekli mesafe için; $SD = R / W^{0.5}$ şeklindeki ampirik ilişki geniş bir kabul görmüştür. $SD = R / W^{0.333}$ ilişkisi de yine birçok araştırmacının kullandığı bir formüldür (Konya, 1990; Gustafsson, 1973; Olofsson, 1988; Dick ve diğ., 1983; Hoek ve Bray, 1991; Johnston ve Durucan, 1994).

2.8.3.5. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır.

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Geçmişten günümüze birçok araştırmacı tarafından maksimum parçacık hızı tahminine yönelik olarak araziden elde edilen datalar kullanılarak, yapılan istatistik çalışmalar sonucu ortaya koyulan ve konuyla ilgili literatüre de yerleşmiş olan ampirik yaklaşımlar aşağıda verilmiştir (Gupta ve diğ.,1988).

1. Nicholls, Johnson ve Duvall (1971)

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta \quad (2.14.)$$

2. Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K \left(\sqrt{\frac{W}{\sqrt{R^3}}} \right)^\beta \quad (2.15.)$$

3. Ambraseys ve Hendron (1968)

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta \quad (2.16.)$$

4. Hindistan Standartları Enstitüsü (ISI, 1973)

$$PPV = K \left(\frac{\sqrt[3]{W^2}}{R} \right)^\beta \quad (2.17.)$$

5. Davies ve Ark., (1964), Attewell ve Ark., (1965), Shoop ve Daemen (1983),

$$PPV = K \times R^\alpha \times W^\beta \quad (2.18.)$$

6. Ghosh ve Daemen (1983.b)

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta e^{-\alpha R} \quad (2.19.)$$

7. Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = K \left(\sqrt{\frac{W}{\sqrt{R^3}}} \right)^\beta e^{-\alpha R} \quad (2.20.)$$

8. Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = K \left(\frac{\sqrt[3]{W^2}}{R} \right)^\beta e^{-\alpha R} \quad (2.21.)$$

9. Gupta ve Arkadaşları (1988)

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} e^{-\alpha \frac{R}{W}} \quad (2.22.)$$

10. CMSR (Singh ve Ark., 1993)

$$PPV = n + K \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1} \quad (2.23.)$$

11. Bilgin ve Arkadaşları (1998)

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha} B^{\beta} \quad (2.24.)$$

Burada;

PPV	: Maksimum parçacık hızı (mm/s)
R	: Patlatma noktasından uzaklık (m)
W	: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)
K, β, α, n	: Çalışma sahası sabitleri
$e^{-\alpha R}$: İnelastik seyrelme faktörü
$e^{-\alpha(R/W)}$: İnelastik sönme faktörü

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (en az 30 veri çifti ile) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik Tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Çeltikçi, 2013).

2.8.3.6. Maksimum Parçacık Hızı Tahmininde Kullanılan İstatistiksel Metotlar

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının kontrolüne yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, parçacık hızının ölçüldüğü yerdeki ölçekli mesafeye karşılık gelen parçacık hızı tahmini

için; saha spesifik hız yaklaşımını veren azalan bir eğri denkleminin bulunması için, sahadan sağlanan titreşim veri çiftlerinin istatistiksel analizi gereklidir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla kullanılan istatistiksel analiz teknikleri en küçük kareler metodu üzerine kurulmakta ve basit korelasyon katsayısı saptamaları, regresyon denkleminin uyum iyiliği (goodness of fit) için ayrıntılı F testi gibi analizleri içermektedir. Patlatmalar sonucunda oluşan titreşimler, Kaya ortamı, mesafe ve şarj özellikleri aynı olan atımların meydana getirdiği titreşimler mantıken aynı olarak düşünülebilir. Fakat genellikle farklıdırlar. Bu farklılığın temel nedeni, titreşimlerin istatistiksel olarak değişken olmasıdır. Eğer, çok sayıda benzer patlatmalar yapıp titreşim ölçerlerle kaydedilirse, görülür ki titreşimler atımdan atıma farklılık gösterir ve geniş bir aralıkta dağılım gösterirler. Dataların dağılımı, istatistiksel olan bir ortalama değer ve standart sapmaya sahip normal dağılım eğrisine uygunluk arz ederler (Konya ve Walter, 1991).

Yapılan bu tür istatistiksel değerlendirmelerle elde edilen, yer sarsıntılarının tahmininde kullanılan parçacık hızı tahmin modelinin doğruluğu, standart sapma tahminleri, kararlılık (r^2) ve değişkenlik katsayısının belirlenmesi ile ortaya konulmaktadır. Bu tür istatistiksel çalışmalarda; katsayının saptanması ve standart hatanın hesaplanması regresyon analizindeki uyum iyiliği değerinin belirlenmesi için kullanılan en popüler metotlardır. Bu metotlar birçok araştırmacının çalışmasında da yer almaktadır (Kahrıman ve diğ., 2001).

Yukarıda değinilen parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bu ilişkinin saptanması için yapılan istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliği için en az 30 veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İstatistiksel açıdan yeterli veri çiftiyle yapılan bir değerlendirme sonucu, elde edilen parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilirliğinin yüksek olması için tahmin denkleminin %95 güven aralığına uyum göstermesi ve korelasyon katsayısı (r) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir. Ayrıca güven aralığının doğruluğunun ortaya konulmasında kullanılan standart sapma değerinin, mümkün olduğu kadar sıfır değerine yakın olması önemli bir göstergedir. Yer sarsıntısı tahminlerinin ortaya konulmasında kullanılan istatistiksel değerlendirmelerde kullanılan bütün regresyon modellerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus,

uyum iyiliği değerinin (r) 0.7'den daha düşük bir değere sahip olması durumudur. Eğer yapılan regresyon analizi sonucunda 0.7'den daha düşük bir r değeri elde edilmiş ise bu durum, sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın ya da problemin var olduğunun işaretidir. Yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılacak istatistiksel değerlendirmelerde böyle bir durumla karşılaşıldığında, sahadan sağlanan veriler tekrar gözden geçirilmeli ve daha dikkatli olarak ilave atımlar izlenmelidir.

Böylelikle herhangi bir saha için sağlanan veri çiftleri kullanılarak yukarıda değinilen kaideleri sağlayan, güvenilirlik düzeyi yüksek istatistiksel değerlendirmeler sonucu geliştirilecek parçacık hızı tahmin denklemi aracılığıyla yapılacak kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında (özellikle titreşim ölçüm aletinin kullanılmayacağı durumlarda), bazı pratik Tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlanabilir (Kahriman, 2001).

2.8.3.7. Patlatmadan Kaynaklanan Yersarsıntısını Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler
Genellikle aynı yerleşim bölgesinde yapılan atımlarda aynı kayıtların elde edilmesi çok zordur. Tablo 2.2'de verilen değişkenlerin bunda önemli ölçüde etkili olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilebilmektedir. Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ve rahatsız edici unsurların ortadan kaldırılması amacıyla bir dizi yöntem geliştirilmiş olup aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür.

- Basamak patlatmasında kayaya iyi bir deplasman verilmesi için sıra içi ve sıralar arası uygun gecikme aralıklı ateşleme sisteminin seçilmesi
- Gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarını azaltılması
- Patlatma noktası ile yapılar arasındaki zemin etüt edilerek, amplifikasyon (genlik artması) ve polarizasyon (yönlendirme) ile sürpriz yapabilecek jeolojik bulguların olup olmadığının araştırılması
- Patlatmada, ateşleme sırasının, korunacak yapıya yakın yerden başlayarak uzağa doğru düzenlenmesi
- Arazi katsayıları tespit edilerek, uygun ölçekli mesafeler tayin edilmesi
- Çevredeki yapılar incelenir ve bu yapılara hasar vermemek için ilk dört maddedeki bulgular kullanılarak uygun patlatma tasarımı yapılır ve önerilir.

- Delik çapını küçültmek, basamak yüksekliklerini azaltmak veya kademeli şarj uygulamak
- Delik taban payının fazla uzun seçilmemesi
- Korunması gereken yapı ile patlatma yeri arasına engel niteliğinde süreksizlikler yerleştirilmesi

Patlatma yapılan bir sahada; herhangi bir sarsıntı ölçer olmadığı hallerde; OSM kurallarının öngördüğü değerlerden daha düşük olmayan bir ölçekli mesafe kabulü yapılarak şarj miktarları belirlenebilir. Ancak bu uygulamadan tam ve etkili bir çözüm beklemek doğru değildir (Kahrıman, 2003).

Tablo 2.11. Yersarsıntısı Üzerindeki Değişimlerin Önem Sırası (Kahrıman, 2003).

	Değişkenler	Önemli	Orta	Önemsiz	
İşletme Faaliyeti Sırasında Kontrol Edilebilen Etkenler	Gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı	X			
	Gecikme süresi	X			
	Dilim kalınlığı		X		
	Delikler arası mesafe		X		
	Sıkılama boyu			X	
	Sıkılama cinsi			X	
	Şarj çapı ve boyu			X	
	Delik eğimi			X	
	Ateşleme yönü		X		
	Atımdaki toplam pat. mad. miktarı			X	
	Şarj derinliği			X	
	Ateşleme yöntemi			X	
	Kontrol Edilemeyen Değişkenler	Genel yüzey tabakaları			X
		Örtü tabakasının cinsi ve derinliği			X
Atmosferik koşullar				X	

2.8.4. Hava Şoku ve Gürültü

Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerin başında hava şoku gelmektedir. Hava şokları patlatmadan kaynaklanan hava basınç dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Yüksek frekanslı basınç dalgaları duyulabilmektedir. Düşük frekanslı olanlar ise etki ettiği yapılarda tıkrıtlar oluşturduğunda duyulabilmektedir. Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan hava şokları

yapılarda kırık ve çatlaklara, pencerelerde kırılmalara ve insanların rahatsız olmasına neden olabilmektedir. Hava şoklarının insanları rahatsız etmesi, insanların yapı içerisinde ve yapı dışında olmalarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık hava şoklarının binaya ulaşması sonrasında binanın yapısal özellikleri nedeniyle çıkardığı seslerden kaynaklanmaktadır. Gürültü, atım noktasından uzaklaştıkça hava şokunun bozulması ve dağılmasıyla oluşmaktadır. Gürültüden kaynaklanan problemler kişisel rahatsızlıklar ve diğer psikolojik şikâyetler şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları cam ve gevrek çerçevelerin titreşimlerine yol açmaktadır. Zaman zaman hava şok dalgaları şiddetli olabilmekte ve yapılarda hasara yol açabilmektedir. En belirgin hasar cam kırılmasıdır. Hava şokunun yayılmasında, sıcaklık, nem oranı, havanın bulutlu oluşu, rüzgar yönü ve şiddeti gibi atmosferik koşullarda etkin olabilmektedir (Hoek ve Bray,1991).

2.8.4.1.Hava Şoku ve Gürültü Ölçümü ve Karakteri

Ses dalgaları ortamın elastisitesi ve kütle özelliklerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Havadaki gaz molekülleri oldukça düzenli bir şekilde dağılmakta ve rastgele hareket halinde bulunmaktadırlar. Normal atmosferik koşullar altında hava 1 atmosfer basınç ve 1.2 kg/m^3 yoğunluktadır. Ses dalgalarının yayılım mekanizması, bir molekülden diğer bir moleküle moleküler yer değiştirme sırasında momentum transferi şeklinde açıklanmaktadır. Değişik hava koşulları altında ve kötü patlatma uygulamalarında hava şokları oldukça yüksek mesafelere ulaşabilmektedir.

Patlatmadan kaynaklanan hava şoklarına neden olan önemli etkenler aşağıda verilmektedir.

- Gereğinden fazla şarj edilmiş delikler
- Zayıf sıkılama
- Açıktaki infilaklı fitil
- Uygun olmayan dilim kalınlığı
- Kayadaki çatlaklardan gaz kaçıışı

Ses, basınç ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. Hava şoku, basınç ya da ses ölçerler kullanılarak ölçülebilmektedir. İnsan kulağıyla duyulabilen yaygın aralıklı genlikler ve frekanslardan dolayı akustik mühendisleri sesi desibel terimi ile ifade etmektedir. Ses basıncı aşağıdaki eşitlik kullanılarak desibele çevrilebilmektedir (Dowding, 1985).

$$dB = 20 \text{Log} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.25.)$$

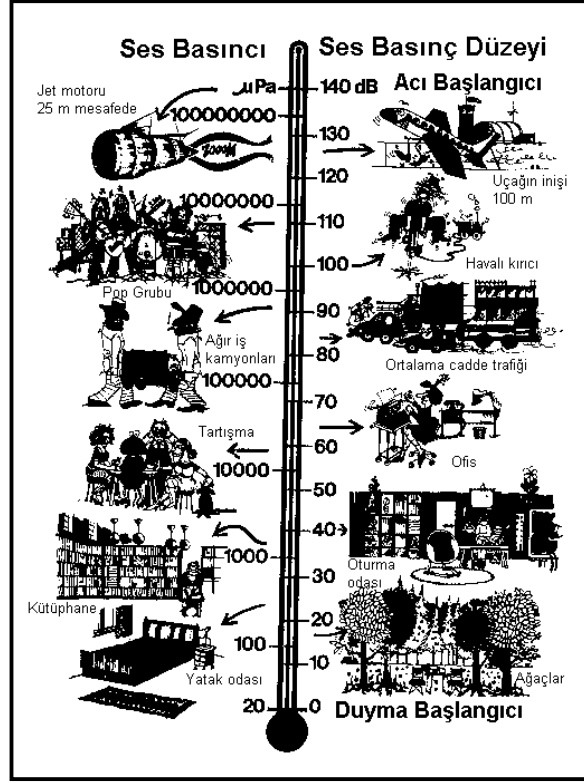
P = Ölçülen tepe ses basıncı,

P_0 = Referans ses basıncı (20×10^{-6} Pa veya 2.9×10^{-9} lb/inç²)

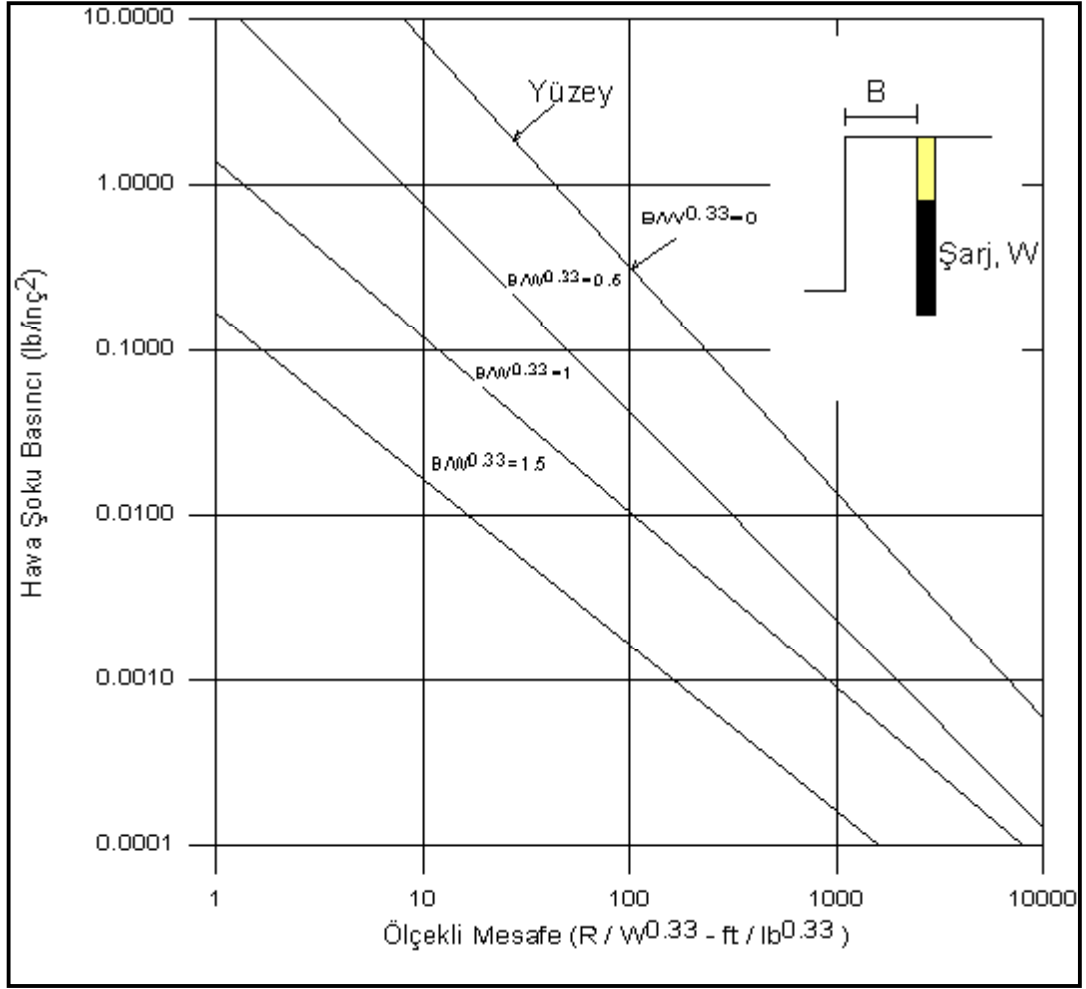
Hava şoku dalgasının yayılması, sıcaklık, rüzgar ve yükseklik gibi atmosferik ve topoğrafik koşullara bağlıdır. Belirli bir uzaklıktaki bulut kapalılığı bile bazen basınç dalgasının yere yeniden yansımaya neden olur (Hoek ve Bray, 1991).

Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri Şekil 2.32.'de verilmiştir. Patlatmaların duyulabilen bölümlerinin şiddeti, havalı kırıcılar ile uçağın yere inmesi sırasında çıkardığı gürültü arasında yer almaktadır.

ABD'de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir. Hava şoku etkisinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Bu azalma faktörü ölçekli mesafe kavramı ($SD = R/W^{0.333}$) ile ifade edilmektedir. ABD Madencilik Bürosu tarafından yaptırılan çalışmalar sonucu, hava şoku basıncının ölçekli mesafeyle ilişkisi ortaya konulmuştur (Şekil 2.41.).



Şekil 2.41. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri (Dowding, 1985)



Şekil 2.42. Hava şoku basıncının ölçekli mesafeye göre değişimi (Hoek ve Bray, 1991)

Bu şekilde yapılan tahminler, yaklaşık değerler vermektedir. Herhangi bir yerdeki gerçek hava şoku ve gürültü seviyeleri atmosferik ve topoğrafik şartlarla birlikte atım geometrisine bağlı olmaktadır. Bu nedenle, çok ciddi şikayetlerin yaşandığı bölgelerde, bu tahminlere ek olarak hava şoku ölçümlerinin yapılması gerekmektedir (Kahrıman, 2003).

Kahrıman ve diğ., (1996) sölestit açık işletmesi basamak patlatmasında ölçtükleri gürültü değerleriyle ölçekli mesafe değerleri arasında bir ilişki elde etmek amacıyla, basit regresyon analizleri yapmışlar ancak, çok düşük korelasyon katsayılı olmaları nedeniyle bu fonksiyonların kullanılmasını önermemişlerdir. Diğer yandan, gürültü değerleri ile şarj miktarı ve uzaklık arasında bir ilişkinin var olduğu düşüncesi ile 47 atıma ait değerleri aşamalı bir şekilde çoklu regresyona tabi tutmuşlardır. Bu analiz

sonucunda elde ettikleri bu anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayılı ilişki aşağıda verilmektedir.

$$N = 0,05603 \times W + 18012,6 \times (1/R) \quad (r=0,93) \quad (2.27.)$$

N : Gürültü (dB)

W : Gecikme başına şarj miktarı (kg)

R : Mesafe (m)

2.8.4.2. Patlatmadan Kaynaklanan Hava Şokunu Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler

Hava şokunun önlenmesi için;

- Basamak patlatma tekniği kullanılarak, patlayıcı madde kaya yapısı içinde mümkün olduğunca homojen dağıtılır ve hapsedilir.
- Galeri patlatması uygulanmaz.
- Uygun delik geometrisi kullanılır.
- Uygun sıkılama boyu ve malzemesi kullanılır.
- Gecikmeli ateşleme sistemi kullanılır.
- Delme öncesi patlatma aynası incelenerek gaz deşarjına yol açabilecek bir jeolojik olgu olup olmadığı incelenir. Böylesine bir jeolojik olgunun varlığında o bölgeye az patlayıcı madde yerleştirilir.
- Rüzgar yönünün kritik olduğu zamanlarda ateşleme yapılmamalı.
- İnfilaklı fitilin zorunlu olunmadıkça kullanılmamalı, kullanılırsa üzerinin 7-10 cm kum ile örtülmeli (Hoek ve Bray, 1991).

2.8.5. Hasar Ölçütleri ve Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesinde göz önünde Tutulan Uluslararası Normlar

Patlatma kaynaklı yer sarsıntıları, kısa süreli (geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Bu tür bir hareketi, durgun su yüzeyinde sabit duran bir mantarın veya kağıttan bir kayığın, suya bir taş atılmasıyla iç içe oluşan konsantrik dalgalardan etkilenip devirik şekilde hareket etmesine benzetmek mümkündür. Dalgalar sürüklenip, su durgunlaştıkça mantarın hareketi de yavaşlar ve durur. Zemindeki bir parçacığın (taneciğin) hareketi de mantarın hareketi gibi olup, zemindeki parçacığın hareket hızına parçacık hızı denir.

Parçacık hızı sıfırdan başlar en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Şu halde yer sarsıntısı incelemelerinde birinci önemli husus en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise yapı da o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f) ise, durgun sudaki mantarın 1 saniye sürede kaç kez yukarı aşağı salındığına benzer şekilde, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez sarsıldığını yani sarsılma sıklığını gösterir. Frekans devir/saniye veya Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde; daha çok patlatma tasarımı ve delik düzeni, bilhassa bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve bir yere kadar da ateşleme yönünden etkilenir. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma yerinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir. Arazi katsayıları ve yer sarsıntısının frekansı da hasar oluşumunda veya oluşmamasında önemli ve tayin edici etmenlerdir (Kahrıman, 2003).

Yer sarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar jeoloji (kaya türleri) ve ateşlemelerdeki gecikme aralığıdır. Çevresel sürekli şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı limit değerinin çok altında olduğu ve hiç bir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü düşük frekanslı dalgaları insanlar kolayca hissedebilirler. Frekans yüksek olduğunda ise insanların bunları algılaması çok zordur ve bu nedenle fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyde birim deformasyonlar yarattığı ve yapıların öz yapısal frekanslarına yakın oldukları için hasar olasılığını da artırır. Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu doğal (öz yapısal) frekansının birbiri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina öz yapısal frekansına eşit veya ondan biraz daha büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı sınır değerlerinin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli

genlikte ise binada hasar oluşur. Bir diğer durum zemindeki uyarıcı dalganın genliği tam yeterli düzeyde olmasa bile rezonans halindeki binanın bu genliği bir kaç kat arttırması sonucu bina yine de hasar görebilir. Konut tipi (1-2 katlı) binalarda öz yapısal frekansların 5-10 Hz arasında değiştiği dikkate alındığında, en yüksek parçacık hızında meydana gelebilecek artma olasılığının, zemin hareketinin (uyarıcı dalganın) frekansının da 5-12 Hz arasında olması durumunda oluşacağı açıktır (Kahrıman, 2003)..

2.8.5.1. Hasar Sınıflaması

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmışlardır. Bu araştırmaların çerçevesi iki ana başlık altında ifade edilebilir.

- Patlatma sonucu oluşan titreşim ve hava şokunun tanımlanması, ölçümü ve ilgili parametrelerin analizi.
- Çeşitli yapılar için hasar kriterlerinin belirlenip, bu kriterlerin patlatma sonrasındaki parametrelerle eşleştirilerek uygun patlatma tasarımı.

Geliştirilen bu kriterler arasında, kullandıkları parametreler açısından benzerlik arz eden ve yaygın kabul görebilen uygulamada başvuru ve mukayese kaynağı olarak kullanılan normlardan en önemli iki tanesi ABD Madencilik Bürosu'nun hasar kriteri ve Alman DIN 4150 normudur. Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Dairesi'nin (USBM) koyduğu hasar sınıflaması Tablo 2.3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi hasarlar “Eşik Hasar”, “Hafif Hasar” ve “Esaslı Hasar” olmak üzere üç sınıfa mütalaa edilmiştir. Eşik hasar sadece görünüm bozucu niteliktedir.

Tablo 2.12. Hasar Sınıflaması (Kahrıman, 2003).

Hasar Sınıfı	Hasar Tanımı
Eşik Hasar (Hasar Başlangıcı)	Boya çatlaması ve kabarması, yapı elemanlarının birleşim yerlerinde küçük sıva çatlakları, eski çatlakların uzaması
Hafif Hasar	Sıva kabarmaları ve sıva düşmeleri, taş duvarlarda bölme ve pencerelerde kılcal çatlaklar, saç teli inceliğinden 3 mm. Kalınlığa kadar çatlaklar, gevşemiş harç dökülmeleri.
Esaslı Hasar	Duvarlarda geniş çatlaklar, kemerlerde çatlaklar, yapının taşıyıcı elemanlarının zayıflaması, taş duvarlarda örneğin bacalarda taş, tuğla düşmesi, yük taşıma kabiliyetinde azalma

Hafif hasar göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez. Yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türü ise “ Esaslı Hasar” sınıfıdır. Bu raporun ilerideki bölümlerinde yapılacak olan irdeleme ve değerlendirmelerde hasar sözcüğü “ Eşik Hasar” anlamında kullanılacaktır.

2.8.5.2. Patlatma Hasar Kriterleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmışlardır. Bu araştırmaların çerçevesi iki ana başlık altında ifade edilebilir.

- Patlatma sonucu oluşan titreşim ve hava şokunun tanımlanması, ölçümü ve ilgili parametrelerin analizi.
- Farklı yapılar için hasar kriterlerinin saptanması ve dikkatli patlatma tasarımı uygulaması.

Patlatma kaynaklı titreşimlerin kontrolüne yönelik olarak geliştirilen ve günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanan bazı önemli kriterler aşağıda altı ana başlık altında özetlenmiştir.

a) Titreşim enerjisini esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. Rockwell'in frekans ve genliği esas alan enerji formülü (1934).
- ii. Birleşik Devletler Madencilik Bürosu'nun (USBM) şarj miktarını ve uzaklığı esas alan genlik formülü (1942).
- iii. İvme frekansın kullanıldığı Crandell'in enerji oranı yaklaşımı (1949).

b) Parçacık hızını esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. Langerfors, Kihlstrom ve Westerberg'in parçacık hızı ve yapı hasar tipi gözlemine dayalı kriteri (1957).
- ii. Edwards ve Nortwood'un parçacık hızına bağlı hasar tahmini (1959).
- iii. USBM'nin daha geniş kapsamlı araştırmalara dayalı, parçacık hızına bağlı hasar tahmini (1971).
- iv. Çeşitli yapı türleri için parçacık hızına bağlı Canmet, Bauer ve Calder'in hasar tahmini (1977).

c) Parçacık hızını ve frekansı esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. Langerfors ve Kihlström'ün grafiği (1967)
- ii. Medearis'in parçacık hızı ve üstün frekansı esas alan hasar tahmini (1976).
- iii. Birleşik Devletler Madencilik Bürosunun parçacık hızı, frekans, yapı ve bina türünü esas alan hasar kriteri tahmini (1980).
- iv. Parçacık hızı, frekans ve yapı türünü esas alan Alman 4150 DIN standartları (1984).
- v. Parçacık hızı, frekans ve yapı özelliklerini esas alan Hindistan CMRI standartları (1987).

d) Parçacık hızı ve mesafeyi esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. Rosenthal ve Morlock'a göre parçacık hızı, mesafe ve bina tipini esas alan hasar kriteri (1987).

e) Parçacık hızı ve ölçekli mesafeyi esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. Birleşik Devletler Açık Ocak Madencilik Bürosu'nun (OSM) maksimum parçacık hızı limiti, ölçekli mesafe ve frekansı esas alan yaklaşımı

f) Parçacık hızı, yapı kalitesi, ve proje zamanını esas alan hasar kriteri yaklaşımları

- i. İsveç Standartlarına göre, gövde dalgaları, bina faktörü, yapı malzeme faktörü ve proje zamanına bağlı olarak hesaplanan parçacık hızını esas alan yaklaşım.

Yaklaşık 60 yıldır, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri değişik başarı dereceleriyle uygulanmaya gelmiştir. Konuyla ilgili olarak literatürde yer alan başlıca hasar kriterleri kronolojik olarak aşağıda özetlenmiştir.

2.8.5.2.1. Rockwell'in Enerji Formülü

1934 yılında Rockwell patlatma sonucu meydana gelen titreşim enerjisinin $f^2 \cdot A^2$ ile orantılı olduğunu belirtmiştir. Burada f: frekans, A: Genliği ifade etmektedir.

2.8.5.2.2. USBM'nin Formülü

1942 yılında Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM), şarj miktarını, zemin karakteristiklerini ve uzaklığın etkilerini birlikte ele alarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Thoenen ve Windes, 1942).

$$A = \frac{\sqrt[3]{C^2}}{100} (0,07e^{-0,0143d} + 0,001) \quad (2.28.)$$

Burada;

A : Yer sarsıntısının genliği (inç)

C : Şarj miktarı (libre)

d : Uzaklık (feet)

Bu formülün kullanılabilmesi için beklenen yer sarsıntısına uygun frekansın ve örtü tabakalarının derinliğine bağlı bir zemin faktörünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Genlik formülü yaklaşık bir formül olduğundan, kompleks patlatma tasarımları için uygun görülmemiştir. Buna karşılık, ivme, zamanla yapısal hasar kriteri olarak öne çıkarılmıştır. 0.1 g'den daha düşük olan ivmeler güvenli, 0.1-1 g ikaz edici ve 1 g'den büyük olan ivmeler ise zarar verici olarak kabul görmüştür (g: yerçekimi ivmesi).

2.8.5.2.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü

1949 yılında Crandell "Enerji Oranı" yaklaşımını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı olarak hasar kriterleri Tablo 2.13'te verilmiştir.

$$ER = a^2 / f^2 \quad (2.29.)$$

ER : Enerji oranı

a : İvme

f : Frekans

Tablo 2.13. Crandell'in Enerji Oranına Bağlı Hasar Kriteri

Enerji Oranı	Hasar Tahmini
< 3.0	Hasar yok
3.0 – 6.0	Uyarı
> 6.0	Hasar var

1949-1960 yılları arasında hasar kriterleri, deplasman, ivme ve parçacık hızı parametreleriyle ilişkilendirilmeye başlanmıştır.

2.8.5.4. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı

Langefors ve arkadaşlarının (1957) parçacık hızı ve yapı hasar gözlemine dayalı kriteri Tablo 2.14.'te verilmiştir.

Tablo 2.14. Langefors ve Arkadaşlarının Parçacık Hızını Esas Alan Hasar Kriteri

Parçacık Hızı (inç/s)	Hasar Tahmini
< 2.8	Hasar yok
4.3	İnce çatlaklar, sıva dökülmesi
6.3	Taş duvarlarda ve sıvalarda çatlamlar
> 9.1	Ciddi boyutlu çatlamlar

2.4.5.5. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı

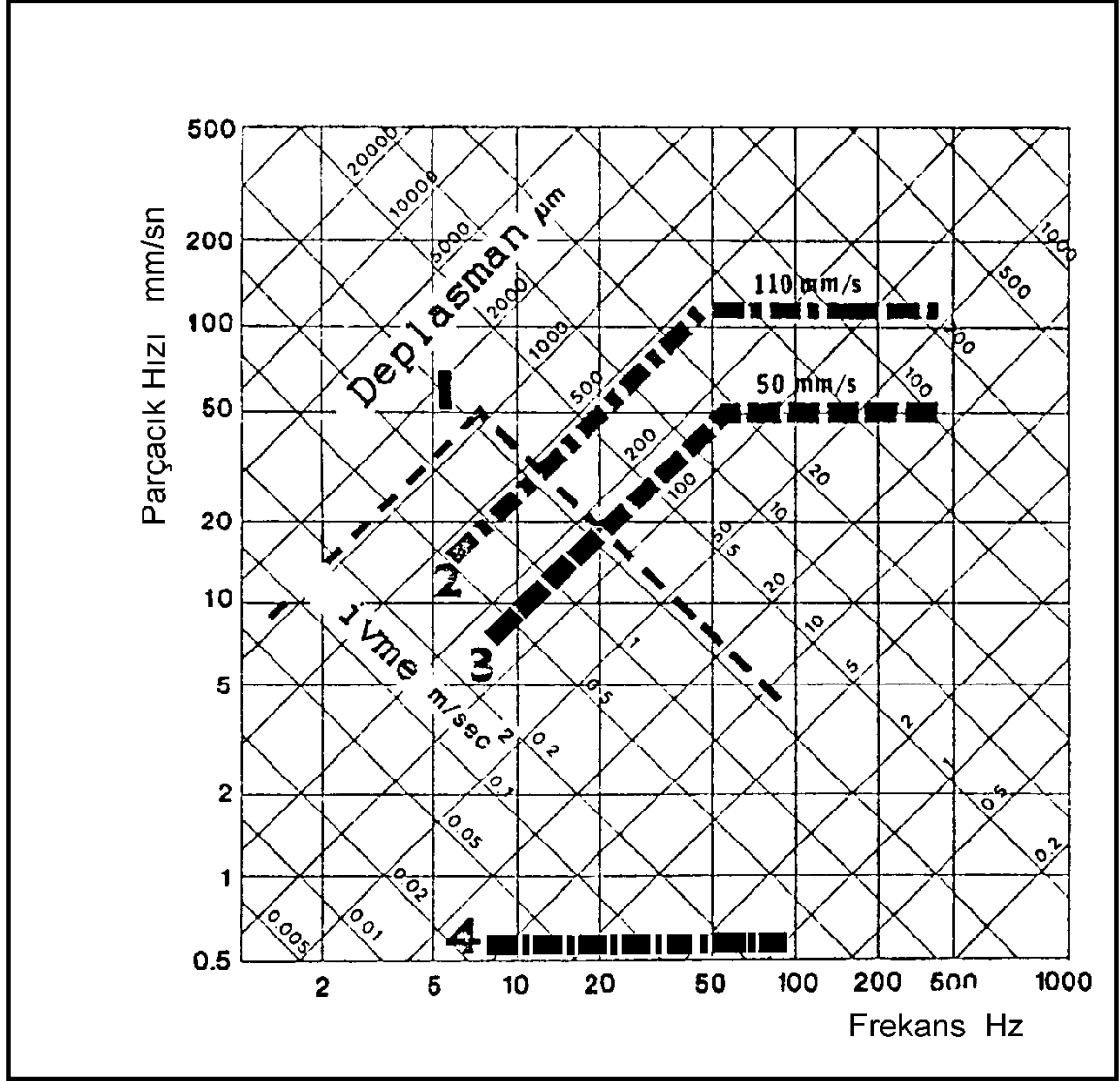
Edwards ve Northwood'un (1959) Kanada'da yaptıkları araştırmalar ışığında parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Tablo 2.15'da verilmiştir.

Tablo 2.15. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızını Esas Alan Yaklaşımı

Parçacık Hızı (inç/s)	Hasar Tahmini
< 2	Hasar yok
2 – 4	Uyarı düzeyinde
> 4	Hasar çok

2.4.5.6. Langefors ve Kihlström'un Yaklaşımı

Langefors ve Kihlström (1967) uzun yıllar boyunca yaptıkları araştırmalar sonucunda (çeşitli özellikteki zeminler üzerine kurulan binalar üzerinde), hasar kriteri olarak Şekil 2.43.'te verilen nomogramı önermişlerdir. Bu yaklaşımda parçacık hızı, frekans, deplasman ve ivme göz önüne alınmaktadır (Arpaz, 2000).



Şekil 2.43. Langefors ve Kihlström'un hasar kriteri nomogramı

Bu nomogramda;

- 1 No'lu eğri : Bir saniyeden daha az süreli titreşime maruz kalan bilgisayarlar için üst sınırı belirtmektedir.
- 2 No'lu eğri : Patlatma esnasında titreşimler nedeniyle binalardaki direkt hasarları ifade etmektedir.
- 3 No'lu eğri : Patlatma için üst limitleri ifade etmektedir.
- 4 No'lu eğri : Yöredeki insanların rahatsızlığına ve şikayetlerine neden olabilecek titreşim seviyesini göstermektedir.

Nomogramın değerlendirilmesinden; 40 Hz üzeri frekanslarda parçacık hızı önem arz ederken, daha düşük frekanslar için deplasman değerlerinin daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

2.4.5.7. USBM'nin Yaklaşımı

1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı daha kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.16.'de verilmiştir (Nicholls ve diğ., 1971).

Tablo 2.16. USBM'nin Yaklaşımı (Nicholls ve diğ., 1971)

Parçacık Hızı (inç/s)	Hasar Tahmini
< 2	Hasar yok
2 – 4	Sıvada çatlaklar
4 – 7	Hasar başlangıcı
> 7	Yapıda aşırı hasarlar

2.4.5.8. Canmet, Bauer ve Calder'in Yaklaşımı

Canmet ve arkadaşlarının (1977) çeşitli ekipman ve muhtelif yapı türleri için parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.17.'de verilmiştir.

Tablo 2.17. Canmet ve Arkadaşlarının Hasar Kriteri (Bauer ve Calder, 1977)

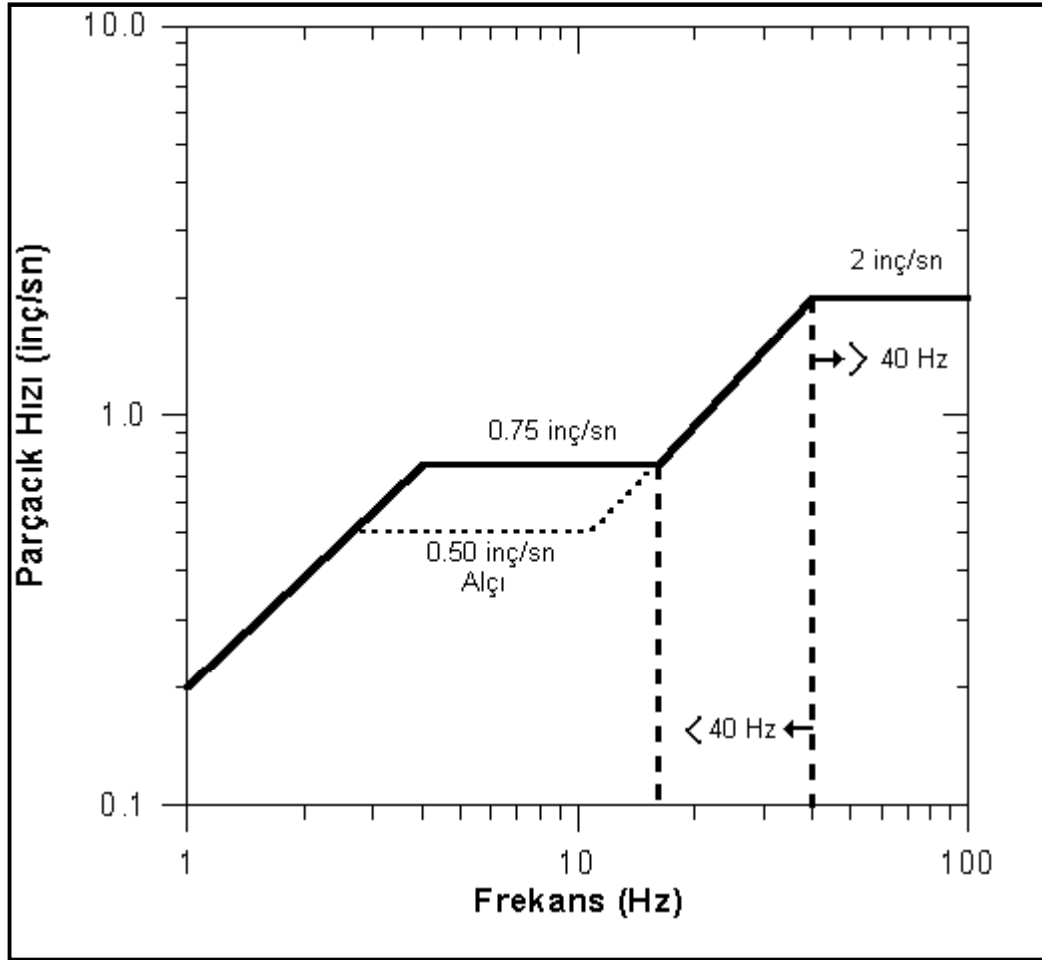
Yapı Türü	Hasar Tanımı	Hasarın Başladığı Parçacık Hızı (inç/s)
Evler	Sıvada çatlaklar	2
Yeni bir binadaki beton bloklar	Blokta çatlaklar	8
Muhafaza borulu sondaj delikleri	Yatay bükülmeler	15
Mekanik ekipman; pompalar, kompresörler	Şaft eğilmeleri	40
Beton temel üzerine inşa edilmiş prefabrik metal binalar	Temel çatlakları, binada bükülme ve çatlaklar	60

2.4.5.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni). Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve kontrol aracıdır.
- Parçacık hızı, titreşime karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
- Patlatmacı bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakar bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer (R/\sqrt{W}). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0.08-0.15 inç/s (2-3.8 mm/sn) civarında olmaktadır.
- Düşük frekanslı (≤ 40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı (≥ 40 Hz) patlatmalarda söz konusu olan potansiyelden daha fazladır.
- Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
- Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0.75 inç/sn (19 mm/s), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0.50 inç/sn (12.7 mm/s)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2.0 inç/s (51 mm/s) olarak tavsiye edilir.
- Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişmelerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgardan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.
- 0.50 inç/sn (12.7 mm/s) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme şansı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda titreşim seviyelerinin bütün aralıkları için dikey eksende ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer (Karadoğan, 2008).

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. “Alternatif Kriter Analizi” olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir kriter setidir (Şekil 2.44.). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir. InstanTEL Minimate Plus Model titreşim kayıt cihazı çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım sırasında ölçülen parçacık hızı değerini mukayese için adı geçen norma işlemektedir.



Şekil 2.44. USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve diğ., 1980)

2.4.5.10. OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM), yer titreşimi ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki son raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegane kurallardır ve açık ocak kömür madenciliğinde uygulanmaktadır.

OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç metottan birini kullanmasını tavsiye etmektedir (OSM, 1983).

1. Metod: Patlatmalı Kazıda Herhangi Bir Titreşim Ölçer Cihazının Kullanılmadığı Durumlarda Parçacık Hızının Sınırlandırılması Kriteri

Patlatma sorumlusu; atımı, Tablo 2.9.'da gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun düzenlenmelidir. Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının limitlerini değiştirmektedir. Bu metotta, Tablo 2.9.'daki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, atımlar süresince sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Tablo 2.18.Uzaklığa Bağlı Müsaade Edilen Ölçekli Mesafe Faktörleri (OSM,1983)

Patlatma Noktasından Uzaklık		Sismik İzleme Yapılmadan Kullanılacak Ölçekli Mesafe Faktörü
Ft	M	(SD)
0 – 300	0 – 90	50
301 – 5000	91 – 1500	55
>5001	>1500	65

2. Metod: Titreşim Ölçer Cihazı Kullanılması Durumunda Ölçekli Mesafe Eşitliği Kriteri

Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Tablo 2.10.'da gösterilen seviyelerin altında kaldığı müddetçe operatör kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını hesaplamada izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlanmamıştır. Böylelikle operatör daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik paterni kullanabilir. Eğer patlatma sonucunda aşağıda belirtilen uzaklıklar için öngörülen titreşim seviyesi aşılsa, OSM'nin öngördüğü ceza uygulanır.

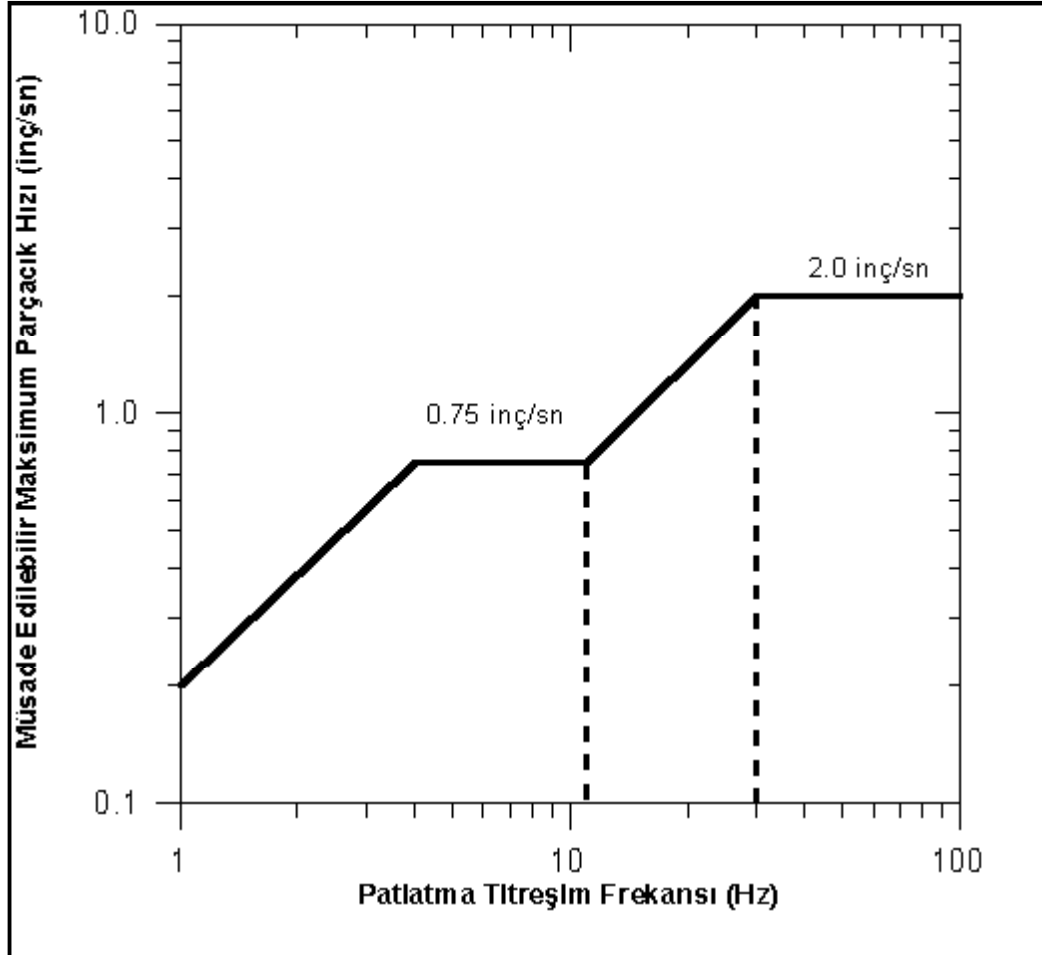
Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.19. Patlatmada Noktasından Belirli Uzaklıklarda Maksimum Parçacık Hızları (OSM,1983)

Uzaklık		Maksimum Parçacık Hızı	
Ft	M	inç/s	mm/s
0 – 300	0 – 90	1.25	31.75
301 – 5000	91 – 1500	1.00	25.40
>5001	>1500	0.75	19.05

3. Metod: Frekans Esaslı Patlatma Seviyesi Grafiği Kriteri

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini (Şekil 2.45.) kullanmasına izin verilir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.45. OSM'nin alternatif kriter analizi (OSM,1983)

Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Birçok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz

etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu metod, patlatmalardan dolayı kaynaklanan meskun binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir.

OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen metottan farklıdır. Şekil 2.45.'daki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır. Grafiğin yorumundan da anlaşılabilceği gibi, titreşim frekansı arttıkça belirli değerdeki bir parçacık hızının hasar riski önemli ölçüde azalmaktadır.

2.4.5.11. DIN 4150 Alman Normu

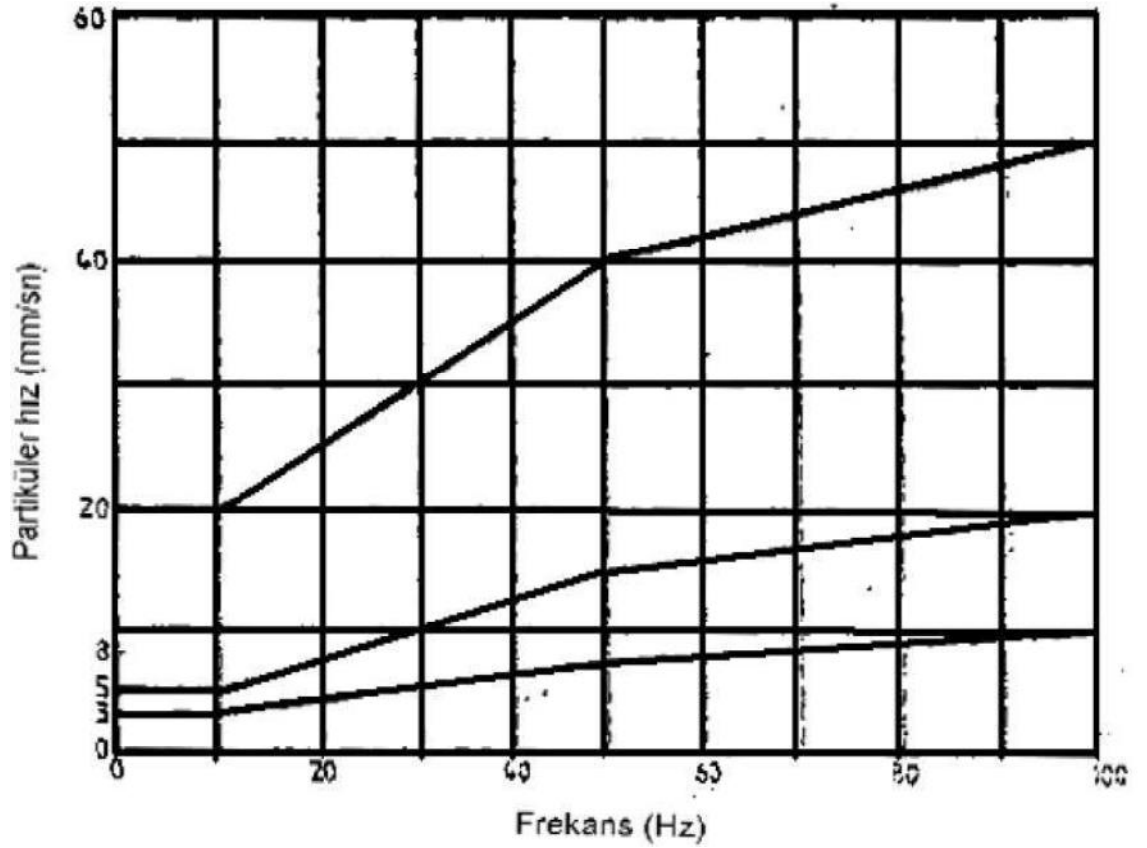
DIN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre Tablo 2.11 ve Şekil 2.37.'de verilmektedir. Bu norm grafiksel bazda incelendiğinde, en alttaki çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üsteki kırıklı çizgi ise betonarme çelik konstrüksiyon gibi dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı sınırlarını belirlemektedir (Schillinger, 2006).

Tablo 2.20 Alman Din 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınırları

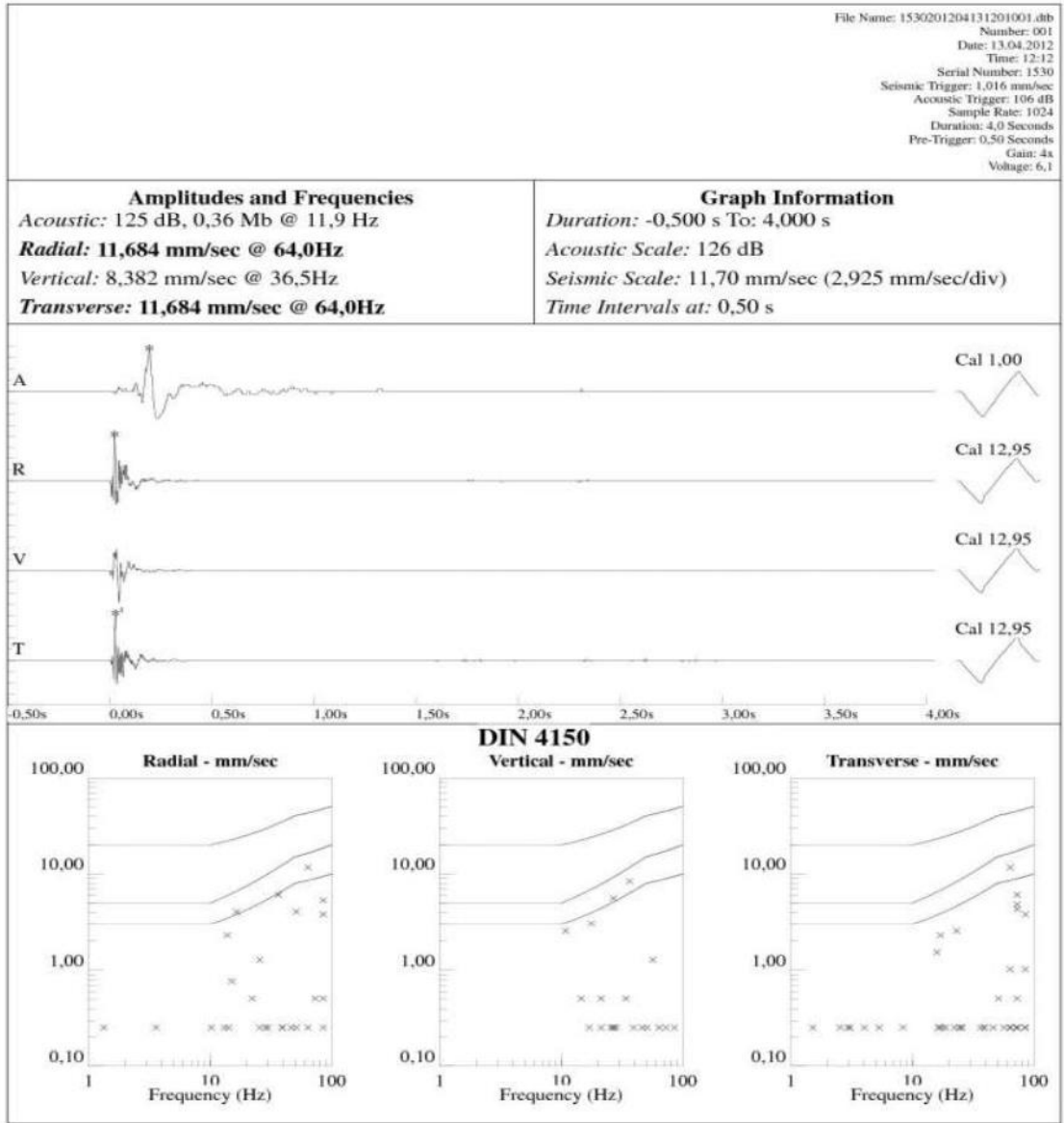
Frekans (Hz)	Parçacık Hızı Sınır Değerleri (mm/s)	Yapı Türü
(0-10)	3	Eski Bina
(0-10)	5	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
(0-10)	20	Betonarme, Çelik konstrüksiyon
(10-50)	(3-8)	Eski Bina
(10-50)	(5-15)	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
(10-50)	(20-40)	Betonarme, Çelik konstrüksiyon
(50-100)	(8-10)	Eski Bina
(50-100)	(15-20)	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
(50-100)	(40-50)	Betonarme, Çelik konstrüksiyon

Şekil 2.46.'de DIN 4150 Alman Normu'nda frekansın fonksiyonu olarak değişen parçacık hızı sınır değerleri verilmiştir. Instantel Mimate Plus model ve White Mini-Seis model titreşim kayıt cihazlarının çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım

sırasında ölçülen parçacık hızı değerini adı geçen norma işlemektedir. Şekil 2.47.'de White Mini-Seis model titreşim ve hava şoku ölçüm cihazına ait tipik kayıt çıktısı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere cihaz tarafından ölçülen parçacık hızı değerleri cihazın data değerlendirme ünitesine aktarılmakta bünyesinde bulunan altı değişik norm içinden, kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir norma göre değerlendirme yapılabilmektedir.



Şekil 2.46. DIN 4150 Alman Normu (Schillinger, 2006)



Şekil 2.47. White Mini-Seis cihazının DIN 4150 Normuna göre düzenlenmiş tipik çıktısı

2.4.5.12. İsveç Standardı

İsveç standardı 1989 yılında kabul edildi ve 1991'de tekrar gözden geçirilip düzeltildi. Bu standart binalar için patlatma kaynaklı titreşimler için kılavuz seviyelerinin hesaplanmasında son derece faydalıdır. Kılavuz seviyeler halk şikayetlerini ya da titreşime duyarlı elektron mikroskop, bilgisayar gibi ekipmanları nazarı itibara almaz. Verilen kılavuz noktaları izin verilen titreşim veya eşik seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmalıdır. Standart her türlü patlatma operasyonu için geçerlidir, örneğin; tüneller, madencilik vs. İsveç Standardı, sadece düşey parçacık hızını kullanır fakat

belirli durumlarda üç bileşenin de kullanılmasını tavsiye eder. Titreşimler eğer mümkünse titreşim dalgalarının bina ile bulunduğu nokta olan bina temellerinde ölçülmelidir (Karadoğan, 2008).

2.4.5.12.a . Kılavuz Seviyeleri

Bu seviyeler, düşey parçacık hızı bileşeni ile değişik jeolojik zeminlere oturmuş binalar üzerinde oluşan hasar arasındaki korelasyona bağlıdır. Kılavuz seviye aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$V = v_0 \times F_k \times F_d \times F_t \quad (2.30.)$$

Burada v_0 düzeltilmemiş düşey parçacık hızını (Tablo2.21),

F_k inşaat kalite faktörünü (Tablo 2.22),

F_d patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe faktörünü,

F_t ise patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresini ifade etmektedir (Tablo 2.23.).

Tablo 2.21. Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı (Karadoğan, 2008)

Zemin	V_0 (mm/s)
Gevşek buzultaş, kum, çakıl, kil	18
Sağlam buzultaş, şeyl, yumuşak kireçtaşı	35
Granit, gnays, sert kireçtaşı, kuvarsit, kumtaşı, diyabaz	70

Tablo 2.22. Bina Faktörü (Karadoğan, 2008)

Sınıf	Bina veya İnşaat Tipi	F_b
1	Ağır inşaat, köprüler, liman ayakları, ve sivil savunma inşaatları gibi	1,70
2	Endüstriyel ve ofis binaları	1,20
3	Standart oturma evler	1,00
4	Hassas özel yüksek kemerli dizayn edilmiş binalar veya geniş sütun aralıklı inşalar, örneğin kiliseler ve müzeler	0,65
5	Hasar alabilecek durumda belli oranda hasarlı tarihi binalar	0,50

Tablo 2.23. Proje zaman faktörü(Karadoğan, 2008)

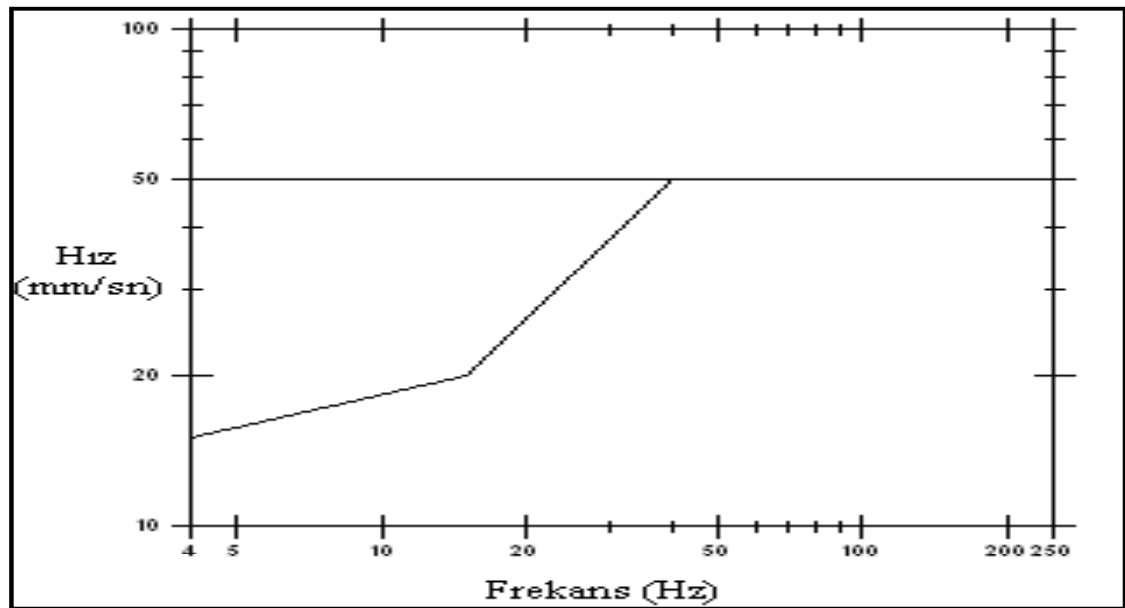
Patlatma Aktivite Türü	F_t
Tüneller, mağaralar, karayolları gibi inşaat işleri	1,0
Taşocakları ve madenler gibi sabit işler	0,75-1,0

2.4.5.13. İngiliz Standardı

İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 “Binalarda Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi”, Tayin edilen titreşimden kozmetik bina hasarı olasılığına karşı, titreşimin önerilen maksimum seviyelerini verir. Makul derecelerde ispat edilmiş yukarıda bahsedilen kozmetik hasarın, en düşük titreşim seviyelerine dayanan bina titreşimi için kılavuz değerleri sunulmuştur. Bu değerler aşağıda verilen Tablo 2.15.’de detaylandırılmıştır (Karadoğan, 2008)

Tablo 2.24. Kozmetik hasar için geçici titreşim kılavuz seviyeleri (Karadoğan, 2008)

Bina Türü	Baskın darbenin frekans dağılımındaki parçacık hızının en yüksek bileşenleri (PPV)	
	4 – 15 Hz	15 Hz ve üzeri
Konut ve hafif ticari binalar	4 Hz’de 15 mm/s’den artarak 15 Hz’de 20 mm/s	15 Hz’de 20 mm/s’den artarak 40 Hz’de 50 mm/s
Endüstriyel ve ağır ticari binalar	4 Hz ve üzeri 50 mm/s	



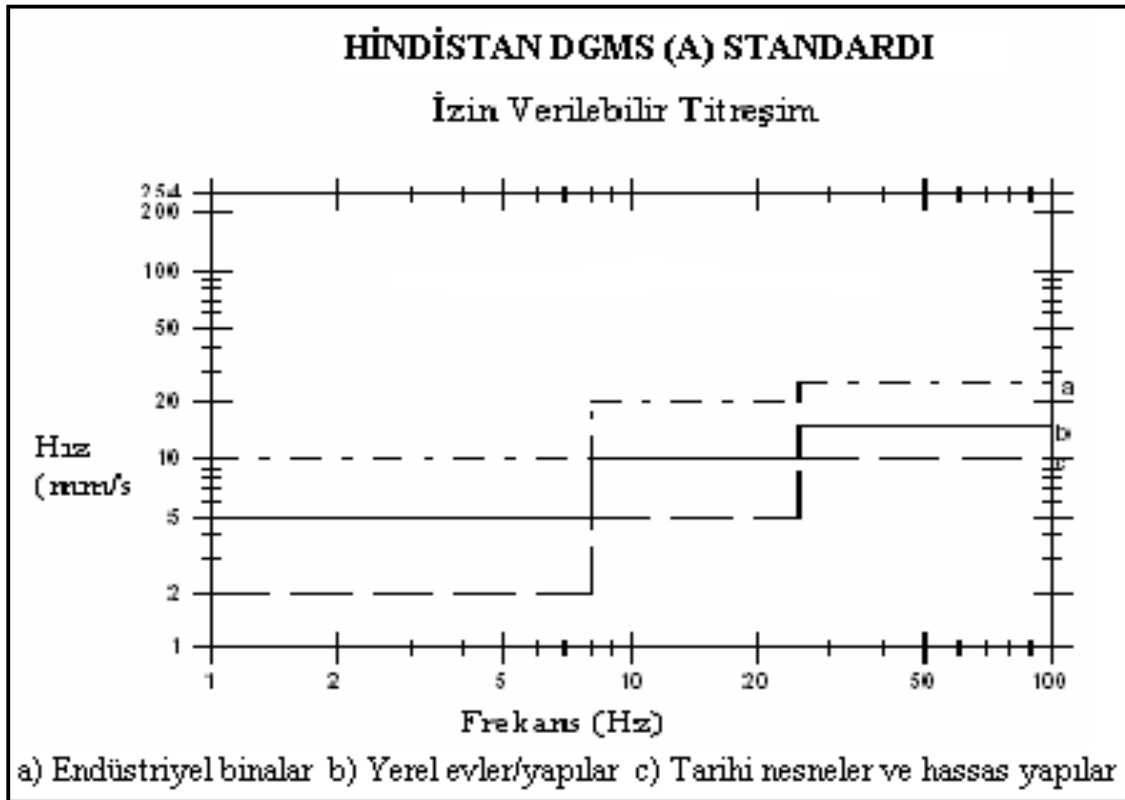
Şekil 2.48. İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 (Karadoğan, 2008)

2.4.5.14. Hindistan Standardı (IS)

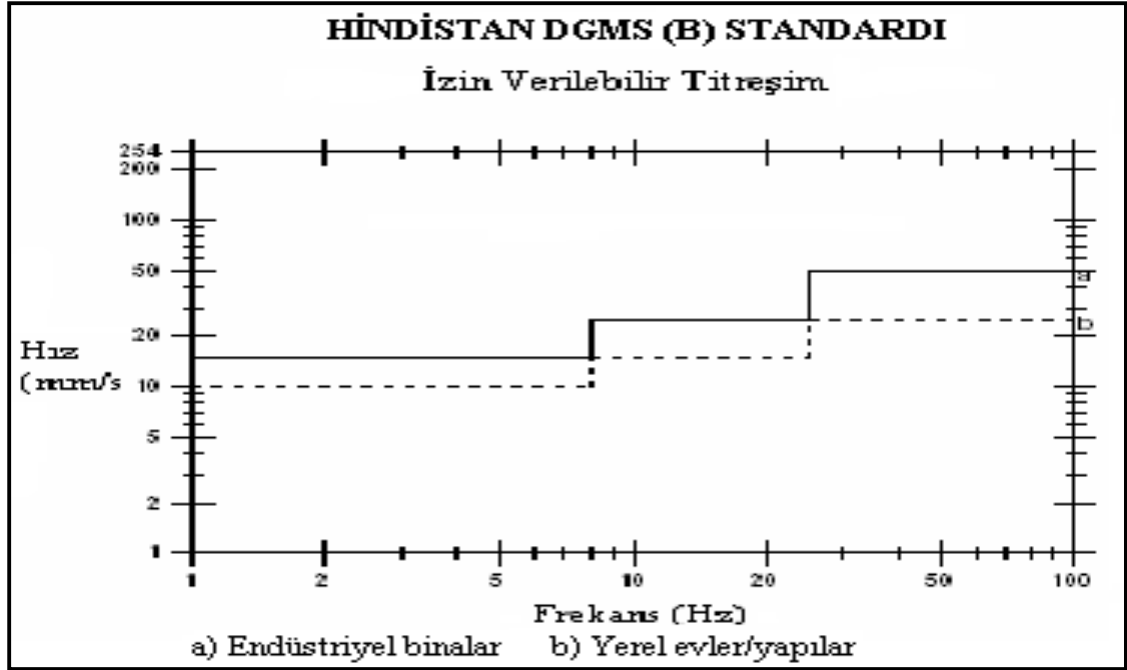
Mevcut Hindistan Standardı olarak bilinen, baskın uyarı ve yapı tiplerine dayanan 29 Ağustos 1997 tarihli 7 sayılı DGMS (Tech) (S&T) Genelgesinde bahsedildiği gibi, yapılara bitişik zeminde en yüksek parçacık hızı (PPV) aşağıdaki Tablo 2.25.'da verilen değerleri aşamaz (Karadoğan, 2008)

Tablo 2.25. Madencilik Alanlarında Yapıların Altyapı Düzeyinde İzin Verilebilir En Yüksek Parçacık Hızı (PPV) (Karadoğan, 2008)

Yapı Tipi	Baskın Uyarım Frekansı (Hz)		
	< 8 Hz	8 – 25 Hz	> 25 Hz
(A) Binalar/Yapılar sahibine ait değil			
i) Yerel evler/yapılar (tuğla ve çimento)	5	10	15
ii) Endüstriyel binalar (Çerçeve yapılar)	10	20	25
iii) Tarihi nesnelere ve hassas yapılar	2	5	10
(B) Sınırlı açıklıklı sahibine ait binalar			
i) Yerel evler/yapılar (tuğla ve çimento)	10	15	25
ii) Endüstriyel binalar (Çerçeve yapılar)	15	25	50



Şekil 2.49. Hindistan DGMS (A) Standardı (Karadoğan, 2008)



Şekil 2.50. Hindistan DGMS (B) Standardı (Karadoğan, 2008)

2.4.5.15. Fransa Standardı

Fransa Standardı (87/70558) aşağıdaki Tablo 2.17.'de verilmiştir.

Tablo 2.26. Fransa Standardı (Karadoğan, 2008)

Yapı Tipi	En Yüksek Parçacık Hızı (mm/s)		
	4 – 8 Hz	8 – 30 Hz	30 – 100 Hz
Konut	8	12	15
Hassas	6	9	12
Çok Hassas	4	6	9

2.4.5.16. Türk Standardı

Çevre ve Orman Bakanlığından: Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ülkemiz Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 04/06/2010 tarihli 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin beşinci bölümü olan Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri, Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri başlığı altında 25-a maddesinde, çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar verilmiştir. Bu maddeye göre, Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar

vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Tablo 2.18.'da verilen değerleri geçemez. Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür (Anon, 2010).

Tablo 2.27. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri (Anon, 2010)

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.)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. YER SARSINTISI VE HAVA ŞOKU İZLEME SİSTEMLERİ

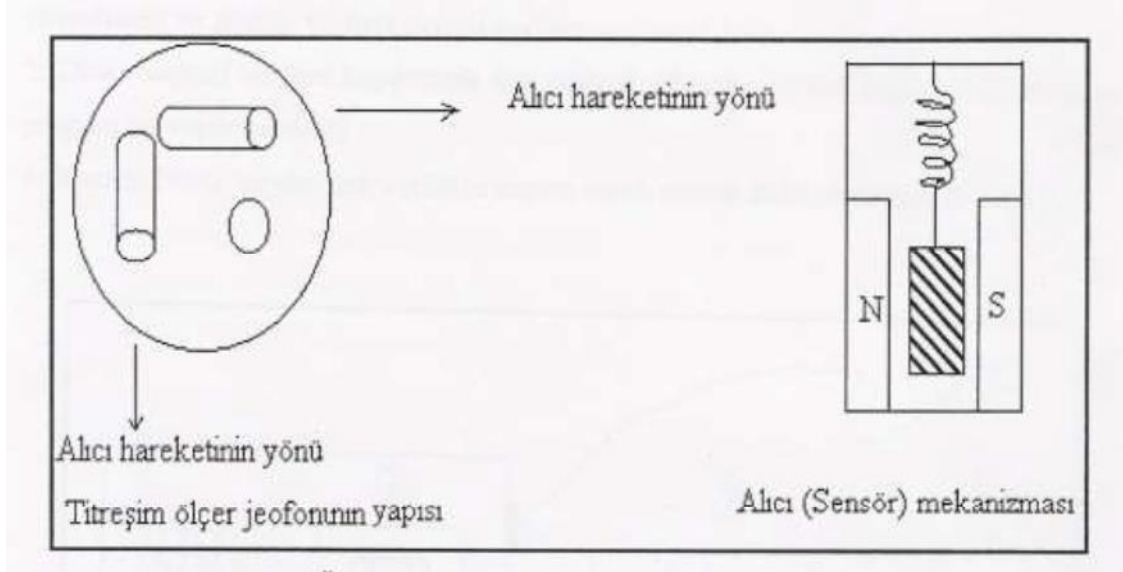
Madencilik, inşaat, taş ocakçılığı, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde patlayıcıların değişik nedenlerle gittikçe artan bir şekilde kullanılması önemli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunların belirlenmesi ve çözümü için öncelikle, patlamadan kaynaklanan çevresel problemlerin başında gelen yer sarsıntısı ve hava şokunun hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Günümüzde patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ve hava şoku ölçümleri için değişik firmalar tarafından geliştirilen birçok izleme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu izleme sistemleri birbirine göre çok farklılık göstermese de kullanımındaki kolaylıkları ve patlatma sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde kullandıkları bilgisayar programları yönünden aralarında bazı farklılıklar bulunmaktadır.

Titreşim aletlerinin fonksiyonları, ortamın (Yeryüzünün) titreşim hareketini ölçmek ve kayıt etmektir. Temel bilimsel terimlerde bu, bir alıcıyı ve kayıt ediciyi kapsayan bir

sismograftır. Gerçekte alıcı, birbirine dik açılı konmuş başlıca Üç alıcı birimden oluşur. İki alıcı birim birbirlerine dik açılı olarak yatay düzlemde uzanırken öteki alıcı birim düzleme dik olarak yerleştirilmiştir. Her alıcı kendi eksenindeki harekete yanıt verir. Yer hareketi hakkında bütünüyle karar verebilmek için Üç alıcı da (sensor) okunması gereklidir.

Alıcının şekli imalatçı firmaya bağlıdır, yuvarlak, kare, dikdörtgen veya Üçgen biçiminde olabilir. Alıcı genel olarak yer hareketlerini elektrik enerjisine dönüştüren elektromagnetik bir çeviricidir. Alıcının içinde yapay bir magnetik alan oluşturan asılı bir bobin vardır. Miknatıs alıcı (sensor) kutusuna bağlıdır ve hareket edemez, fakat magnetik alanda asılı duran bobin bir yay vasıtasıyla serbest olarak hareket etmektedir. Bobinin herhangi bir hareketi magnetik alana bağlı olarak ve bobin hareketinin hızıyla orantılı olarak bir elektrik voltajı üretir. Eğer bobin yavaş hareket ederse küçük bir voltaj, hızlı hareket ederse yüksek bir voltaj elde edilir. Yer sarsıntısı sırasında alıcı titreşecek fakat asılı bobin içerde hareketsiz kalmaya çalışacaktır, böylece magnetik alanla bobin arasında rölatif bir hareket üretilecek ve sonunda bir rölatif elektrik voltajı açığa çıkacaktır. Şekil 3.1.'de alıcı mekanizması şematik olarak gösterilmiştir (Konya ve Walter, 1991).

Kaydedici, alıcının (sensor) çıktısından voltajı alır onu tekrar harekete (titreşime) çevirir ve yer sarsıntısının görünür (görsel) bir kaydını yapar. Karşılıklı üç ana birimden oluşan alıcı her bir alıcı birim için kayıt üzerinde üç iz bırakır. Bu kayıt analiz ve çözümlenmeye hazır durumdadır.

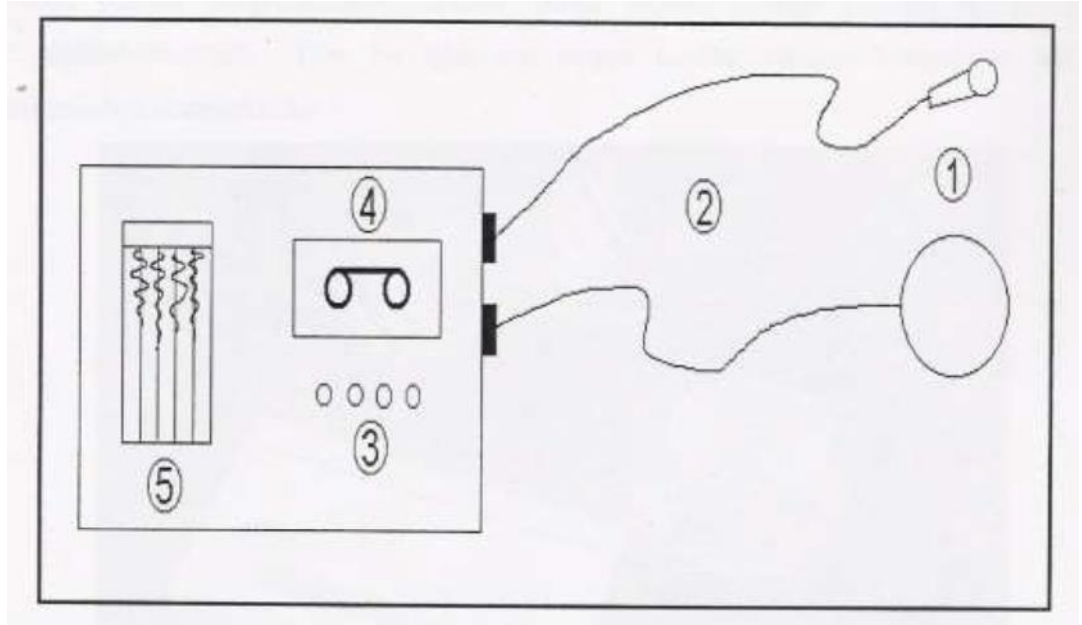


Şekil 3.1. Bir Titreşim Ölçer Cihazının Jeofon Yapısı (Konya ve Walter, 1991)

Kaydedici bir galvanometre vasıtasıyla hareket halindeki alıcının çıkış voltajını değiştirir. Alıcıda bir voltaj üretildiğinde, galvanometre bobinin dönmesine neden olan bir akım, elektrik devresinden geçer. Böylece elektrik enerjisi, hareketi geri çevirir ve bu işlem giderek genişler. Kaydedici belli çizgileri ve ölçülü sinyalleri kayıta gösterir. Sonuç olarak, hareketin kaydı fotoğrafla veya ısı şeklinde alınır (Konya ve Walter, 1991).

Şekil 3.2.'de verilen ideal bir yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemi aşağıdaki 5 temel bileşeni içermektedir (Dowding, 1985; ISRM, 1992).

1. Jeofon: Parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey) zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde almak için
2. Mikrofon: Hava şoku ve gürültü değerlerini zaman bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde almak için
3. Bağlantı kabloları: Mikrofon ve jeofondan gelen elektrik sinyallerini yükselticiye iletmek için
4. Yükseltici ve sinyal düzenleyici: Mikrofon ve jeofondan gelen elektrik sinyallerini yükseltmek ve analog verileri sayısal verilere çevirmek için
5. Disk: Sayısal verileri kaydetmek için (birçok cihazda verileri değerlendirmek üzere programlar verilmektedir)
6. Yazıcı: Diske kaydedilen verilerin zaman esaslı olarak dökümünü almak için



Şekil 3.2. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi (Dowding, 1985)

3.1.1. Örnek Bir Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi ve Teknik Özellikler

Yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemlerinin genelinde aranan teknik özelliklerin daha iyi anlaşılabilmesi için İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait Instantel firmasının ürettiği Mini Mate Plus titreşim izleme sistemi Şekil 3.3.'te görülmektedir. Titreşim ve hava şoku izleme cihazı, üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, yazıcı, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca kaydedilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir (Kahrıman, 2003).

Cihaz tek olay veya sürekli kayıt yapılabilir. Her bir olayın süresine (1-10 s arasında uzaklığa bağlı olarak) 150-200 arasında olayı geniş ya da özet bilgiler halinde koruma yeteneğine sahiptir. Cihazın ölçüm limitleri parçacık hızı için 0.005-9.999 inç/sn ve gürültü için 100 - 142 db. aralıkları düzeyindedir. Bu limitler içerisinde istenilen aralıklar ayarlanabilmektedir. Kaydedilen olay süresi, kayıt biçimi (tek veya sürekli), istenilen birimler, çalışma sahası, kullanıcıya ait bilgiler önceden arzu edilen şekilde programlanabilmektedir. Keza ölçekli mesafe verileri de hafızaya

kaydedilebilmektedir. Tüm bu işlemlere uygun modlar cihazın kontrol ve hafıza ünitesinde bulunmaktadır.



Şekil 3.3. İntantel Mini Mate Plus Model Titreşim Ölçüm Cihazı (Instantel, 1993)

Şekil 3.4.'te İntantel Mini Mate Plus model titreşim ve hava şoku ölçüm cihazına ait tipik kayıt çıktısı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere cihaz tarafında ölçülen parçacık hızı değerleri cihazın data değerlendirme ünitesine aktarılmakta bünyesinde bulunan değişik normlar içinden, kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir norma göre değerlendirme yapılabilmektedir.



Event Report

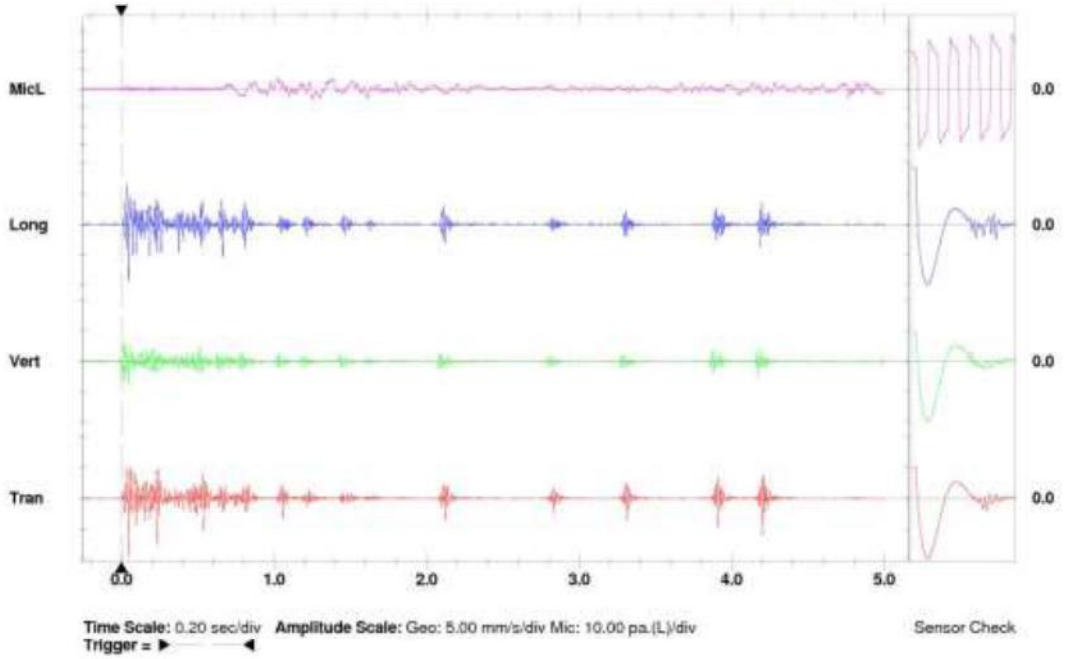
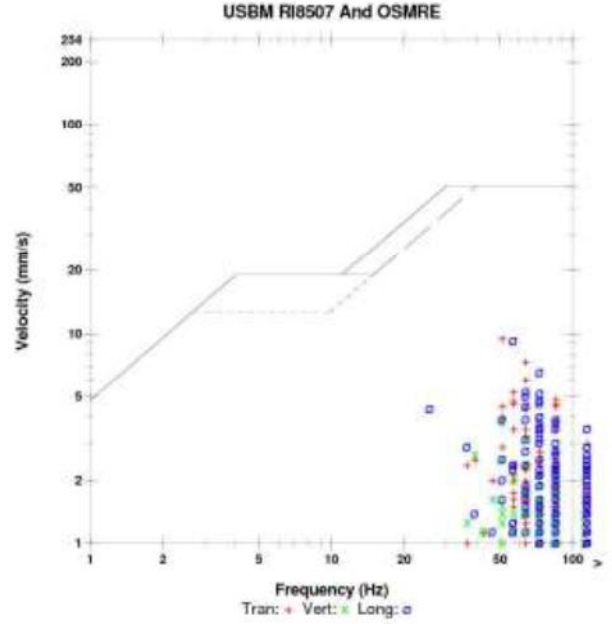
Date/Time Vert at 12:28:03 January 10, 2011
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 5.0 sec at 1024 sps
 Notes

Serial Number BE14358 V 10.10-1.1 Minimate Blaster
 Battery Level 6.3 Volts
 Unit Calibration July 8, 2010 by InstanTel
 File Name P358DKYT_AR0
 Post Event Notes 005

Microphone Linear Weighting
 PSPL 109.2 dB(L) at 1.253 sec
 ZC Freq 5.8 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 566 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	9.65	3.81	9.40	mm/s
ZC Freq	51	51	57	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.049	0.049	0.046	sec
Peak Acceleration	0.345	0.172	0.305	g
Peak Displacement	0.0281	0.0112	0.0263	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.6	7.6	7.7	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.8	3.8	

Peak Vector Sum 13.7 mm/s at 0.049 sec



Printed: October 26, 2012 (V 10.06 - 10.06)

Format (c) 2006-2009 InstanTel, a division of Xtrac Corporation

Şekil 3.4. InstanTel Mini Mate Plus Cihazının USBM Normuna Göre Düzenlenmiş Tipik Çıktısı (InstanTel, 1993)

3.2. ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM

Bu tez kapsamında, IC İçtaş – Astaldi JV (ICA)Adi ortaklığının yüklenicisi bulunduğu “3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi” işi kapsamında, Köprü temel şaftları , portal yapıları ve ankraj bloğu patlatmalı kazılarının; İstanbul Boğazı çevresindeki kamu kuruluşlarının ve proje çevresindeki yerleşim yerleri ile mevcut yapılarda hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olmayacağı konusunda titreşim ölçümlerine dayalı analizler yapılmıştır. Oluşan titreşim bileşenleri 3 yönde incelenerek ayrı ayrı ve toplu olarak değerlendirilmiştir.

Çalışılacak alanlardaki patlatmalı kazı nedeniyle çevredeki yapılarda oluşabilecek hasarlara yönelik risk analizi de yapılmıştır. Analizde mümkün olan en uygun parametreler kullanılarak en olumsuz durumda oluşabilecek sarsıntı etkilerinin kabul edilebilir olup olmadığı tahkik edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. ÇALIŞMA SAHASININ YERİ VE TANITIMI

3. Boğaz Köprüsü Ve Kuzey Marmara Otoyolu

Çoğunluğu Türk mühendislerden oluşan bir ekip tarafından inşa edilecek, yüksek mühendislik ve teknoloji ürünü olacak 3. Boğaz Köprüsü üzerinden 8 şeritli karayolu ve 2 şeritli tren yolu aynı seviyede geçecek. Gerek estetik gerekse teknik özellikleriyle dünyanın sayılı köprüleri arasında yer alacak.

İlklerin köprüsü olacak 3. Boğaz Köprüsü, 59 metrelik genişliği ile dünyanın en geniş, 1408 metrelik ana açıklığı ile üzerinde raylı sistem olan dünyanın en uzun asma köprüsü olacak. Köprünün bir başka ilki ise 322 metreyi aşan yüksekliği ile dünyanın en yüksek kuleye sahip asma köprüsü olması.

2013 yılında yapımına başlanan ve 2015 yılında tamamlanması hedeflenen 3. Boğaz Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu projesi'nin Odayeri – Paşaköy kesiminde yer alacak. Köprü üzerindeki raylı sistem, Edirne'den İzmit'e kadar yolcu taşıyacak. Marmaray ve İstanbul Metrosu ile entegre edilecek raylı sistemle Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve yeni yapılacak 3. Havalimanı da birbirine bağlanacak.

Kuzey Marmara Otoyolu ve 3. Boğaz Köprüsü, “Yap, işlet, devret” modeliyle gerçekleştirilecek. 4.5 milyar TL yatırım bedeline sahip projenin yapım dahil işletmesi, 10 yıl 2 ay 20 günlük süre ile IC İçtaş – Astaldi JV tarafından yapılacak ve bu süre sonunda Ulaştırma Bakanlığı'na devir edilecek.

3. Boğaz Köprü Konsept Tasarımı Hakkında

Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında İstanbul Boğazı üzerinde yapılacak 3. köprü'nün konsept tasarımı yapı mühendisi “Fransız köprü ustası” olarak nitelendirilen Michel Virlogeux ile İsviçreli T-Engineering firması tarafından ortak olarak yapıldı.

Köprü tasarımı konusunda dünyanın en tecrübeli isimlerinin başında gelen Virlogeux'nin imzasını taşıyan önemli köprülerden bazıları: Portekiz'in başkenti Lizbon'daki Tejo Nehri'nin üzerinden geçen ve 17.2 kilometrelik uzunluğuyla Avrupa'nın en uzun köprülerinden olan Vasco da Gama Köprüsü ve Fransa'da, yapıldığı 1 Ocak 1995'ten sonra dört yıl süreyle dünyanın en uzun asma köprüsü unvanının sahibi olan Seine Nehri üzerinde kurulu olan Normandiya Köprüsü'dür.

KUZEY MARMARA OTOYOLU

Projenin, Odayeri – Paşaköy kesiminde; 19 adet kavşak ve bağlantı yollarına sahip yaklaşık 115 km'lik Kuzey Marmara Otoyol'u bulunmaktadır.

Bu otoyol projesi; Odayeri - Paşaköy hattının, halen kullanılmakta olan 1. Boğaz Köprüsü ile 2. Boğaz Köprüsü'nün trafik yükünü rahatlatmak ve İstanbul'un ulaşım sorununu giderebilmek için Yap, İşlet, Devret modeli ile 20.04.2012 günü ihale edilen ve içerisinde 2015 yılında bitmesi planlanan 3. Boğaz Köprüsü'nü de kapsayan bir otoyol projesidir.



Şekil 4.3. Projeden genel bir görünüm

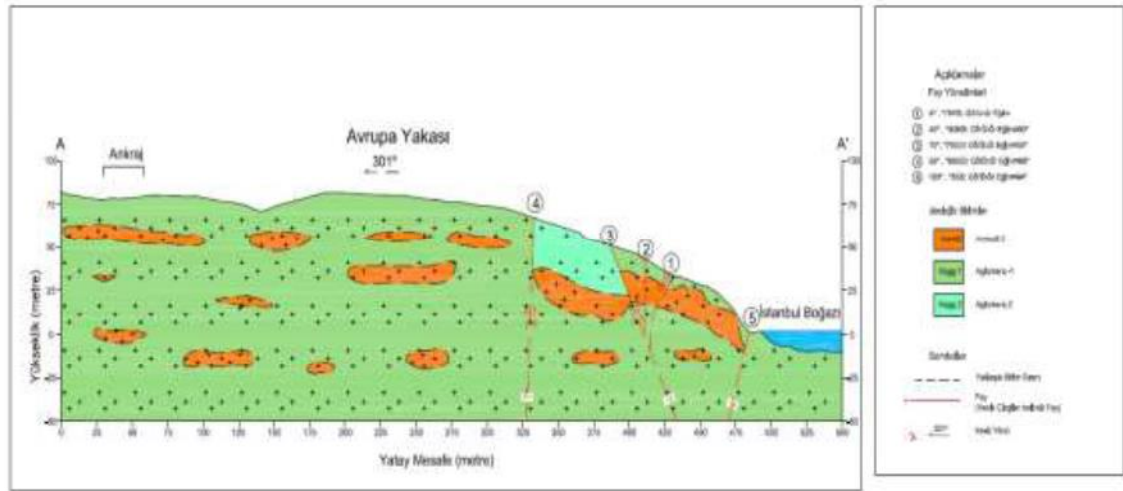
4.2. BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ

4.2.1 Genel Jeoloji

İstanbul ili ve yakın dolayını kapsayan inceleme alanı, Erken Paleozoyik'ten günümüze değin süren geniş bir zaman aralığında oluşmuş çok sayıda kaya birimlerini kapsamaması, oldukça karmaşık yapısal hareketlerin izlerini taşıması ve güncel tektonik hareketlerin etkin olduğu bir bölgede yer alması dolayısıyla, yerli ve yabancı bir çok yerbilimcinin ilgisini çekmiş ve değişik amaçlı araştırmalara konu edilmiştir. İstanbul il sınırları içinde metamorfik olan ve metamorfizma göstermeyen iki büyük kaya stratigrafi birimi topluluğu yer alır. Niteliği henüz açıklığa kavuşturulamamış olan önemli bir tektonik hatla birbirinden ayrılan, bu iki topluluktan metamorfizma gösteren istif, inceleme Istranca dağları ve dolayında geniş alan kapladığı için "Istranca Birliği", metamorfizma göstermeyen istif ise "İstanbul Birliği" adlarıyla adlandırılmıştır.

İstanbul bölgesinde altta yer alan birimler Paleozoik yaşlıdır. Bu birimler Silüriyen'den Alt Karbonifer'e kadar uyumlu bir istif oluştururlar. Genellikle kırıntılı ve karbonatça zengin bu birimler, tektonizmaya karışık bir yapı kazanmışlardır. Paleozoyik yaşlı birimler Dolayoba, Kartal, Tuzla, Baltalimanı ve Trakya Formasyonu'dur.

İstanbul bölgesi, Erken Paleozoyik (Ordovisiyen)-Kuvaterner aralığını kapsayan geniş bir jeolojik zaman diliminin önemli bölümünü temsil eden kaya stratigrafisi birimlerini içermektedir ve bu süreçte etkin olmuş önemli tektonik olayların derin izlerini taşıyan bir morfoloji üzerinde yer alır.



Şekil 4.4. Avrupa Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Şennazlı, 2012)

Asya yakasında aglomera-1 (kagg1), aglomera/ayırışmış (Kagg/Weathered) ile andezit1 (kand1) ve andezit-2 (kand2) olmak üzere 4 farklı jeolojik birim haritalanmıştır. Bu yakada yoğun bitki ve toprak örtüsü nedeni ile haritalama çalışmaları ulaşım yolları boyunca yapılabilmıştır. Özellikle ankraj bölgesindeki yoğun bitki örtüsü jeolojik birimlerin mostra vermesini engellemiştir. Sondaj çalışmalarından elde edilen ön bilgiler ve el kazısı ile açılan deneme çukurları yardımı ile bu alanda 20-30 cm kalınlığında bir toprak profilinin altında aglomera-2 birimi olduğu belirlenmiştir. Bu alanda da yine Avrupa yakasında olduğu gibi aglomera ve andezitlerin birbiri ile ardalanmalı olduğu belirlenmiştir. Bu yakadaki andezit kütleleri Avrupa yakasındakilere göre daha kalındır.

Aglomera-1 birimi bu yakada en yaygın yüzlek veren birimdir. Deniz feneri civarında ~10-15 m yüksekliğinde ve kıyı şeridi boyunca 3-5 m yüksekliğinde sarplıklar oluşturmaktadır. Açılan yol yarmalarında ve daha önceden patlatma

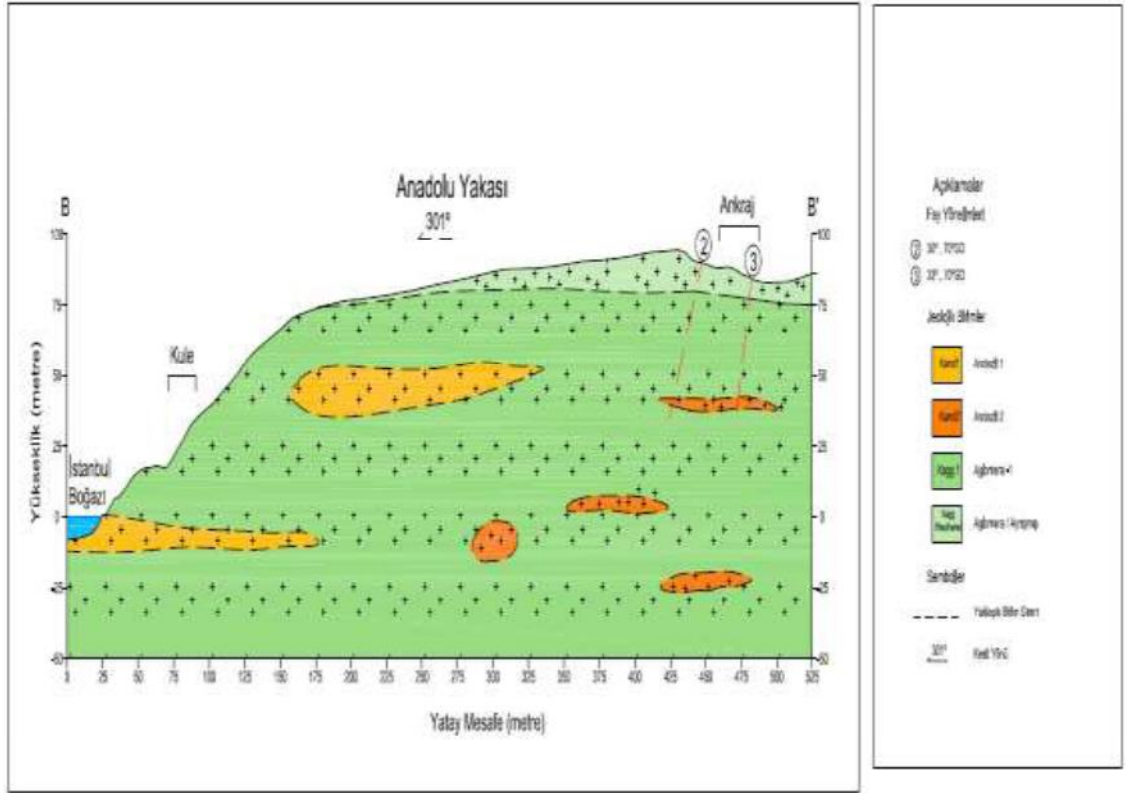
yöntemi ile açılan küçük yarmalarda andezit-1 ile ardalanmalı olduğu görülmektedir.

Andezit-1 birimi üç farklı alanda yüzlek vermiştir. Bu alanlarda birim $>0,3$ m ile $<0,1$ m boyutundaki sütunlar ile belirgindir. Birimin devamlılığı kıyı şeridi boyunca yamaçlar üzerinde görülebilmektedir. Andezit-2 birimi Fil Burnu batısında açılan yol yarmalarında aglomera-1 ile ardalanmalı şekilde görülmüştür.

Kalınlığı yer yer 1-4 m arasında değişmektedir ancak haritalanabilir ölçekte bir yayılım sunmamaktadır.

Asya yakasında belirlenen ana çatlak seti kıyı şeridine yaklaşık dik olarak uzanmaktadır. Deniz kıyısına yakın ve aglomera-1 birimi içerisinde gözlenen çatlaklar geniş açıklıklara sahiptir. Bu durum muhtemelen deniz suyunun bu çatlaklar içerisine girerek çatlağı genişletmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı çatlakların kara iç kesimlerindeki devamlılıklarında çatlak açıklıklarının çok daha dar olduğu görülmüştür.

Asya yakasında deniz fenerinin güneydoğusunda deniz kıyısında üç adet fay belirlenmiştir. Bu faylar kıyı şeridi boyunca takip edilebilen andezit-1 ve aglomera-1 birimini kesmekte ve ötelenmektedir. 1 nolu fay K60B/75GB, 2 nolu fay ise K30D/70GD doğrultuludur. 3 nolu fay ise 2 nolu faya paralel olarak görülmektedir ve bitki örtüsü ve morfolojideki oluşturduğu çizgisellik ile tanımlanmıştır. Ayrıca ön sondaj verilerine göre B nolu sondajda belirlenen ezik zon 3 nolu faya karşılık gelmektedir. 1 nolu fay sütunsal geometri sunan andezit biriminde bir miktar atıma sebep olmakta, 2 nolu fay ise andeziti sonlandırmaktadır. Fayların üst kesimleri yoğun bitki örtüsü ile kaplıdır ve takip edilememektedir. Fayların her ikisi de mavi renkli silisik fay dolgusu ile kapalıdır ve bu durum fayların günümüzde aktif olmadıklarını göstermektedir. (Şennazlı, 2012)

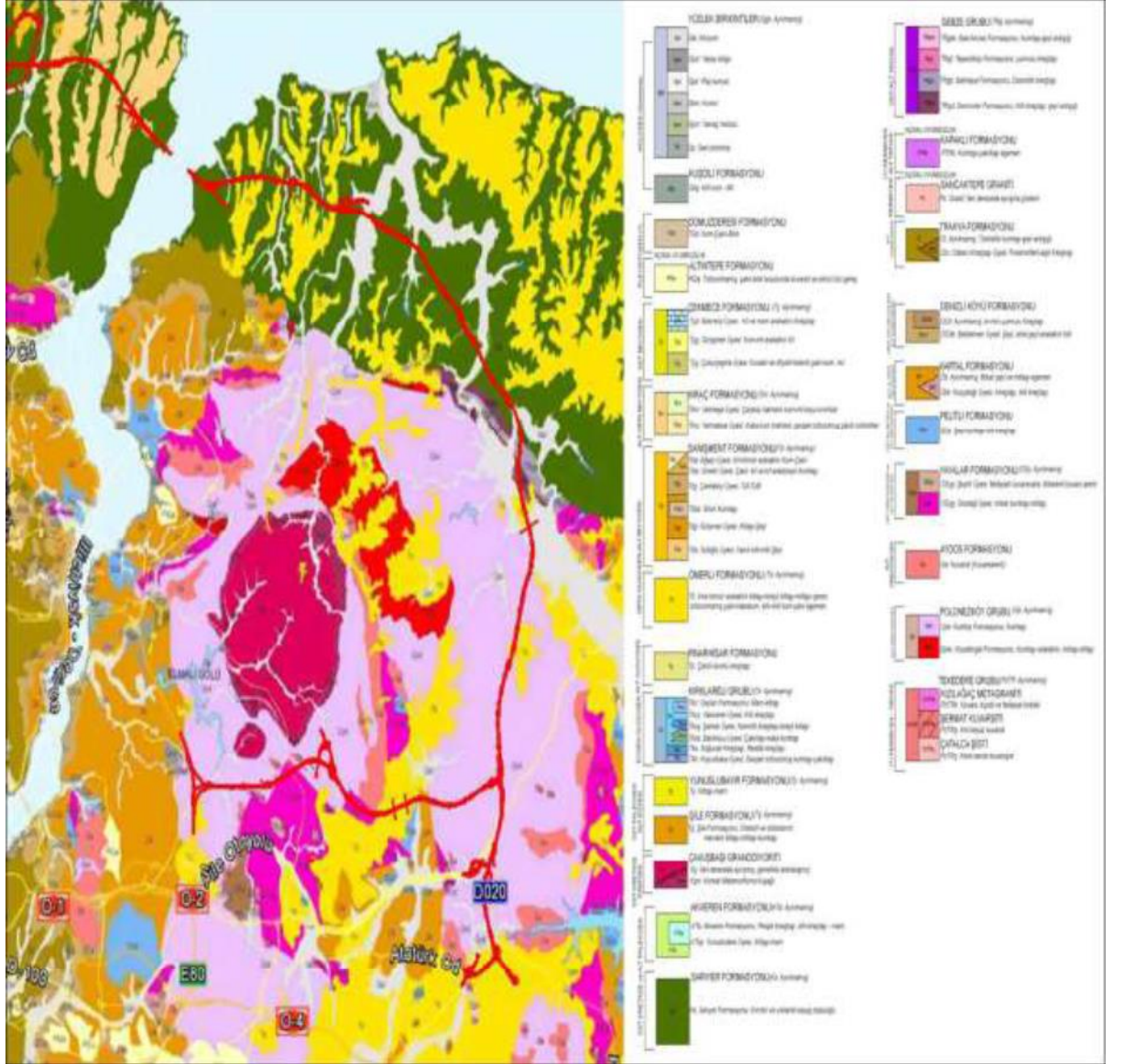


Şekil 4.5. Asya Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Şennazlı, 2012)

Y A Ş		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	FOSİL İÇERİĞİ
SENZOYİK	Eosen sonrası		Eosen ve sonrası çökeller	
	Paleosen A. Eosen			
MESOZYİK	Üst Kretase		Kretase çökelleri ve volkanikleri	
	Triyas		Triyas çökelleri	
PALEOZOYİK	Karbonifer		Trakya Fm. Kumtaşı-şeyl ardalanması üst kesimler kçt. çörtlü kçt seviyeli	Kireçtaşlarında bazı foraminiferler
			Baltalimanı Fm. Radyolaryalı çört	Radyolarya
	Devoniyen		Tuzla Fm. Yumrulu kireçtaşı	Konodont Ostrakod
			Kartal Fm. Fosilli şeyl	Brakyapod (Spirifer, Strophodonta, Strophomena, Atrypa, Orthis, Leptaena) Mercan (Pleurodictium, Halysites, Zaphrentis) Trilobit Notiloidler (Ortoseras, Cyrtoceras, Gyroceras)
	Silüriyen	magmatik sokulum kayaları	Dolayoba Fm. Fosilli kireçtaşı	Brakyapod, Mercan (Halysites, Favosites, Syringopora) Bryozoa (Fenestella) Krinoid sapları
			Gözdağ Fm. Laminalı şeyl, üst kesimlerde kuvarsit mercekleri	Brakyapod, Conularia, Graptolit
	Ordovisiyen	Permiyen Graniti	Aydos Fm. Kuvars arenitler	
Kurtköy Fm. Kumtaşı, konglomera, şeyl				
Prekambriyen			Metamorfik kayalar	

H.S. Akyüz

Şekil 4.6. Asya Yakasında Köprü Güzergahı Boyunca Alınan Jeolojik Kesit(Gedik, 2005)



Şekil 4.7. İstanbul Asya Yakası yüzey jeoloji haritası(Özgül, 2012)

4.3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olaydaki tüm veriler bileşenleri ile birlikte kayıt edilmiştir.

Bu Proje kapsamında yapılan patlatmalı kazılarda ; risk bölgeleri belirlenerek oluşturulan istasyon noktalarından elde edilen titreşim verilerinin incelenerek, yapılan patlatmaların risk teşkil edebilecek yapılarda oluşturduğu çevresel ve içsel etkilerin belirlenmesi ve zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ölçümleri alınan 288 olayla ilgili çalışma sahasındaki risk teşkil eden yapıların konumlarını gösteren Şekil 4.8 da verilmiştir. Saha içindeki ölçüm istasyonlarının koordinatları Tablo 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. şantiye birimlerine ait yapıların konumlarını gösteren resim

Tablo 4.1. İstasyon Noktaları Koordinatları

No	Y	X	Z
S-P-01	4563060	426153	76
S-P-02	4563016	426361	95
S-P-03	4562827	426371	115
S-P-04	4563107	426067	12
S-P-05	4563179	426112	12
S-P-06	4563001	426345	59
S-P-07	4562879	426457	72
S-P-08	426473	4562928	72
S-A-01	431873	4562172	69
S-A-02	434179	4561646	48
S-Ö-01	437807	4558812	110
S-Ö-02	437880	4558915	94
S-RE-01	438946	4546339	172
S-RE-02	439130	4546377	140
S-RE-03	439098	4546279	183
S-RE-04	439047	4546235	177
S-RE-05	439185	4547370	146
S-RE-06	439160	4547381	153
S-Ç-01	432147	4546483	190

4.4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olaydaki tüm veriler bileşenleri ile birlikte kayıt edilmiştir.

Yapılan patlatmaların etkileri birden fazla Instantel marka titreşim ölçer cihazlar yardımıyla belirlenen istasyon noktalarında ölçülmüştür (Şekil 4.3.). Titreşim ölçer cihazların kaya zemine yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Gerçekleştirilen ilk atımlarda, titreşim cihazların kurulduğu ölçüm noktalarında titreşimlerin ölçülen değerlerinde zemine bağlı farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıklar dikkatlice kayıt edilerek bütün çalışma kapsamında bu parametreler dikkate alınmıştır.

Tablo 4.2. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları

Atım No	Tarih	Saat	Enine (PVT) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Düşey (PVV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Boyuna (PVL) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	İstasyon No
001	03.07.2014	12:42	4,32	20	2,92	24	5,97	17,7	5,97	17,7	113,5	2980	50	0	0,00	S-P-08
002	08.07.2014	12:18	2,79	17,4	3,17	24	3,56	22	3,56	22	125,6	3100	45	0	0,00	S-P-08
003	09.07.2014	12:27	3,81	19,3	3,3	22	4,32	18,3	4,32	18,3	114,4	3700	40	0	0,00	S-P-08
004	11.07.2014	12:16	2,29	30	1,9	26	2,41	17,4	2,41	17,4	120	2850	40	0	0,00	S-P-08
005	15.07.2014	12:25	1,52	19,7	1,4	25	2,41	31	2,41	31	115,6	4020	40	0	0,00	S-P-08
006	19.07.2014	12:19	1,4	17,4	1,27	28	2,03	25	2,03	25	106	2880	40	0	0,00	S-P-08
007	22.07.2017	12:32	2,29	20	1,78	24	2,03	34	2,29	20	107,5	4600	50	0	0,00	S-P-08
008	25.07.2014	12:13	2,79	20	1,65	29	2,16	23	2,79	20	110,9	2580	45	0	0,00	S-P-08

Tablo 4.3. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları

No	İstasyon Noktalarının Yerleri
S-G-01	Sarıyer Deniz Er Eğitim Taburu Lumbarağzı Ön Bahçesi
S-G-02	Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü Büyük Liman Kaptan Lütfü Berk Kılavuzluk İstasyonu Ön Bahçesi
S-G-03	Rumeli Feneri Ön Bahçesi
S-G-04	Garipçe Şantiyesi Kuzey Şaftı
S-G-05	Garipçe Şantiyesi Güney Şaftı
S-G-06	Garipçe Şantiyesi IC-A Ortak Girişimi Ofisleri Ön Bahçesi
S-G-07	Garipçe Şantiyesi Mavi Yapı İnşaat A.Ş. Ofisleri Ön Bahçesi
S-G-08	Garipçe Şantiyesi Ana Elektrik Trafosu Arkası
S-G-09	Garipçe Şantiyesi IC-A Ortak Girişimi PMO Ofisleri Ön Bahçesi
S-G-10	Garipçe Şantiyesi IC-A Ortak Girişimi Beton Santrali Ön Bahçesi
S-P-01	Fil Burnu Deniz Feneri Ön Bahçesi
S-P-02	Poyrazköy Şantiyesi Helikopter Pisti Köşesi
S-P-03	Poyrazköy Şantiyesi Servis Yolu Kenarı
S-P-04	Poyrazköy Şantiyesi Güney Şaftı
S-P-05	Poyrazköy Şantiyesi Kuzey Şaftı

4.5. ÖLÇÜMLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olay kayıt edilmiştir. Yapılan patlatmalarda en az 2 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz, atım noktası ile risk unsuru yapı arasına yerleştirilerek kayıt alınmıştır.

Patlatmalarda oluşan titreşimler; x, y ve z düzlemleri olmak üzere 3 boyutta ölçülmüştür. 3 boyutta elde edilen bu veriler dalga türlerine göre ayrı ayrı analiz edilerek bölgedeki dalga yayılım karakteristikleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışılan sahaya özgü olan K, arazi katsayısı ile β , arazi sönümlenme katsayısı SPSS istatistik programı kullanılarak bulunmaya çalışılmıştır. İstatistik analizde %50 lik ortalama tahmin denklemi ile daha detaylı tahmin olanağı sağlayan %95 lik üst tahmin denklemleri belirlenmiştir.

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olaydaki kayaç içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı, deplasman, ivme ve frekans değerleri, kayıt cihazları ile tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçları bilgisayar destekli data değerlendirme ünitesine aktarılarak yorumlanmıştır. Atımlardaki kayıt alımlarında, parçacık hızının enine, boyuna ve dikey bileşenlerini ölçen ve bunların bileşkesi olan hız değerlerini veren 3 adet Instantel Mini Mate Plus (Seri No:, BE13743, BE13744, BE13745, BE13746) model titreşim ölçer cihazı; Garipçe Şantiyesi ve Poyrazköy Şantiyesi' nde yapılan atımlara yakın tesis ve binaların yanında seçilen ölçüm istasyonlarına yerleştirilmiştir. Yapılan patlatma çalışmalarında, kayıt alınan atımların parçacık hızları, hava şokları ve frekans değerleri ile patlayıcı madde miktarlarını ve ölçekli mesafe değerlerini içeren bilgileri, Tablo 4.5. de ayrıntılı olarak verilmiş.

4.5.1. Doğal Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olaydaki 80 tanesi doğal zemine (toprak yada kaya zemin) yerleştirilmiş titreşim ölçer cihazlardan elde edilmiştir. Dolayısıyla bu cihazlardan elde edilen kayıtlar, patlatmalardan dolayı doğal zeminde yayılan sismik dalgaların davranışlarını göstermektedir.

Patlatmalarda oluşan sismik dalgalar x, y ve z boyutta (düşey, enine, boyuna) kayıt edildiği için, elde edilen veriler her bir dalga türü için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca bu tür uygulamalarda en sık kullanılan yöntem olan maksimum parçacık hızı değerleri ve tüm dalga türleri için istatistiksel analiz yapılarak çalışılan sahaya özgü arazi katsayısı (K) ile arazi sönümlenme katsayısı (β) tespit edilmiştir.

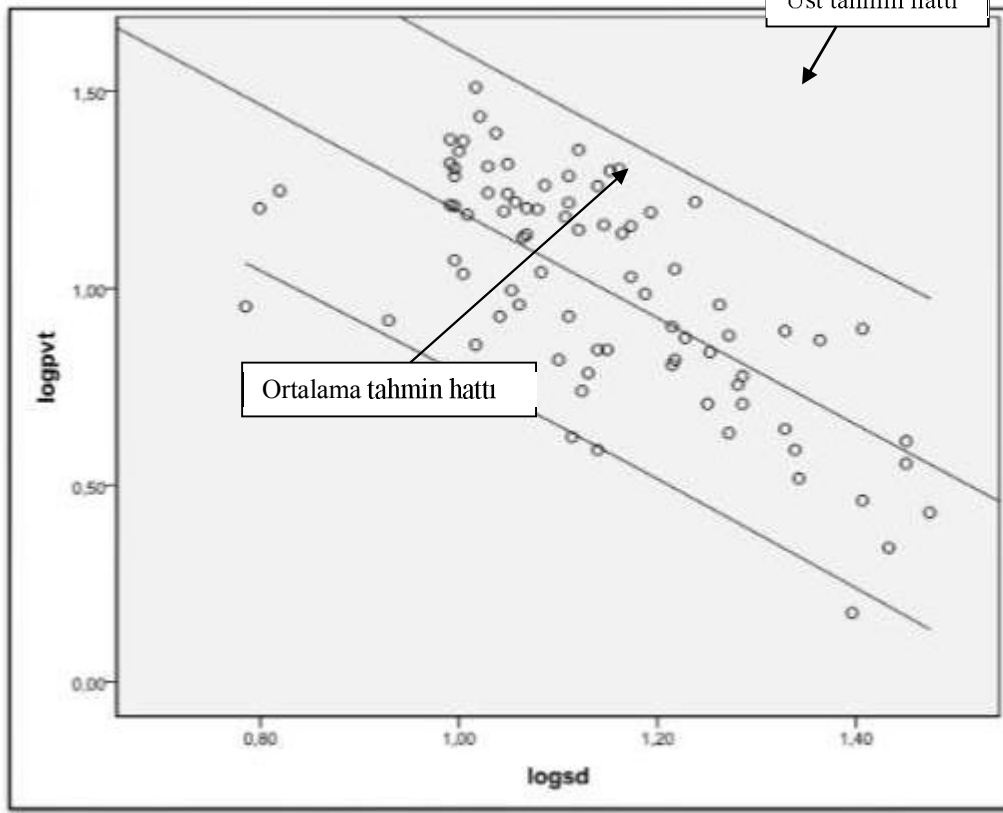
4.5.1.1. Doğal Zeminde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 80 olayın enine dalgaların (Transverse) maksimum hızları (PVT) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVT = 191,94 \times SD^{-0,826} \quad (r = 0,62) \quad (4.1)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVT = 405,18 \times SD^{-0,826} \quad (r = 1) \quad (4.2)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %70 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Doğal Zeminde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

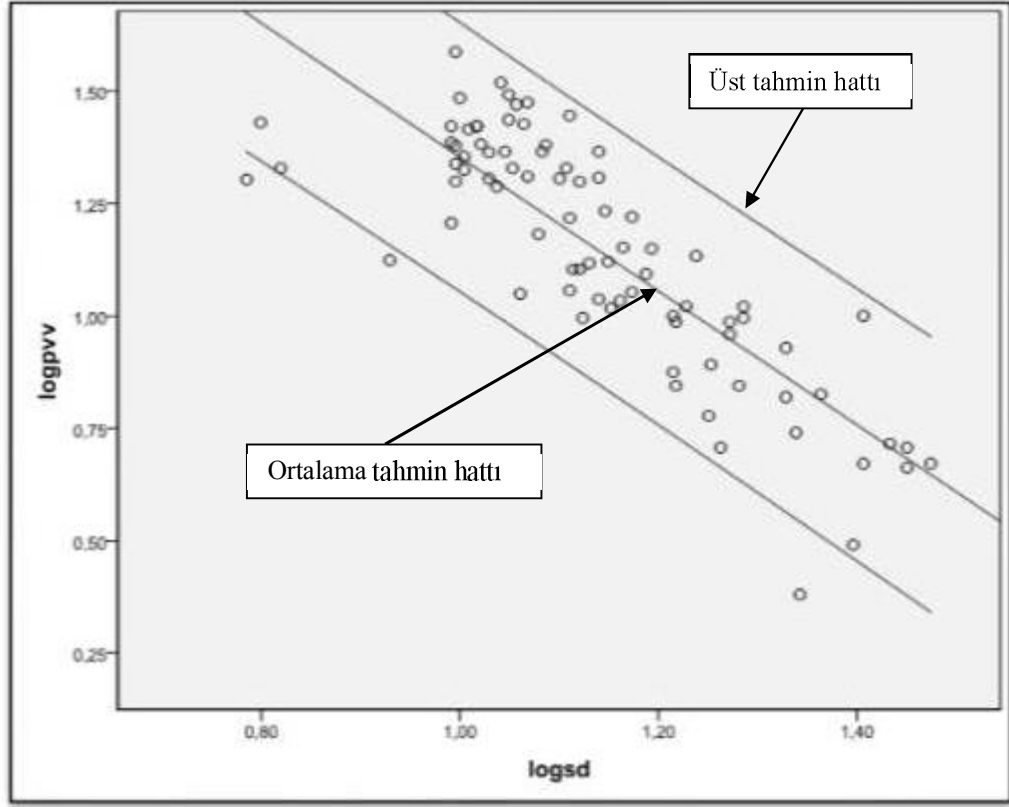
4.5.1.2. Doğal Zeminde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Araştırma kapsamında doğal zeminde oluşturulan istasyonlardan elde edilen toplam 80 adet atımda kayıt edilen düşey dalgaların (vertical) maksimum hızları (PVV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVV = 80,63 \times SD^{-1,124} \quad (r = 0,73) \quad (4.3)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVV = 254,27 \times SD^{-1,124} \quad (r = 1) \quad (4.4)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %83 lük korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.10.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Doğal Zeminde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

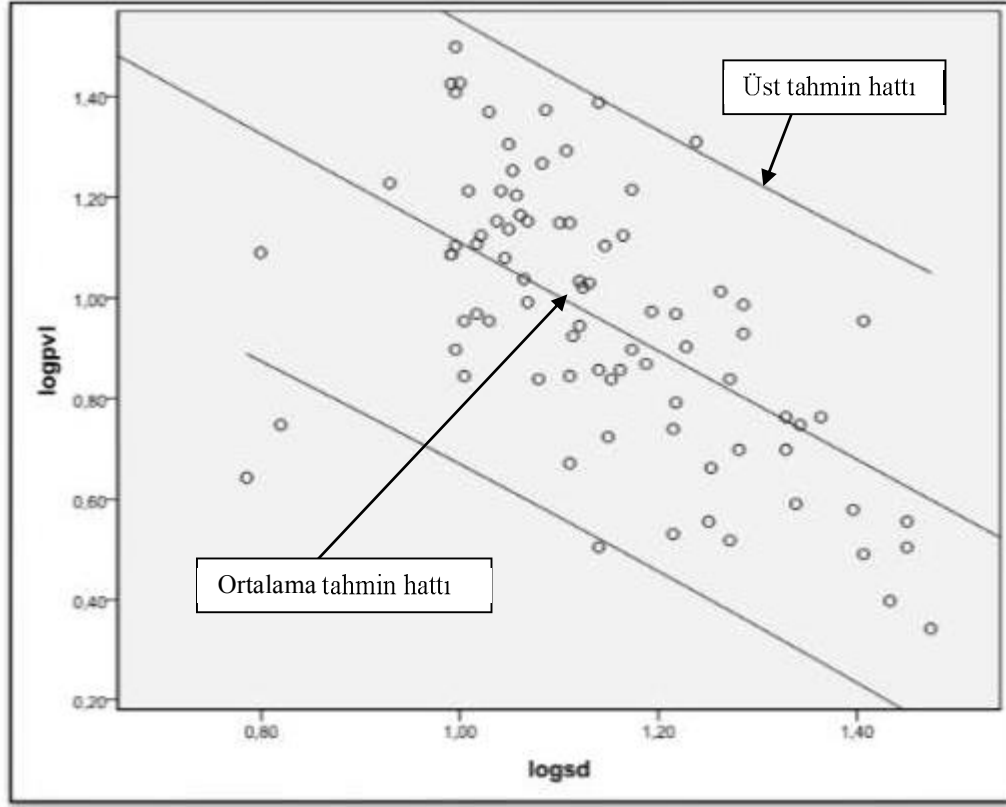
4.5.1.3. Doğal Zeminde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 80 olayın boyuna dalgaların (Longitudinal) maksimum hızları (PVL) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVL = 103,33 \times SD^{-0,792} \quad (r = 0,77) \quad (4.5)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVL = 387,42 \times SD^{-0,792} \quad (r = 1) \quad (4.6)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %59 luk korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Doğal Zeminde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

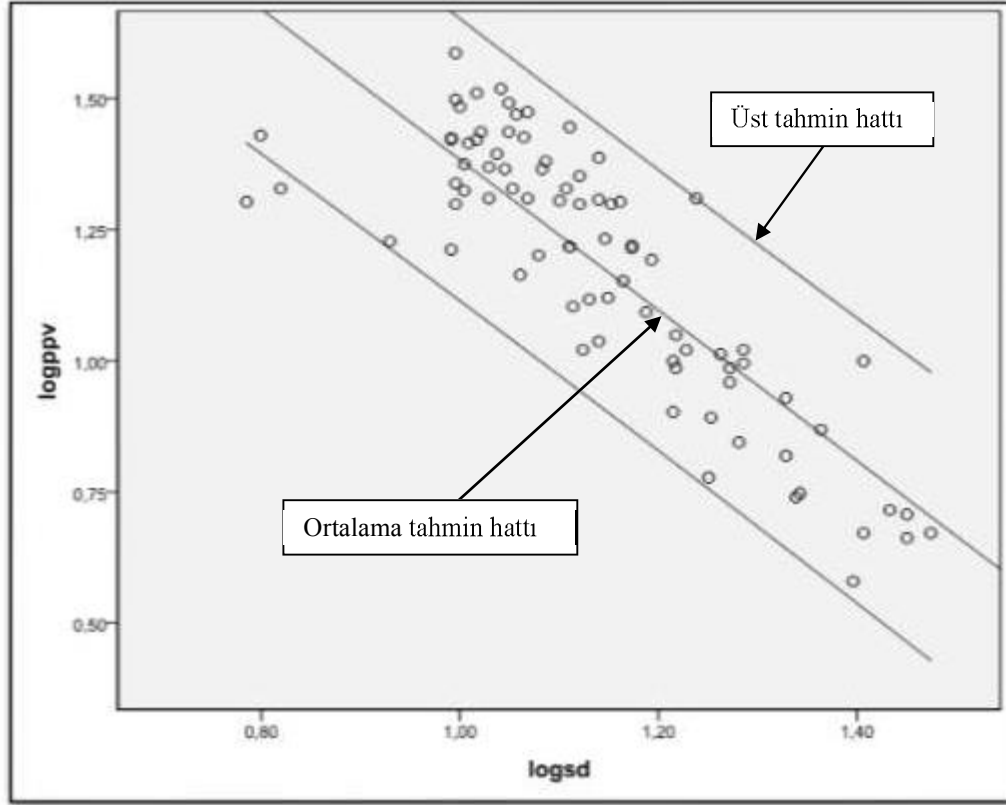
4.5.1.4. Doğal Zeminde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 80 olaya ait tüm dalga türlerinde elde edilen maksimum parçacık hızları (PPV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemini} \quad PPV = 226,87 \times SD^{-1,149} \quad (r = 0,80) \quad (4.7)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemini} \quad PPV = 725,11 \times SD^{-1,149} \quad (r = 1) \quad (4.8)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %85 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.

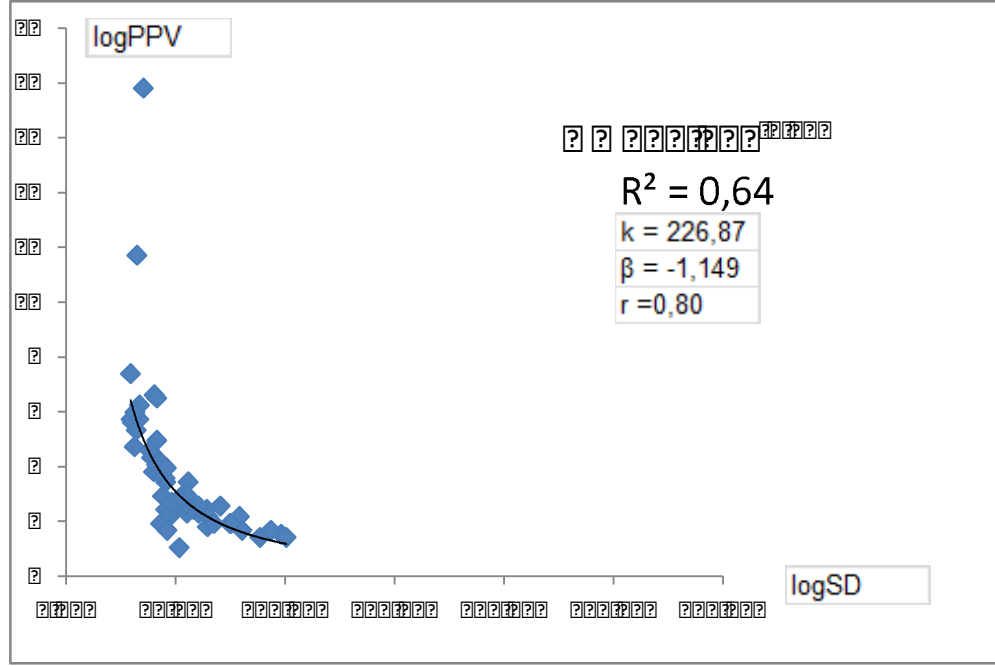


Şekil 4.12. Doğal Zeminde PPV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

Doğal zeminlerde oluşturulmuş istasyon noktalarında, patlatma sonucunda oluşan titreşim değerleri 3 boyutta (enine- boyuna- düşey) kayıt edilmiştir. Bu kayıtlar dalga türlerine göre ayrılarak her bir dalga türü için sahaya ait K ve β katsayıları tespit edilerek titreşim tahmin bağıntıları %50 lik ve %95 lik tahmin hatlarına göre 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6 da verilmiştir. Ayrıca tüm dalga türleri değerlendirilerek oluşan maksimum parçacık hızları değerlendirilerek, sahaya ait K ve β zemin parametreleri tespit edilerek %50 lik ve %95 lik tahmin denklemleri sırasıyla 4.7 ve 4.8 nolu bağıntılarda verilmiştir.

4.5.2. Elde Edilen Tahmin Denklem Ve Yaklaşımları

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olay; titreşim cihazlarının ölçtüğü dalga türlerine göre (x,y,z) ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 4.4' da ve Şekil 4.13. 'de ki değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Doğal Zeminde PPV ve Ölçekli Mesafe arasındaki k , β ve r İlişkisi

Tablo 4.4. İstatiksel Analizle Elde Edilen Arazi Katsayıları

İstasyon Noktası Türü	Dalga Türü	Tahmin Hattı	K	β	Korelasyon Katsayısı (r)
Doğal Zemin	Enine (PVT)	%50	191,94	-0,826	0,62
		%95	405,18		1
	Düşey (PVV)	%50	80,63	-1,124	0,73
		%95	254,27		1
	Boyuna (PVL)	%50	103,33	-0,792	0,77
		%95	387,42		1
	Maksimum Parçacık Hızı (PPV)	%50	226,87	-1,149	0,80
		%95	725,11		1

Değerler incelendiğinde bu sahada yapılacak patlatmalarda oluşabilecek titreşimleri tahmin edebilmek için, literatüre uygun olarak sadece doğal zeminlerde oluşturulan istasyonlarda ki maksimum parçacık hızlarından elde edilen parametrelerin kullanılabilceği anlaşılmıştır (Kahrıman, 2001).

4.5.3. Atımların Hasar Riski Değerlendirmesi

Instantel cihazların kaydettiği titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla; ölçüm parametreleri dikkate alınarak uluslararası USBM, Alman DIN 4150 ve T.C.

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normlarına göre değerlendirilmiştir.

Yapılan patlatmalarda gecikme başına düşen patlayıcı miktarının; kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımları T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normlarına göre, 1–11 Hz değer aralığında bir kayda rastlanmamış ve kaydedilen 80 olaya ait titreşim frekansları değerlerinin, %100'ü ise 12 Hz'den yüksek olmuştur

Ölçülen titreşim frekanslarının yüksek olması, genel olarak 5–10 Hz. düzeyinde olan yapıların öz yapısal frekanslarıyla karşılaştırıldığında, rezonans riskinin minimum düzeyde olacağını göstermektedir. Bu projenin yol güzergahında yerleşim birimlerinin olmasından dolayı, bu değerlerin her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır.

4.6. RİSK ANALİZİ

Bu çalışma kapsamında, ICA İçtaş-Astaldi Adi Ortaklığı' nin yüklenicisi bulunduğu "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Odayeri-Paşaköy Kesimi" Asya Yakası Beykoz, İlçesindeki patlatmalı kazı uygulanacak bölgelerde patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır.

Patlatmalı kazı faaliyetleri sürdürülen sahada, karşılaşılan kaya birimlerinin sert ve sağlam yapısı dolayısıyla patlatmalı kazı zorunluluğu doğmuştur. Patlatmanın kaçınılmazlığı, söz konusu şirketin proje için yaptığı arazi ve laboratuvar deneyleriyle de teyit edilmiştir.

Araştırma kapsamında; çalışılan sahadaki patlatmalı kazıda, atımlarda uygulanan patlatma paternleri, delik düzenleri ve patlayıcı şarjları; sistematik olarak uygulana gelen şekliyle gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalara uygulanmıştır.

Tablo 4.5. Alman DIN 4150 Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları

Mesafe (m)	Eski ve Tarihi Binalarda Hasar Oluşturmadan Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde Miktarı (W) (kg)		Betonarme Binalarda Hasar Oluşturmadan Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde Miktarı (W) (kg)			Endüstriyel Yapılarda Hasar Oluşturmadan Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde Miktarı (W) (kg)			
	0-10 Hz (3 mm/s)	10-50 Hz (8 mm/s)	50-100 Hz (10 mm/s)	0-10 Hz (5 mm/s)	10-50 Hz (15 mm/s)	50-100 Hz (20 mm/s)	0-10 Hz (20 mm/s)	10-50 Hz (40 mm/s)	50-100 Hz (50 mm/s)
5	0,01	0,02	0,03	0,01	0,05	0,08	0,08	0,21	0,29
6	0,01	0,03	0,04	0,02	0,08	0,12	0,12	0,31	0,42
7	0,01	0,04	0,06	0,02	0,11	0,16	0,16	0,42	0,57
8	0,01	0,06	0,08	0,03	0,14	0,21	0,21	0,55	0,75
9	0,02	0,07	0,10	0,04	0,18	0,26	0,26	0,69	0,95
10	0,02	0,09	0,12	0,05	0,22	0,33	0,33	0,86	1,17
11	0,03	0,11	0,15	0,06	0,26	0,39	0,39	1,04	1,42
12	0,03	0,13	0,18	0,07	0,31	0,47	0,47	1,23	1,69
13	0,04	0,15	0,21	0,08	0,37	0,55	0,55	1,45	1,98
14	0,05	0,18	0,24	0,09	0,43	0,64	0,64	1,68	2,29
15	0,05	0,20	0,28	0,11	0,49	0,73	0,73	1,93	2,63
16	0,06	0,23	0,32	0,12	0,56	0,83	0,83	2,19	3,00
17	0,07	0,26	0,36	0,14	0,63	0,94	0,94	2,48	3,38
18	0,07	0,29	0,40	0,15	0,71	1,06	1,06	2,78	3,79
19	0,08	0,33	0,45	0,17	0,79	1,18	1,18	3,09	4,22
20	0,09	0,36	0,50	0,19	0,87	1,30	1,30	3,43	4,68
23	0,12	0,48	0,66	0,25	1,15	1,72	1,72	4,54	6,19
25	0,14	0,57	0,78	0,29	1,36	2,04	2,04	5,36	7,31
30	0,21	0,82	1,12	0,42	1,96	2,93	2,93	7,72	10,53
35	0,28	1,11	1,52	0,58	2,67	3,99	3,99	10,50	14,34

$$PPV=226,87*SD^{-1,149}$$

Tablo 4.6. USBM Normu ve Türk Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları

Mesafe (m)	Kullanılan Yaklaşım	Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde Miktarı (0-40 Hz Frekans Saahip Hızlar İçin) (W)		Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde Miktarı (40 Hz'den Büyük Frekansa Sahip Hızlar İçin) (W) (kg)
		(12,7 mm/s)	(19 mm/s)	
5	PPV=226,87*SD ^{-1,149}	0,04	0,08	0,29
6		0,06	0,11	0,42
7		0,08	0,15	0,57
8		0,11	0,19	0,75
9		0,14	0,25	0,95
10		0,17	0,30	1,17
11		0,21	0,37	1,42
12		0,25	0,44	1,69
13		0,29	0,51	1,98
14		0,34	0,59	2,29
15		0,39	0,68	2,63
16		0,44	0,78	3,00
17		0,50	0,88	3,38
18		0,56	0,98	3,79
19		0,62	1,10	4,22
20		0,69	1,21	4,68
23	0,92	1,61	6,19	
25	1,08	1,90	7,31	
30	1,56	2,73	10,53	
35	2,12	3,72	14,34	

Bu projede yapılan patlatmalı kazılardan elde edilen verilerden yararlanılarak titreşim aletinin kullanılmadığı zamanlarda veya patlatma tasarımı esnasında Tablo 4.5. ve Tablo 4.6. de ki gecikme başına düşen patlayıcı miktarları kullanılabilir.

Otoyol güzergahındaki patlatma sahalarının riskli yapılara yaklaştığı en fazla mesafe 35 m. olarak ölçülmüştür. Riskli bölgelere ortalama uzaklık ise 180 m. dir. Patlatmalarda oluşan titreşimlerin frekansları genellikle 50 Hz üzerinde ölçülmüştür.

Yol güzergahında çevreye hasar vermeden patlatmalı kazı yapabilmek için katı limitlere sahip olan Alman DIN 4150 Normuna göre patlatma sahasında risk noktalarına yaklaşılacak en fazla 35 m mesafede gecikme başına 3,99 kg patlayıcı madde kullanılabilir. Diğer yandan USBM ve Türk Normu hasar limitlerine göre ise 35 m. mesafede gecikme başına 3,72 kg patlayıcı madde kullanılabilir.

Proje kapsamında, patlatmalı yol kazıları süresince gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı 250 kg. dir. Kullanılan bu patlayıcı miktarıyla, çevre yapıların ve oluşan dalgaların özellikleri (betonarme, genellikle 50 Hz üzeri) gözetilerek Alman DIN 4150, USBM ve Türk Normları hasar kriterlerine göre, risk noktası yapılara yaklaşılacak maksimum mesafeler Tablo 4.7. da verilmiştir.

Tablo 4.7. Çalışmada kullanılan patlayıcı miktarına göre risk noktalarına yaklaşılacak maksimum mesafeler

Patlayıcı Miktarı (kg)	Yaklaşılacak Mesafe (m)		
	Alman DIN 4150 Normuna Göre (20 mm/s)	USBM Normuna Göre (50 mm/sn)	Türk Normuna Göre (50 mm/sn)
250	136	58	58

Tablo 4.7. dan anlaşılacağı üzere, gecikme başına 250 kg patlayıcı kullanılarak hasar oluşturmayacak şekilde en yakın risk noktası olan yapılara; Alman DIN 4150 Normuna göre 136 m., USBM ve Türk Normuna göre ise 58 m. mesafeye kadar yaklaşılabilir.

Yapılan risk analizine göre yol kazılarında kullanılan patlayıcı miktarı ile riskli bölgelere yaklaşılacak en yakın mesafe olan 35 m; USBM ve Türk Normu ve Alman DIN 4150 Normu kriterinin betonarme yapılar (0-40 Hz titreşimler için) için belirttiği sınır değerlere göre uygun değildir. USBM ve Türk Normlarına göre 58 m. den, Alman DIN

4150 Normuna göre riskli bölgelere 136 m. den fazla yaklaşıldığı atımlarda yapılarda hasar gözlelenebilir.

4.7. TÜRETİLEN FORMULÜN KARŞILAŞTIRILMASI

3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Proje' si kapsamında yapılan patlatmalı yol kazılarında elde edilen en iyi korelasyona sahip titreşim verilerinden ($r=0,80$) literatürde benzer zemin formasyonu ve birimlerinden (Dolayoba Formasyonu) elde edilen formüllerle karşılaştırılmıştır. Literatürden, Dolayoba Formasyonu için sadece % 50 lik ortalama tahmine ulaşılabilirdiği için, sadece ortalama tahmin formülleri karşılaştırılmıştır. Tablo 4.8. de verilen karşılaştırmaya göre çalışmada elde edilen eşitliğin literatürdeki eşitliğe göre daha esnek limitlerde patlayıcı kullanımına olanak sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.8. Çalışmadan Türetilen Formülle Literatürde Yer Alan Formüllerin Karşılaştırılması

Mesafe (m)	Parçacık Hızı (mm/s)	Çalışma Kapsamında Elde Edilen Eşitliğe Göre Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarı (kg) PPV= $226,87 * SD^{1,149}$	Literatür Eşitliğine Göre Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarı (kg) (Özer, 2007) PPV= $1133,6 * SD^{-1,501}$
10	19	1,33	0,43
20		5,3	1,72
30		12,1	3,87
40		21,4	6,89
50		33,5	10,76

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında, “3.BOĞAZ KÖPRÜSÜ VE KUZEY MARMARA OTOYOLU PROJESİ” inşaatında inşaatında Asya yakasında köprü ayakları temel şaftları ve portal yapıları, Back span yapısı ve Ankraj bloğunda patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır. Yapılan patlatma çalışmaları sırasında, titreşim ölçer

cihazı ile alınan titreşim kayıtlarından elde edilen veriler ışığında ortaya çıkan sonuçlar ve bu sonuçlardan elde edilen bulgulara dayalı olarak gelecekte yapılacak faaliyetlerde dikkate alınması gerekli görülen bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır.

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında gerçekleştirilen patlatmalı kazılarda ; 96 adet atıma ait 288 adet olay değerlendirilmiştir.

Bu tip projelerde patlayıcı kullanımı sayesinde çok hızlı ilerlemeler sağlanmaktadır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde, hatta gelecekte de patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu bilinmelidir. Bu yüzden; patlamadan kaynaklanan çevre etkilerinin belirlenmesine yönelik yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde patlayıcı kullanımı ile bir çok mevzuat ve bilgi eksikliği vardır. Bu nedenle, benzer çalışmaların yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterleri elde edebilmek için üniversite ile patlatmalı kazı çalışmalarını yürüten gerek özel sektör, gerekse devlet kuruluşları arasında ciddi ilişkiler kurulmalıdır.

ICA İçtaş-Astaldi Adi Ortaklığı' nin yüklenicisi bulunduğu "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Odayeri-Paşaköy Kesimi" Asya Yakası Beykoz ilçesi civarında gerçekleştirilen patlatma çalışmalarında titreşim ölçer cihazları ile alınan titreşim kayıtlarından elde edilen veriler ışığında ortaya çıkan sonuçlar ve bu sonuçlardan elde edilen bulgulara dayalı olarak gelecekte yapılacak faaliyetlerde dikkate alınması gerekli görülen bazı öneriler aşağıdaki gibi olmuştur.

Çalışma alanlarında egemen olan kaya birimlerinde patlatmalı kazının teknik ve ekonomik nedenlerle kaçınılmaz olduğu, söz konusu gurubun proje için yaptığı arazi ve laboratuvar deneyleri ve araştırma ekibinin gözlemleriyle anlaşılmıştır.

Patlatmalarda gerçekleştirilen atımlarda 3 adet Instantel Mini Mate Plus titreşim ölçer ekipmanı kullanılarak titreşim parametreleri kaydedilmiştir.

Ölçüm istasyonu seçiminde, yapılan atımlara yakın tesis ve binaların yanları bilinçli bir şekilde seçilmiştir.

Titreşim ölçerlerle ölçülen maksimum parçacık hızları ve frekansları, Cihazlar tarafından kaydedilen toplam "96 adet atıma ait 288 adet olay" kayıtının T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normuna göre alınmış çıktıları EK 1' de sunulmuştur.

Titreşim ölçerlerle kaydedilen maksimum parçacık hızları dikkate alınarak T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği' ne göre yapılan mukayesede, atımların, çevredeki bina ve tesislerde herhangi bir hasar oluşturabilecek seviyelerde olmadığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, güzergah çevresindeki yapıların varlığı dikkate alınarak, atımlar ölçüm esaslı sürdürülmeli, gerek patlatma verimliliği, gerekse ilerleme hızı açısından optimum şartları elde etmek için gerekli çabalar gösterilmeye devam edilmelidir.

Kaydedilen olaylarda ortaya çıkan frekans değerleri, uluslararası sınıflamada yüksek kabul edilen 40 Hz' in genelde çok üzerinde olmuştur. Ölçülen titreşim frekanslarının çok yüksek olması, genel olarak 5-10 Hertz düzeyinde olan yapı öz yapısal frekanslarıyla karşılaştırıldığında, rezonans riskinin minimum düzeyde olacağını göstermektedir. Ancak, söz konusu inşaatın çok yakınında tesis ve yerleşim birimlerinin olmasından dolayı, bu değerlerin, her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır.

Bugüne kadar yapılan atımlarının çevredeki bina ve yapılara hasar vermemiş olması, konuyla ilgili elemanların tedbiri elden bırakmalarına neden olmamalı, aksine atımlar daha dikkatli tasarlanmalı ve özenle uygulanmalıdır.

İlerleme yapılan kaya ortamında, gerek verimlilik gerekse kaya davranışlarındaki muhtemel değişikliklerin dikkate alınarak patlatmalı kazının kaçınılmaz olacağı hususu gözden uzak tutulmamalıdır.

Ayrıca proje ilerleme hızının ve atım güvenlik ve verimliliğinin daha da artırılabilmesi için, atım organizasyonunun, sürekli bir şekilde titreşim ölçüm sonuçları ve önceki atım verileri dikkate alınarak gözden geçirilmesi ve olanak varsa rehabilitasyonunun sağlanması yararlı olacaktır.

Delik delme işleminde ve şarjında gerekli hassasiyet mutlaka artan şekilde gösterilmelidir.

Sıkılama uygun malzeme ile mutlaka usulüne uygun olarak yapılmalıdır.

Sonuç olarak; ICA İçtaş-Astaldi Adi Ortaklığı' nin yüklenicisi bulunduğu "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Odayeri-Paşaköy Kesimi" Asya Yakası Beykoz İlçesindeki patlatmalı kazı faaliyetleri sürdürülen güzergahta, ölçülen atımlar sırasında, patlatmadan kaynaklanarak kayaç içinde oluşan titreşimlerin ve hava

şoklarının, ölçü alınan noktalar itibariyle çevrede bulunan yapılarda hasar oluşturma riski açısından etkili olamayacağı anlaşılmaktadır.

Ancak bu riskin, başarısız ya da uygun olmayan tasarımlar sonucunda var olabileceği de unutulmamalıdır. Keza başarısız tasarımların uygulandığı durumlarda, yakındaki yerleşim birimlerinde veya söz konusu firmanın inşaat güzergahındaki yapı ve personeline yönelik istenmeyen mal ve can kayıplarının da söz konusu olabileceği göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca, bu tür çalışmalarda, kontrollü atım tasarımlarının ve kayıt cihazı kullanımının önemi, özellikle ihtilafli durumların çözümünde gözden uzak tutulmamalıdır.

3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesi' nin çok yakınında yerleşim birimlerinin olmasından dolayı, bu değerlerin her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

ANON, 2010, *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

ARPAZ, E., 2000, *Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

BARUTSAN A.Ş., 1995, 1997, 'Ürün Kataloğu', Ankara.

BAUER, A., CALDER, P.N., 1977; *Pit Slope Manual*, Chapter 7, Canmet Report 77-14.

BİLGİN, H.A, 1986; *Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarımı*, TKİ Genel Müdürlüğü Yayım, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Seminerleri, Seminer No: 2, Ankara.

BİLGİN, H. Ve PAŞAMEHMETOĞLU, A.G,1986 , 'Kayaların Delinebilirlikleri ve Patlatılabilirlikleri Üzerine Bir Çalışma ' 1.Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu,Ankara

CEYLANOĞLU, A., KAHRİMAN, A., DEMİRCİ, A., 1993; *Delme-Patlatmanın Önemi, Kullanıldığı Alanlar ve Maden Mühendisliği ile İlgisi*, 1. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, Ankara, 127-138.

COŞKUN,O., 2001 'Patlayıcı maddelerle kazı tasarım parametrelerinin incelenmesi 'Yüksek lisans Tezi İ.T.Ü. ,İstanbul

DICK, R.A., et. all., 1983, *Explosives and Blasting Procedures Manual*, USBM, USA.

DOWDING, C.H., 1985, *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.

ERKOÇ, Ö.Y., 1990 ,' Kaya Patlatma Tekniği '

GEDİK, İ., TİMUR, E., DURU, M., PEHLİVAN, Ş., 2005. MTA 1:50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, İstanbul F-23d Paftası, Ankara.

GOOGLE EARTH, 2013, Google Inc., CA, USA.

GUPTA, R.N., ROY, P.,P., SINGH, B., 1988, On a Blast Induced Blast Vibration Predictor for Efficient Blasting, *Safety in Mines Research Proceedings of The 22nd International Conference of Safety in Mines Research Institutes*, Editor:Dai Guoquan, 1015-1021

GUSTAFSSON, T., 1973, Swedish Blasting Technique, *Barutsan Dergisi*, Sayı:3, Ankara.

HOEK, E., BRAY, J.W., 1991, *Kaya Şev Stabilitesi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.) Ankara.
INSTANTEL INC., 1993, *Blastmate Series II User Manual*, Canada.

ISRM, 1992, *Suggested Method for Blast Vibration Monitoring*, International Society for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods, Edited By The Secretariat In Lisbon, USA., 145-156.

JIMENO, C.L., JIMENO, E.L., CARCENDO, F.J.A, 1995, *Drilling and Blasting of Rocks*, AABalkema, Rotterdam, Brookfield.

KAHRİMAN, A., GÖRGÜN, S., TUNCER, G., KARADOĞAN A.K., Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Kentsel Yerleşim Alanlarına Etkileri ve Alınacak Önlemler, Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu, 19-21 Kasım 1998, İstanbul.

KAHRİMAN, A., 2003, *Patlatma Mühendisliği Ders Notları*, İ.Ü. Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

KAHRİMAN, A., 2001, Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting for an Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, *Mineral Resources Engineering*, Imperial College Pres, 10(2), 205-218.

KAHRİMAN, A., GÖRGÜN, S., KARADOĞAN, A., TUNCER, G., 2001b, Attenuation of Ground Vibration Induced by Blasting at Can Open - Pit Lignite Mine in

KAHRİMAN, A., CEYLANOĞLU, A., DEMİRCİ, A., 1996, Sivas-Ulaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, *II. Delme Patlatma Sempozyumu*, Ankara.

KARADOĞAN, A., 2008, *Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KONYA C.J., WALTER, E.J., 1991, *Rock Blasting and Overbreak Control*, NHI Course No:13211, US Department of Transportation, Virginia, USA.

KONYA, C.J., WALTER, E.J., 1990, *Surface Blast Design*, New Jersey, USA.

NICHOLLS, H.R, JOHNSON, C.F., DUVALL, W.L, 1971, Blasting Vibrations and Their Effects on Structure, *United States Department of Interior, USBM*, Bulletin 656.

OLOFSSON, S.O., 1988, *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Sweden.

Orica- Nitro Ürün Kataloğu, Powergel Magnum 365 (13.09.2013) http://www.oricanitro.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=58

Orica- Nitro Ürün Kataloğu, Exel Kapsül (13.09.2013) http://www.oricanitro.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=65

OSM, 1983, Rules and Regulations, *Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement*, 46, USA.

ÖZER, Ü. 1995 ve ANIL, M., 1996 ‘Delme Patlatma Tasarımı için Kullanılan Bazı Yaklaşımların Ampirik olarak incelenmesi’, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, M.M.O. yayını , Ankara.

ÖZGÜL, N., v.d, 2012. İstanbul İl Alanının Jeolojisi, İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.

ÖZKAHRAMAN, H. T., 1994, ‘Critical Evaluation of Blast Design Parameters for Discontinous Rocks by Blasting’ , Ph.D. Thesis METU ,Ankara

SCHILLINGER, R. 2006, The State of Human Annoyance at Blasting Works in Accordance with Environmental Conditions under Inclusion of Standards, *Proceedings of The Thirty – Second Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 29 January – 1 February, Dallas, Texas, USA. 135-148.

SISKIND, D.E., STAGG, M.S., KOPP, J.W., DOWDING, C.H., 1980, *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting*, USBM, RI8507.

SPSS, Statistical Software, SPSS 11.5 for Windows.

ŞENNAZLI, N., UYSAL, S., ŞİMŞEK, O., 3. Boğaz Köprüsü Yeri Jeolojik-Hidrojeolojik Mühendislik Jeolojisi Etüt Raporu, Kasım 2012, İstanbul.

ŞERAN, O. ve AKAY, T., 1999, “Açık ocaklarda delme patlatma tasarımı ve Türkiye Kömür İşletmeleri Çan Linyitleri İşletmesinin delme patlatma etüdü”, Bitirme Projesi, İ.Ü. Mühendislik fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

TAMROCK, (1984), *Handbook of Surface Drilling and Blasting*, Painofaktorit, Finland.

TOSUN, s., 1991, ‘Madencilikte Patlatılacak Ortama Uygun Patlayıcı madde Seçimi’, Madencilik Dergisi.

YAGANOGLU, A., ALTAN A., 1993, Patlatma Sonucu Oluşan Titreşimlerin İzlenmesi ve Analizi, 1. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, 99-119.

EKLER

EK-A.

TOPRAK YADA KAYA ZEMİNDE KURULAN İSTASYONLARDAN ALINAN KAYITLARI

Atım No	Tarih	Saat	Enine (PVT) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Düşey (PVV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Boyuna (PVL) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Max. Parçacık Hızı (PPV)	Frekans (mm/s)	Frekans (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Başına Toplam Şarj (W)	Mesafe (R) (m)	Ölçü Mesafe (SD)	İstasyon No	Çihaz No	Atım Noktasının Koordinatları		Yatay mesafe	
																			Y	X		Z
1	07.12.2012	12:55	17,7	28,0	21,3	114,0	5,6	171,0	21,3	114,0	*	*	40	2,6	10,6	6,6	S-06-07	19013	422336,6	4542703,6	102,4	4,98
3	17.12.2012	13:33	9,0	128,0	20,1	102,0	4,4	171,0	20,1	102,0	*	*	40	2,6	9,9	6,1	S-06-07	19013	422336,7	4542707,8	102,0	2,04
5	18.12.2012	14:04	16,0	41,0	26,9	114,0	12,3	200,0	26,9	114,0	*	*	60	2,6	10,1	6,3	S-06-07	19013	422336,8	4542709,4	101,9	2,39
8	22.12.2012	11:09	5,7	43,0	7,0	93,0	5,0	38,0	7,0	93,0	127,7	124,9	70	2,6	30,8	19,1	S-06-05	19013	422337,0	4542712,5	101,7	28,58
9	24.12.2012	12:52	5,1	114,0	6,0	102,0	3,6	102,0	6,0	102,0	124,9	124,9	70	2,6	28,8	17,8	S-06-05	19013	422337,2	4542715,0	101,6	26,28
10	25.12.2012	14:17	8,3	57,0	13,3	45,0	16,9	57,0	16,9	57,0	121,9	121,9	80	2,6	13,7	8,5	S-06-07	19013	422337,2	4542717,0	101,5	9,15
			7,5	85	10,5	102	8,0	79,0	10,5	102	*	*	80	2,6	27,3	16,9	S-06-05	19015	422337,2	4542717,0	101,5	24,56
12	28.12.2012	11:36	10,7	85,0	11,3	49,0	16,4	54,0	16,4	54,0	121,9	121,9	80	2,6	24,1	14,9	S-06-05	19013	422337,6	4542721,2	101,3	20,84
13	29.12.2012	11:26	19,9	60,0	10,4	45,0	6,9	128,0	19,9	60,0	122,6	122,6	80	2,6	22,9	14,2	S-06-05	19013	422337,8	4542723,0	100,9	19,29
14	31.12.2012	13:04	16,5	45,0	11,4	38,0	4,7	68,0	16,5	45,0	122,4	122,4	80	2,6	20,9	12,9	S-06-03	19015	422338,0	4542724,9	101,2	16,24
15	02.01.2013	13:20	20,1	60,0	10,8	60,0	7,2	64,0	20,1	60,0	119,0	119,0	80	2,6	23,4	14,5	S-06-03	19013	422338,5	4542728,7	95,6	13,92
17	05.01.2013	11:12	7,0	146,0	13,2	128,0	5,3	146,0	13,2	128,0	114,2	114,2	80	2,6	22,7	14,1	S-06-03	19015	422338,8	4542731,5	95,6	12,77
18	07.01.2013	10:52	3,9	171,0	10,9	73,0	3,2	64,0	10,9	73,0	120,1	120,1	80	2,6	22,3	13,8	S-06-03	19015	422339,3	4542734,9	95,6	12,12
19	07.01.2013	16:28	7,0	128,0	20,3	146,0	7,2	60,0	20,3	146,0	88,0	88,0	80	2,6	22,3	13,8	S-06-03	19015	422339,3	4542734,9	95,6	12,12
23	11.01.2013	13:45	14,4	171,0	16,6	114,0	7,9	73,0	16,6	114,0	88,0	88,0	80	2,6	24,0	14,9	S-06-03	19014	422340,8	4542743,8	95,6	14,96
24	12.01.2013	10:51	9,7	171,0	12,4	146,0	7,4	57,0	12,4	146,0	88,0	88,0	80	2,6	24,8	15,4	S-06-03	19014	422341,2	4542745,8	95,6	16,26
26	14.01.2013	10:56	8,0	85,0	7,5	146,0	3,4	102,0	8,0	85,0	88,0	88,0	80	2,6	26,5	16,4	S-06-03	19014	422341,8	4542749,0	95,6	18,66
27	14.01.2013	16:31	6,4	79,0	10,0	146,0	5,5	60,0	10,0	146,0	88,0	88,0	80	2,6	26,5	16,4	S-06-03	19014	422341,8	4542749,0	95,6	18,66
28	15.01.2013	12:35	6,9	93,0	7,8	128,0	4,6	57,0	7,8	128,0	88,0	88,0	80	2,6	28,9	17,9	S-06-03	19014	422342,7	4542753,0	95,6	22,01
29	16.01.2013	10:41	7,6	93,0	9,7	93,0	6,9	85,0	9,7	93,0	88,0	88,0	80	2,6	30,2	18,7	S-06-03	19014	422343,1	4542754,9	95,6	23,67
30	16.01.2013	16:35	4,3	146,0	9,1	73,0	3,3	79,0	9,1	73,0	88,0	88,0	80	2,6	30,2	18,7	S-06-03	19014	422343,1	4542754,9	95,6	23,67
31	21.01.2013	10:40	7,8	102,0	8,5	85,0	5,8	171,0	8,5	85,0	88,0	88,0	70	2,6	34,3	21,3	S-06-03	19015	422344,5	4542760,3	95,6	28,72
32	21.01.2013	12:34	4,4	64,0	6,6	85,0	5,0	54,0	6,6	85,0	134,0	134,0	70	2,6	34,3	21,3	S-06-03	19015	422344,5	4542760,3	95,6	28,72
33	22.01.2013	11:02	7,4	114,0	6,7	114,0	5,8	64,0	7,4	114,0	88,0	88,0	70	2,6	37,2	23,1	S-06-03	19014	422345,4	4542763,8	95,6	32,14
35	23.01.2013	11:03	7,9	93,0	10,0	85,0	9,0	64,0	10,0	85,0	88,0	88,0	70	2,6	41,2	25,5	S-06-03	19014	422346,6	4542768,4	95,6	36,68
36	23.01.2013	17:07	2,9	114,0	4,7	128,0	3,1	102,0	4,7	128,0	88,0	88,0	70	2,6	41,2	25,5	S-06-03	19014	422346,6	4542768,4	95,6	36,68
37	25.01.2013	10:52	2,2	93,0	5,2	128,0	2,5	93,0	5,2	128,0	88,0	88,0	70	2,6	43,6	27,1	S-06-03	19014	422347,3	4542771,2	95,6	39,40
38	26.01.2013	10:27	3,6	171,0	5,1	93,0	3,2	85,0	5,1	93,0	88,0	88,0	80	2,6	45,4	28,2	S-06-03	19014	422347,9	4542773,2	95,6	41,37
39	26.01.2013	16:46	4,1	68,0	4,6	128,0	3,6	68,0	4,6	128,0	88,0	88,0	80	2,6	45,4	28,2	S-06-03	19014	422347,9	4542773,2	95,6	41,37
40	28.01.2013	10:59	2,7	114,0	4,7	128,0	2,2	114,0	4,7	128,0	88,0	88,0	80	2,6	48,0	29,8	S-06-03	19014	422348,4	4542776,1	95,6	44,22
41	28.01.2013	16:55	8,5	128,0	16,5	73,0	7,0	146,0	16,5	73,0	88,0	88,0	80	2,6	20,8	12,9	S-06-09	19014	422348,4	4542776,1	95,6	2,48

42	29.01.2013	10:39	15,6	93,0	14,1	146,0	9,4	85,0	15,6	93,0	88,0	80	2,6	25,2	15,6	S-06-	19014	422348,8	4542779,1	95,6	13,62
43	29.01.2013	16:28	19,3	171,0	27,9	73,0	14,1	171,0	27,9	73,0	88,0	80	2,6	20,9	12,9	S-06-09	19013	422348,8	4542779,1	95,6	3,10
44	30.01.2013	10:43	22,5	47,0	12,7	85,0	8,8	64,0	22,5	47,0	91,5	80	2,6	21,3	13,2	S-06-09	19015	422348,9	4542781,6	95,6	5,24
47	02.02.2013	10:26	15,9	102,0	15,2	93,0	6,9	85,0	15,9	102,0	91,5	80	2,6	19,4	12,0	S-06-	19015	422348,4	4542788,1	98,0	4,73
48	02.02.2013	17:00	16,0	93,0	20,4	54,0	9,8	68,0	20,4	54,0	91,5	80	2,6	18,8	11,7	S-06-	19015	422348,1	4542793,5	98,0	1,41
49	04.02.2013	10:36	23,9	102,0	26,4	114,0	12,2	114,0	26,4	114,0	91,5	80	2,6	15,8	9,8	S-06-	19015	422347,5	4542792,4	101,0	0,63
50	04.02.2013	16:10	16,3	114,0	16,1	93,0	12,2	128,0	16,3	114,0	91,5	80	2,6	15,8	9,8	S-06-	19015	422347,3	4542793,4	101,0	0,90
51	05.02.2013	16:46	20,2	73,0	21,8	102,0	12,7	102,0	21,8	102,0	91,5	80	2,6	15,9	9,9	S-06-	19014	422347,2	4542794,7	101,0	2,15
52	06.02.2013	10:24	23,7	73,0	22,6	73,0	9,0	64,0	23,7	73,0	88,0	80	2,6	16,3	10,1	S-06-	19014	422346,2	4542796,7	101,0	4,19
53	06.02.2013	16:03	15,4	54,0	26,0	49,0	16,3	39,0	26,0	49,0	91,5	80	2,6	16,4	10,2	S-06-	19014	422345,9	4542797,1	101,0	4,59
54	08.02.2013	10:43	32,4	79,0	26,4	64,0	9,3	85,0	32,4	79,0	*	90	2,6	16,8	10,4	S-06-	19014	422345,6	4542798,1	101,0	5,64
55	08.02.2013	16:31	27,3	45,0	24,1	60,0	13,3	54,0	27,3	45,0	*	90	2,6	16,9	10,5	S-06-	19014	422345,3	4542798,5	101,0	6,12
56	11.02.2013	11:30	17,5	85,0	23,1	85,0	23,4	93,0	23,4	93,0	*	90	2,6	17,3	10,7	S-06-	19014	422345,0	4542799,5	101,0	7,18
57	11.02.2013	18:04	20,7	54,0	27,3	68,0	20,2	93,0	27,3	68,0	*	90	2,6	18,1	11,2	S-06-	19014	422344,6	4542801,1	101,0	8,82
59	12.02.2013	17:36	15,2	60,0	21,3	146,0	19,6	64,0	21,3	146,0	*	90	2,6	20,7	12,8	S-06-	19014	422343,1	4542805,4	101,0	13,36
60	13.02.2013	14:51	11,0	79,0	23,2	45,0	18,5	49,0	23,2	45,0	*	100	2,6	19,5	12,1	S-06-	19013	422342,4	4542807,9	101,0	11,87
61	15.02.2013	14:28	18,3	47,0	24,0	60,0	23,6	43,0	24,0	60,0	*	100	2,6	19,6	12,2	S-06-	19014	422342,4	4542807,9	101,0	8,86
62	16.02.2013	10:30	7,2	51,0	26,4	68,0	12,8	64,0	26,4	68,0	*	90	2,6	16,7	10,4	S-06-	19013	422338,9	4542812,2	101,0	6,34
63	16.02.2013	16:01	10,9	57,0	21,1	51,0	7,0	64,0	21,1	51,0	*	90	2,6	21,0	13,0	S-06-	19015	422338,9	4542812,2	101,0	11,53
64	18.02.2013	10:44	22,3	64,0	30,5	64,0	26,7	102,0	30,5	64,0	*	90	2,6	16,1	10,0	S-06-	19013	422338,2	4542813,2	101,0	5,21
65	18.02.2013	16:42	16,2	102,4	38,6	56,8	25,6	102,4	38,6	56,8	*	90	2,6	15,9	9,9	S-06-	1393	422337,9	4542814,2	101,0	4,46
66	19.02.2013	10:33	20,8	102,4	24,3	64,0	26,6	85,3	26,6	85,3	*	90	2,6	15,8	9,8	S-06-	1393	422337,6	4542815,2	101,0	3,84
67	19.02.2013	16:52	19,3	102,4	23,9	73,1	31,5	85,0	31,5	85,0	*	90	2,6	15,9	9,9	S-06-	1393	422337,1	4542817,2	101,0	3,30
71	22.02.2013	13:56	24,8	79,0	19,4	85,0	14,2	93,0	24,8	79,0	*	100	2,6	17,6	10,9	S-06-	19013	422336,5	4542819,2	101,0	3,93
72	23.02.2013	10:20	15,7	64,0	23,2	68,0	12,0	57,0	23,2	68,0	*	90	2,6	17,9	11,1	S-06-	19015	422332,7	4542824,5	101,0	8,33
73	23.02.2013	17:07	13,5	54,0	26,7	73,0	10,9	64,0	26,7	73,0	*	90	2,6	18,6	11,6	S-06-	19015	422332,2	4542825,2	101,0	9,03
77	26.02.2013	15:17	6,1	68,0	13,1	73,0	10,7	57,0	13,1	73,0	*	100	2,6	21,8	13,5	S-06-	19013	422330,3	4542831,2	101,0	15,42
82	02.03.2013	10:15	13,8	93,0	14,2	57,0	13,3	64,0	14,2	57,0	*	90	2,6	23,6	14,6	S-06-	19013	422330,9	4542798,7	101,0	17,79
84	04.03.2013	12:24	11,2	57,0	7,0	85,0	9,3	64,0	11,2	57,0	*	90	2,6	26,5	16,5	S-06-	19015	422326,8	4542836,6	101,0	21,56
85	04.03.2013	14:46	16,6	41,0	29,5	39,0	16,0	51,0	29,5	39,0	*	90	2,6	18,5	11,4	S-06-	19015	422347,5	4542806,6	101,0	5,92
86	05.03.2013	11:16	6,6	68,0	9,7	79,0	6,2	49,0	9,7	79,0	*	90	2,6	26,7	16,5	S-06-	19013	422325,7	4542796,3	101,0	21,49
91	07.03.2013	10:50	9,1	102,0	5,1	49,0	10,3	51,0	10,3	51,0	*	90	2,6	29,5	18,3	S-06-	19013	422322,1	4542794,5	101,0	24,87
93	08.03.2013	11:45	18,2	35,0	23,2	37,0	24,4	34,0	24,4	34,0	*	90	2,6	22,3	13,8	S-06-	19013	422333,9	4542832,3	101,0	16,12
94	08.03.2013	13:58	9,1	29,0	11,2	41,0	14,6	146,0	14,6	146,0	*	90	2,6	18,6	11,5	S-06-9	19013	422320,3	4542793,7	101,0	11,08
95	09.03.2013	10:36	16,6	34,0	13,6	49,0	20,4	37,0	20,4	37,0	*	90	2,6	27,9	17,3	S-06-	19014	422356,6	4542810,9	101,0	23,25
98	11.03.2013	11:09	11,8	64,0	19,9	73,0	7,9	51,0	19,9	73,0	*	90	2,6	16,0	9,9	S-06-9	19014	422316,7	4542792,0	101,0	9,19



Resim 1. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatma Paterni uygulama detayı.



Resim 2. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Hat delme işlemi.



Resim 3. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatması için hazırlık.



Resim 4. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatması için hazırlık



Resim 5. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatması için Şarjlama.



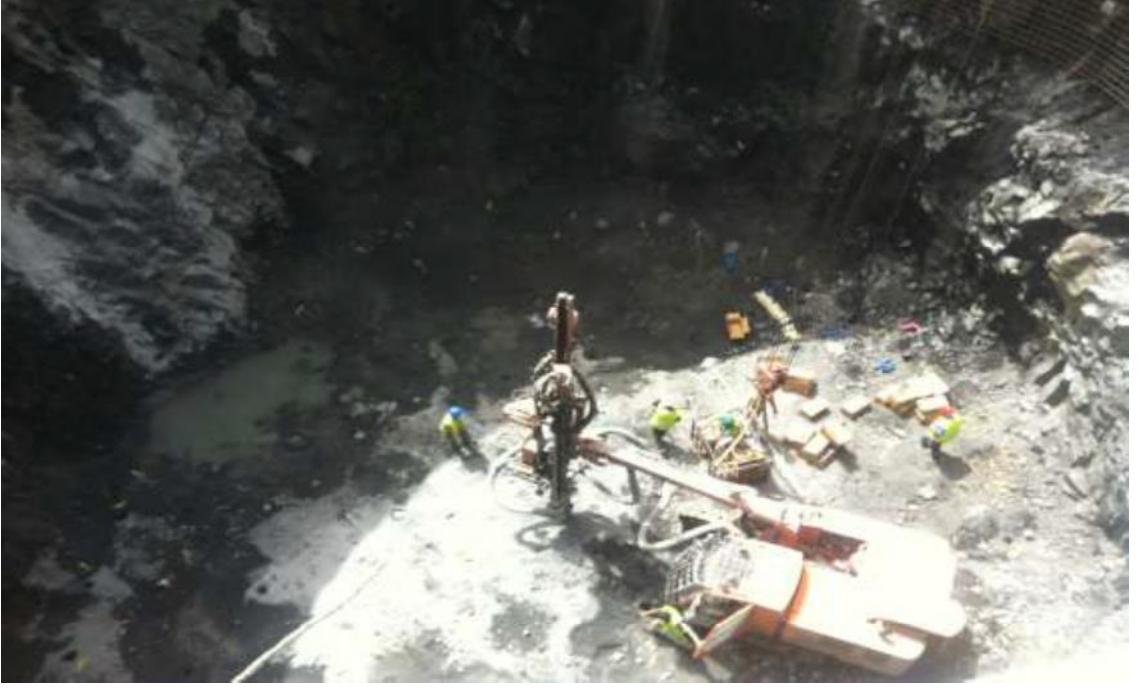
Resim 6. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatması için bağlantı yapılması.



Resim 7. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatma sonrası yığın görüntüsü.



Resim 8. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatma sonrası bir görüntü.



Resim 9. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatma öncesi delgi görüntüsü.



Resim 10. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftı Patlatma sonrası kazının dışarı çıkarılması.



Resim 11. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftlarından genel bir görüntü.



Resim 12. 3.Boğaz Köprü'sü Temel Şaftlarından genel bir görüntü.



Resim 13. Ön kesme uygulamasında infilaklı fitile dinamitin bağlanması.



Resim 14. Ön kesme uygulamasından bir görüntü.



Resim 15. Presplitting delgisinden Bir Görünüş



Resim 16. Patlatma Örtülerinden Genel Bir Görünüş



Resim 17. Çalışma sahasından genel bir görünüm



Resim 18. Çalışma sahasından genel bir görünüm(Ankraj Bloğu)



Resim 19. Çalışma sahasından genel bir görünüm(Ankraj Bloğu)



Resim 20. Ankraj bloğu Delgi Çalışmaları



Resim 21. Patlatma sonrası yükleme çalışmaları



Resim 22. Ankraj bloğundan bir görüntü.

ÖZGEÇMİŞ

Barış GÜNAY, 1981 yılında Malatya’da doğdu. İlköğretimine Malatya Necatibey İlkokulu’nda başlayıp, Atatürk Orta Okulu ve Malatya Lisesi’nde tamamlamıştır. Üniversite eğitimini 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun olarak tamamlamıştır. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Patlayıcı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans öğrenimine 2012 yılında başlamıştır. İnşaat alanında birçok projede iş tecrübesine sahip olup 2013 yılından bu yana 3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi’nde Asya Yakası Toprak İşleri Şefi olarak görevine devam etmektedir.