

**T.C.  
OKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
PATLAYICI MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜSKÜDAR- ÜMRANIYE- ÇEKMEKÖY METRO HATTI LİBADIYE İSTASYONU  
YAKLAŞIM TÜNELİ KAZISINDA YAPILAN PATLATMALI KAZILARDAN  
KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN ÖLÇÜLMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

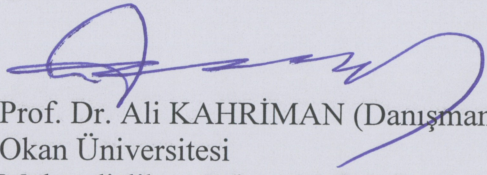
**Sadettin BAĞDATLI**

**Danışman  
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

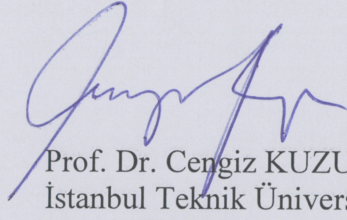
**İSTANBUL - Kasım, 2013**

Bu çalışma 28/11/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Patlayıcı Mühendisliği Yüksek Lisans programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

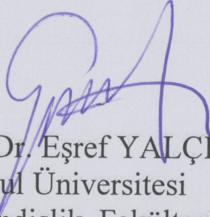
Tez Jürisi



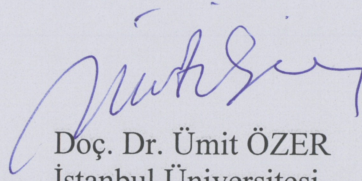
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN (Danışman)  
Okan Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



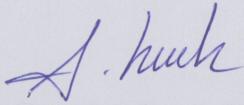
Prof. Dr. Cengiz KUZU  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Maden Fakültesi



Doç. Dr. Eşref YALÇINKAYA  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ümit ÖZER  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik 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 Başkan 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, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ümit ÖZER' e, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Eşref YALÇINKAYA' ya ve Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Mimarlık ve Şehir Planlama Bölüm Başkanı Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Birol ALAS' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli bilgi tecrübelerini paylaşan başta Sayın Aziz ÖZDEMİR olmak üzere, Sayın Yüksek Mühendis Ertuğrul KAYA'ya, lisans öğrenimimde çok değerli katkıları olan Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN' a ve bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Başta Yasin KAHRAMAN ve patlatma ekibi olmak üzere Doğu İnşaat çalışanlarına araştırmalarındaki destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bana çalışma arkadaşından daha çok bir ağabey gibi davranan hiçbir zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölüm Başkanı Öğretim Görevlisi Sayın Yüksek Mühendis Alper ÇELTİKÇİ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, hiçbir zaman desteklerini, inanç ve sevgilerini benden esirgemeyen anneme, babama, kardeşime ve arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim. Son olarak, hayatımda çok özel bir yere sahip olan Yasemin TEKİN' e tüm desteği ve inancı için teşekkür ederim.

**Kasım, 2013**

**Sadettin BAĞDATLI**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	İ
İÇİNDEKİLER .....	İİ
ŞEKİL LİSTESİ .....	V
TABLO LİSTESİ .....	Vİİ
SEMBOL LİSTESİ .....	İX
ÖZET .....	Xİ
SUMMARY .....	Xİİ
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	3
2.1. DELME VE PATLATMANIN ÖNEMİ VE PATLAYICI MÜHENDİSLİĞİ İLE İLGİSİ .....	3
2.1.1. Delme-Patlatmanın Önemi .....	3
2.1.2. Delme Patlatmanın Kullanıldığı Alanlar .....	5
2.1.3. Delme-Patlatmanın Mühendislik İle İlgisi .....	8
2.1.4. Patlatmanın Tarihçesi .....	9
2.2. PATLATMA İLE PARÇALANMA MEKANİZMASI .....	10
2.3. TÜNEL PATLATMALARI .....	14
2.3.1. İnşaat Tünelciliği .....	14
2.3.2. Tünel Sürme Metotları .....	15
2.3.2.1. Tam Ayna Yöntemi .....	15
2.3.2.2. Baş Sürme (Top Heading) ve Basamak Yöntemi .....	16
2.3.2.3. Pilot Tünel Metodu .....	17
2.3.2.4. Öncü Tünel Metodu .....	17
2.3.3. Yeni Avusturya Metodu (NATM) .....	18
2.3.4. Tünel Patlatmanın İlkeleri .....	19
2.3.5. Delme ve Patlatma Döngüsü .....	20
2.3.6. Başlama Deliği .....	21
2.3.6.1. Açılı Kesme .....	21
2.3.6.2. Paralel Kesme .....	24
2.3.7. Aralıklı Dizim ve Paralel Kesmelerin Şarjı .....	24
2.3.8. Üretim Delikleri Konfigürasyonu ve Şarj .....	25
2.3.9. Tünel Patlatmalarında Perimetre Kontrolü .....	26



2.3.9.1. Tünelcilikte Perimetre Kontrol Teknikleri .....	26
2.3.9.1.1. Perimetre Kontrol Patlayıcıları.....	26
2.3.9.1.2. Delik Delme Hızı.....	27
2.3.9.1.3. Perimetrede İlk Seri Deliklere Uygulanan İşlemler .....	27
2.3.10. Delik Delme ve Şarj .....	27
2.3.11. Güvenlik Rehberi.....	27
2.3.12. ANFO Şarjı .....	28
2.3.13. Pnömatik Şarj (Kartuş Emülsiyonları, Sıvı Jel) .....	29
2.3.14. Kuyu Tasarımı .....	29
2.3.14.1. Kuyu Çökmesi.....	31
2.3.14.2. Patlayıcılar.....	31
2.4. PATLATMADAN KAYNAKLANAN ÇEVRESEL SORUNLAR .....	32
2.4.1. Kaya Fırlaması .....	35
2.4.2. Toz Emisyonu .....	36
2.4.3. Yer Sarsıntısı (Titreşim) .....	36
2.4.3.1. Yer Sarsıntısının Oluşumu ve Genel Karakteristikleri.....	37
2.4.3.2. Tipik Patlatma Titreşim Kayıtları.....	46
2.4.3.3. Baskın Frekans .....	47
2.4.3.4. Ölçekli Mesafe Kavramı.....	49
2.4.3.5. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini .....	51
2.4.3.6. Maksimum Parçacık Hızı Tahmininde Kullanılan İstatistiksel Metotlar .....	53
2.4.3.7. Patlatmadan Kaynaklanan Yersarsıntısını Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler .....	55
2.4.4. Hava Şoku ve Gürültü .....	56
2.4.4.1. Hava Şoku ve Gürültü Ölçümü ve Karakteri .....	57
2.4.4.2. Patlatmadan Kaynaklanan Hava Şokunu Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler .....	60
2.4.5. Hasar Ölçütleri ve Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesinde göz önünde Tutulan Uluslararası Normlar .....	60
2.4.5.1. Hasar Sınıflaması .....	62
2.4.5.2. Patlatma Hasar Kriterleri.....	63
2.4.5.2.1. Rockwell'in Enerji Formülü.....	64
2.4.5.2.2. USBM'nin Formülü .....	64
2.4.5.2.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü .....	65
2.4.5.2.4. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı .....	66
2.4.5.2.5. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı .....	66
2.4.5.2.6. Langefors ve Kihlström'un Yaklaşımı.....	66
2.4.5.2.7. USBM'nin Yaklaşımı.....	68
2.4.5.2.8. Canmet, Bauer ve Calder'in Yaklaşımı.....	68
2.4.5.2.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini.....	68
2.4.5.2.10. OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları .....	70
2.4.5.2.11. DIN 4150 Alman Normu .....	73
2.4.5.2.12. İsveç Standardı .....	75
2.4.5.2.12.1. Kılavuz Seviyeleri.....	75
2.4.5.2.13. İngiliz Standardı .....	76
2.4.5.2.14. Hindistan Standardı (IS) .....	77
2.4.5.2.15. Fransa Standardı .....	78
2.4.5.2.16. Türk Standardı.....	79

3. MALZEME VE YÖNTEM .....	80
3.1. YER SARSINTISI VE HAVA ŞOKU İZLEME SİSTEMLERİ .....	80
3.1.1. Örnek Bir Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi ve Teknik Özellikler .....	82
3.2. ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM.....	85
4. BULGULAR .....	86
4.1. ÇALIŞMA SAHASININ YERİ VE TANITIMI .....	86
4.2. BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ.....	87
4.3. YAKLAŞIM TÜNELİ HAKKINDA BİLGİLER .....	90
4.4. TÜNELDE UYGULANAN KONTROLLÜ PATLATMA MODELLERİ .....	92
4.4.1. Kesit 1 İçin Kullanılan Patlatma Modeli .....	94
4.4.2. Kesit 2 İçin Kullanılan Patlatma Modeli .....	98
4.4.3. Kesit 3 İçin Kullanılan Patlatma Modeli .....	101
4.4.4. Kesit 4 İçin Kullanılan Patlatma Modeli .....	104
4.5. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ.....	107
4.6. ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	109
4.7. ÖLÇÜMLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	111
4.7.1. Doğal Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi .....	111
4.7.1.1. Doğal Zeminde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi.....	112
4.7.1.2. Doğal Zeminde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi....	112
4.7.1.3. Doğal Zeminde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi .	113
4.7.1.4. Doğal Zeminde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi .....	114
4.7.2. Yapay Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi .....	115
4.7.2.1. Yapay Zeminlerde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi	116
4.7.2.2. Yapay Zeminlerde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi	117
4.7.2.3. Yapay Zeminlerde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi .....	117
4.7.2.4. Yapay Zeminlerde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi .....	118
4.7.3. Elde Edilen Tahmin Denklem Ve Yaklaşımları.....	120
4.7.4. Atımların Hasar Riski Değerlendirmesi .....	121
4.8. RİSK ANALİZİ .....	124
4.9. TÜRETİLEN FORMULÜN KARŞILAŞTIRILMASI.....	128
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	130
KAYNAKLAR .....	133
EKLER.....	137
ÖZGEÇMİŞ .....	150

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Delme Patlatmayı Esas Alan Kazı İşleminin Genel Planlanması.....	4
Şekil 2.2. Delme ve Patlatmanın Üretim Sürecindeki Yeri ve Önemi.....	5
Şekil 2.3. Patlatma ve Ardışık Faaliyetlerin Maliyetleri Arasındaki İlişki .....	9
Şekil.2.4. Kaya İçindeki Patlatma Deliğinin Çevresindeki Parçalanması .....	11
Şekil 2.5. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu .....	13
Şekil 2.6. 127mm çaplı paralel kesme delikleri kullanılan 4,9m çaplı tünel kesiti .....	16
Şekil 2.7. Tünelin tavan kısmında baş sürmeyi içeren tavan baş sürme ve basamak yöntemi.....	16
Şekil 2.8. Zemin içindeki çakılı bulonlar. ....	19
Şekil 2.9. Çeşitli deliklerde paralel kesme .....	20
Şekil 2.10. Her V kesme, aynada 2 noktada açılan ve dip kısımda birleşen 2 delikten oluşur.....	22
Şekil 2.11. Asıl kesme.....	23
Şekil 2.12. Küçük olan V, küçük V kesme diye adlandırılır.....	23
Şekil 2.13. Boş delik mesafelerine ve delik boyutlarına bağlı patlatma sonuçları .....	25
Şekil 2.14. En etkili kuyu alçalma yöntemlerinden biri basamak yöntemidir .....	29
Şekil 2.15. Geniş çaplı tipik gevşetme deliği şekli Kuyu, başka bir yaygın metottur ....	30
Şekil 2.16. Piramit kesim, kuyu döngüsünde yaygın bir üretim yöntemidir.....	30
Şekil 2.17. V kesme kullanılan.....	31
Şekil 2.18. Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler .....	33
Şekil 2.19. Patlatma Sırasında Oluşan Taş Savrulması .....	35
Şekil 2.20. Sismik dalgaların kaya ortamı içinden geçerken yarattıkları deformasyon .	38
Şekil 2.21. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu .....	40
Şekil 2.22. Basınç ve kesme dalgaları .....	41
Şekil 2.23. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı .....	41
Şekil 2.24. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi .....	42
Şekil 2.25. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi .....	43
Şekil 2.26. Sinüzoidal yaklaşım .....	44
Şekil 2.27. Tipik kömür madeni patlatmasında parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi .....	46
Şekil 2.28. Patlatma titreşimlerinin nükleer patlama ve deprem hareketleri ile karşılaştırılması.....	47
Şekil 2.29. Çeşitli patlatmalarda ön baskın frekans histogramları .....	48
Şekil 2.30. Taş ocağı patlatmasında zamana bağlı tipik titreşim gelişimi .....	49
Şekil 2.31. Ölçekli mesafe parametreleri .....	50
Şekil 2.32. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri .....	58
Şekil 2.33. Hava şoku basıncının ölçekli mesafeye göre değişimi .....	59
Şekil 2.34. Langefors ve Kihlström'un hasar kriteri nomogramı.....	67
Şekil 2.35. USBM'nin alternatif kriter analizi .....	70
Şekil 2.36. OSM'nin alternatif kriter analizi .....	72
Şekil 2.37. DIN 4150 Alman Normu .....	74

Şekil 2.38. White Mini-Seis cihazının DIN 4150 Normuna göre düzenlenmiş tipik çıktısı.....	74
Şekil 2.39. İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 .....	77
Şekil 2.40. Hindistan DGMS (A) Standardı .....	78
Şekil 2.41. Hindistan DGMS (B) Standardı.....	78
Şekil 3.1. Bir Titreşim Ölçer Cihazının Jeofon Yapısı .....	81
Şekil 3.2. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi .....	82
Şekil 3.3. İstantel Mini Mate Plus Model Titreşim Ölçüm Cihazı .....	83
Şekil 3.4. İstantel Mini Mate Plus Cihazının USBM Normuna Göre Düzenlenmiş Tipik Çıktısı.....	84
Şekil 4.1. Çalışma Alanının Uydu Görüntüsü.....	86
Şekil 4.2. Güzergah Boyunca Genel Jeolojik Oluşumlar.....	87
Şekil 4.3. Yaklaşım Tüneli Kesit Görünümü ve Jeolojisi.....	89
Şekil 4.4. Yaklaşım Tüneli Kesit-1.....	90
Şekil 4.5. Yaklaşım Tüneli Kesit-2.....	91
Şekil 4.6. Yaklaşım Tüneli Kesit-3.....	91
Şekil 4.7. Yaklaşım Tüneli Kesit-4.....	92
Şekil 4.8. Deliklerin Delinmesi .....	94
Şekil 4.9. Kesit-1 de Yer Alan Kaya Birimlerinden Görüntü .....	95
Şekil 4.10. Kesit-1 de Uygulanan Patlatma Tasarımı .....	96
Şekil 4.11. Kesit-1 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü .....	96
Şekil 4.12. Kesit-2 de Yer Alan Kaya Birimlerinden Görüntü .....	98
Şekil 4.13. Kesit-2 de Uygulanan Patlatma Tasarımı .....	99
Şekil 4.14. Kesit-2 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü .....	99
Şekil 4.15. Kesit-3 de Uygulanan Patlatma Tasarımı .....	102
Şekil 4.16. Kesit-3 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü .....	102
Şekil 4.17. Kesit-4 de Uygulanan Patlatma Tasarımı .....	105
Şekil 4.18. Kesit-4 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü .....	105
Şekil 4.20. Doğal Zeminde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	112
Şekil 4.21. Doğal Zeminde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki .....	113
Şekil 4.22. Doğal Zeminde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	114
Şekil 4.23. Doğal Zeminde PPV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	115
Şekil 4.24. Yapay Zeminlerde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	116
Şekil 4.25. Yapay Zeminlerde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki .....	117
Şekil 4.26. Yapay Zeminlerde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki.....	118
Şekil 4.27. Yapay Zeminlerde PPV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki .....	119
Şekil 4.28. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların USBM Normuna göre yorumu .....	121
Şekil 4.29. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların Alman DIN 4150 Normuna göre yorumu .....	122
Şekil 4.30. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların Türk Normuna göre yorumu .....	122
Şekil 4.31. Kaydedilen Frekans değerlerinin dağılımı.....	123



## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Titreşim Parametrelerinin Aralığı .....	46
Tablo 2.2. Yersarsıntısı Üzerindeki Değişimlerin Önem Sırası .....	56
Tablo 2.3. Hasar Sınıflaması . .....	62
Tablo 2.4. Crandell'in Enerji Oranına Bağlı Hasar Kriteri .....	65
Tablo 2.5. Langefors ve Arkadaşlarının Parçacık Hızını Esas Alan Hasar Kriteri .....	66
Tablo 2.6. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızını Esas Alan Yaklaşımı .....	66
Tablo 2.7. USBM'nin Yaklaşımı.....	68
Tablo 2.8. Canmet ve Arkadaşlarının Hasar Kriteri .....	68
Tablo 2.9.Uzaklığa Bağlı Müsaade Edilen Ölçekli Mesafe Faktörleri .....	71
Tablo 2.10. Patlatmada Noktasından Belirli Uzaklıklarda Maksimum Parçacık Hızları	71
Tablo 2.11 Alman Din 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınırları.....	73
Tablo 2.12. Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı .....	75
Tablo 2.13. Bina Faktörü .....	76
Tablo 2.14. Proje zaman faktörü .....	76
Tablo 2.15 Kozmetik hasar için geçici titreşim kılavuz seviyeleri.....	76
Tablo 2.16. Madencilik Alanlarında Yapıların Altyapı Düzeyinde İzin Verilebilir En Yüksek Parçacık Hızı.....	77
Tablo 2.17. Fransa Standardı.....	78
Tablo 2.18. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri.....	79
Tablo 4.1. Powergel Magnum 365 34x400 Emülsiyon Tipi Patlayıcıya Ait Teknik Bilgiler .....	93
Tablo 4.2. Kesit-1 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları ..	97
Tablo 4.3. Kesit-1 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri	97
Tablo 4.4. Kesit-2 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları	100
Tablo 4.5. Kesit-2 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri .....	100
Tablo 4.6. Kesit-3 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları	103
Tablo 4.7. Kesit-3 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri .....	103
Tablo 4.8. Kesit-4 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları	106
Tablo 4.9. Kesit-4 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri .....	107
Tablo 4.10. İstasyon Noktaları Koordinatları.....	109
Tablo 4.11. Zemin Türlerine Göre İstasyon Noktaları Ölçümleri .....	110
Tablo 4.12. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları .....	110
Tablo 4.13. İstatiksel Analizle Elde Edilen Arazi Katsayıları .....	120
Tablo 4.14. Alman DIN 4150 Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları.....	125

Tablo 4.15. USBM Normu ve Türk Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları.....	126
Tablo 4.16. Çalışmada kullanılan patlayıcı miktarına göre risk noktalarına yaklaşılabilecek maksimum mesafeler.....	128
Tablo 4.17. Çalışmadan Türetilen Formülle Literatürde Yer Alan Formüllerin Karşılaştırılması.....	129

## SEMBOL LİSTESİ

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

**F<sub>t</sub>** : patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresi  
**Ø** : fi

## ÖZET

### ÜSKÜDAR- ÜMRANIYE- ÇEKMEKÖY METRO HATTI LİBADIYE İSTASYONU YAKLAŞIM TÜNELİ KAZISINDA YAPILAN PATLATMALI KAZILARDAN KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN ÖLÇÜLMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde trafik ve ulaşım büyükşehirlerin en büyük problemedir. Toplu taşıma araçları bu sorunun en büyük çözümü olarak görülmektedir. Söz konusu toplu taşıma sistemlerinden en uygunu ise yer altı raylı taşıma sistemleri olarak görülmektedir. İstanbul'un ulaşım ve trafik sorununa çözüm sağlamak için yeni bir metro hattı inşa edilmektedir. Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metro Hattı Anadolu Yakasında ki trafik ve ulaşım sorununa çözüm sağlayacak önemli bir projedir. Söz konusu metro hattının 6. İstasyonu olan Bulgurlu İstasyonu Tünellerinin kazısı için istasyon tüneline ulaşım amaçlı olarak, istasyon noktasına 200 metre mesafeden ulaşım tüneli kazısına NATM yöntemi ile başlanmıştır. Bölgede şaft açımına uygun alan olmadığı için ulaşım tüneli tercih edilmiştir.

Bu tez kapsamında söz konusu yaklaşım tünelinin inşası esnasında gerçekleştirilen patlatmalı kazılar incelenmiş, patlamalar esnasında oluşan yer sarsıntıları değerlendirilerek çevrede yoğun olarak yer alan yapılara olan etkileri değerlendirilmiştir. Yaklaşım tünelinin 200 m. lik kısmı patlatma ile kazılmış olup, bu süreçte 123 adet patlatma yapılmış ve farklı titreşim ölçer cihazlarla 245 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 ( $\beta$ ) ulaşılmıştır.

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

Bölüm 3 te kullanılan malzeme ve yöntemler açıklanmıştır. Çalışma yapılan bölge ile ilgili bilgiler, tünel ve 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 APPROACH TUNNEL OF LIBADIYE STATION AS PART OF THE USKUDAR-UMRANIYE- CEKMEKOY SUBWAY TUNNEL PROJECT CONSTRUCTION**

Traffic and transportation have become daunting problems in almost every metropolitan area in the world today. Public transportation systems appear to be the sole genuine solution to these problems. One of the most convenient types of transportation in metropolitan areas is subway systems. In Istanbul, a number of new subway lines are under construction to solve the ever-increasing traffic problem of the city. The Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy line is one of the most important subway lines under construction on the Asian side of the city since traffic congestion in this area is impossible to be tackled with in any other way. Because there is no suitable location for shaft opening within the construction area of the Bulgurlu station (the sixth station), an approach tunnel has been built by the NATM starting from a point 200 meters away from the station.

This thesis examines the blasting operations carried out during the excavation of the approach tunnel, focusing upon the vibrations induced by blasting and the effects of blasting on the residential structures. The Peak Particle Velocity (PPV) and frequency were measured. During the 123 controlled blasting operations conducted until now, the vibrations were recorded 245 times by means of various technical apparatuses. By relating the vibration records to the scaled distance calculated on the basis of the explosive weights per delay, the ground transmission coefficient (K) and the geological coefficient ( $\beta$ ) were found.

In this study, first, conducted a comprehensive review of the literature to investigate the general information. The importance of drilling and blasting, mechanism of fragmentation by blasting, tunnel blasting and environmental effects of blastings are present in chapter 2.

Materials and methods used in the study explained in the chapter 3. Information of working site, information of tunnel and blasting patterns, vibration measurements and evaluations and risk analysis of blasting operations are present in chapter 4. Finally, chapter 5 including results.



## 1. GİRİŞ

Patlayıcı kullanılarak gerçekleştirilen kaya kırma işlemi; maden ve taş ocakçılığı, yol, tünel, baraj, inşaat, alt yapı, enerji hatları vb. kazı işlemleri için kullanılan en güçlü ve en ekonomik yöntemdir. Bilim ve teknolojinin gelişmesi, hammadde ihtiyacının artması, tesisleşmenin hızlanması gibi faktörler üretimin hızlanması ihtiyacını doğurmuştur. Bu bağlamda kazı işleri için en hızlı ve en güçlü yöntem olan patlatmalı kazı çalışmaları hızla artmıştır. Patlatma çalışmalarının artması ise özellikle yerleşim alanlarında ya da yakınlarında yapılan çalışmalarda çevresel olarak olumsuzluklar doğurmaktadır. Patlatmalardan kaynaklanacak çevresel olumsuzluklar; yer sarsıntısı, hava şoku, taş savrulması, toz ve gürültü gibi etkilerin yanında çevrede yaşayan halkın ve canlıların can ve mal güvenlikleri ile psikolojik olarak sağlık durumlarıdır. Patlatma faaliyetleri, insanlar üzerinde psikolojik bir tahribata sebep olabilmektedir. Bu gibi çevre ve canlı koruma ve güvenlik tedbiri ihtiyaçları patlatma teknolojilerinin gelişimini zorunlu kılmıştır. Bu amaçla kontrollü patlatma teknikleri ilkeleri doğmuştur ve zamanla geliştirilmeye devam etmektedir.

Yukarıda bahsedilen nedenlerle, ekonomik ve emniyetli bir patlatmada, aynı zamanda bu tür sorunların da önlenmesi veya en azından tehlike sınırlarının altına indirilmesi dikkate alınmalıdır. İyi 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 veya tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve yer sarsıntısından etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımında yanıt aranacak bir değer konu da; herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilir en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir.

Son yıllarda, patlatmalı kazılardan sorumlu teknik elemanların karşılaştıkları sorunlardan biri de yersarsıntısı ve hava şokları nedeniyle, çevrede yaşayan kişi ya da kuruluşların haklı veya haksız şikâyetleridir. Patlatmalı kazı işlemlerinden kaynaklanan

benzeri sorunlar, endüstriyel atılımlarını ve alt yapılarını ülkemizden daha önce tamamlamış olan 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 yersarsıntısından kaynaklanan bütün şikâyetleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek; halen patlatma dünyasının gündemini işgal eden bir sorun olma özelliğini korumaktadır.

Bu yüksek lisans tezinde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Müdürlüğü tarafından inşa ettirilmekte olan Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metrosu istasyon kazısı esnasında gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarında, yukarıda belirtilen çevresel etkilerden olan yer sarsıntısı, istasyonun yer aldığı bölgedeki binalara olan etkisinin araştırılmasına yönelik çalışmalar anlatılmaktadır.

## **2. GENEL KISIMLAR**

### **2.1. DELME VE PATLATMANIN ÖNEMİ VE PATLAYICI MÜHENDİSLİĞİ İLE İLGİSİ**

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.

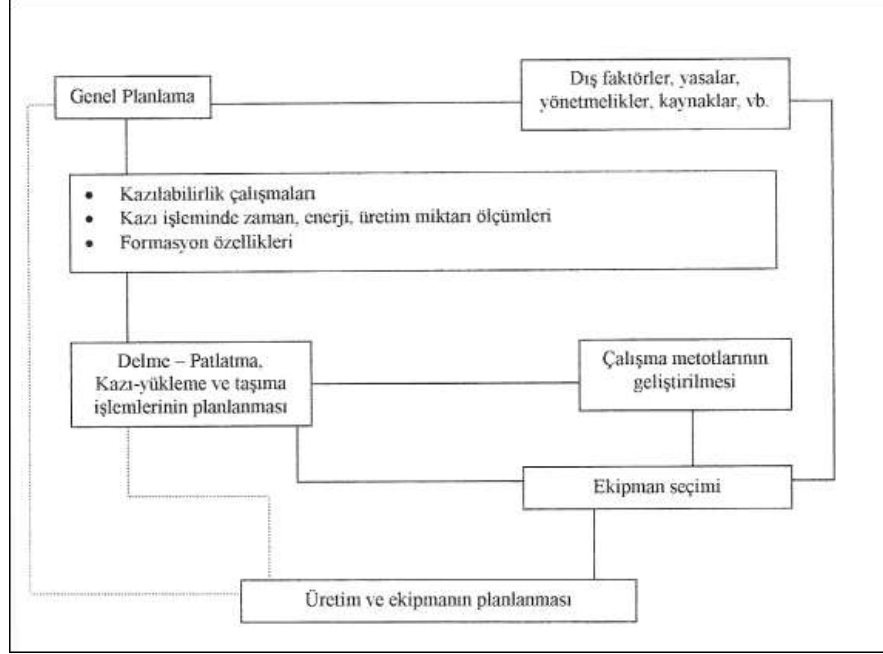
#### **2.1.1. Delme-Patlatmanın Önemi**

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.



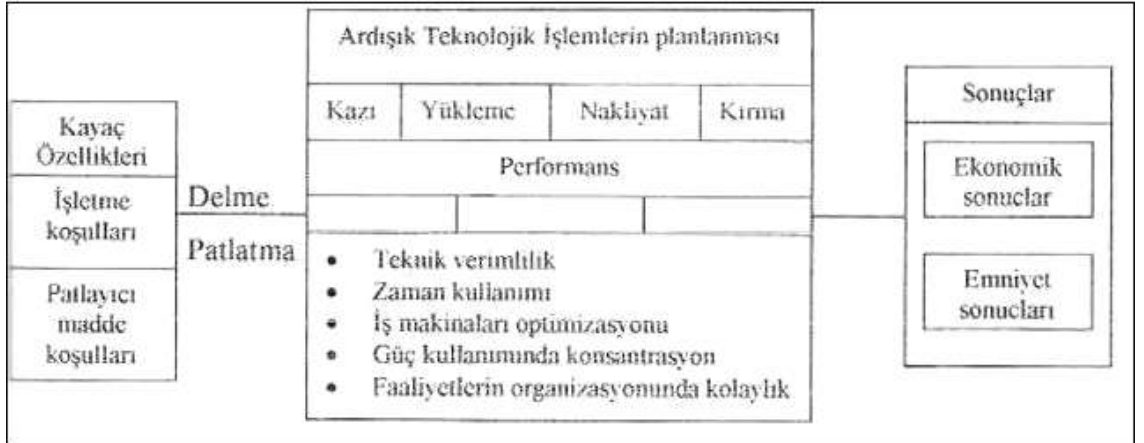
Şekil 2.1. Delme Patlatmayı Esas Alan Kazı İşleminin Genel Planlanması (Ceylanoğlu ve diğ., 1993)

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 2.2.'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 2.2. Delme ve Patlatmanın Üretim Sürecindeki Yeri ve Önemi (Arpaz, 2000)

### 2.1.2. 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 (Kahriman, 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*

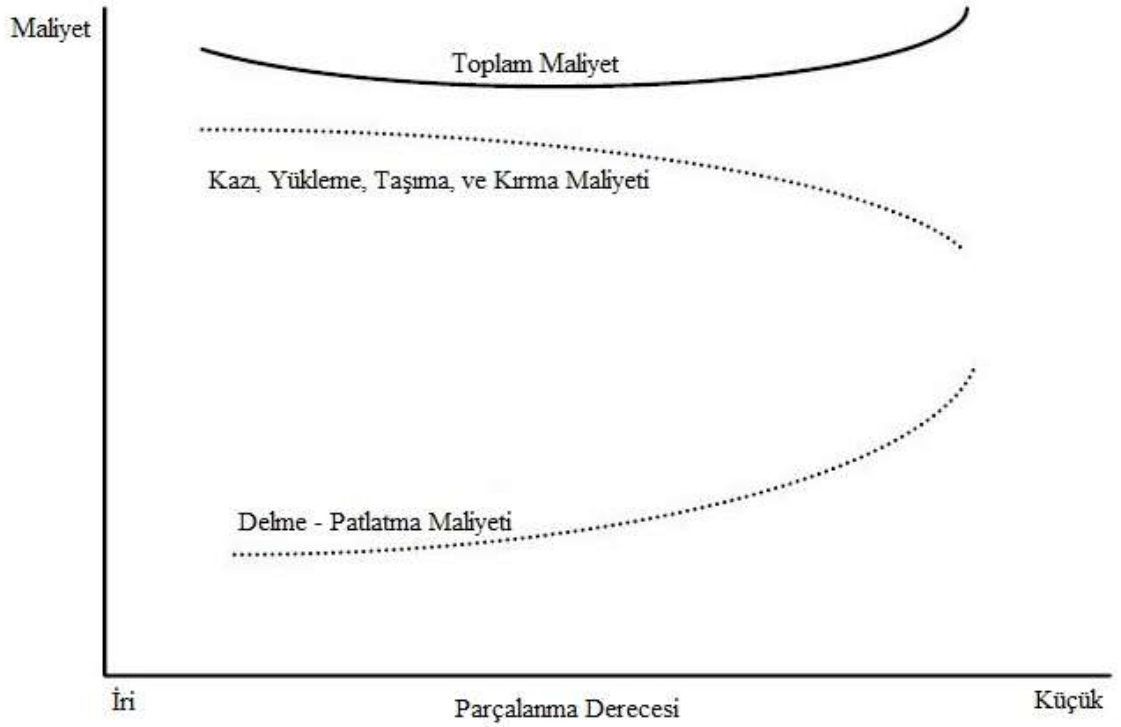
- Su altı atımları
- Buz ve buz altı çalışmaları
- Zemin stabilizasyon işlemleri
- Metal yapıştırma ve kaynaklama işlemleri
- Endüstride sıcak atımlar
- Kuyu ve silo tıkanıklıklarının giderilmesi
- Nükleer atımlar yaparak işletilebilir yeni ham madde kaynaklarının oluşturulması

### 2.1.3. Delme-Patlatmanın Mühendislik İle İlgisi

Ülkemizde yıllık yaklaşık olarak 500.000.000 m<sup>3</sup>lük 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 m<sup>3</sup>/yıl kapasiteli herhangi bir işletmede optimize edildiğinde sağlanan katkı %10 ise yaratılan artı değer, 1.000.000 m<sup>3</sup> 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 2.3. Patlatma ve Ardışık Faaliyetlerin Maliyetleri Arasındaki İlişki (Ceylanoğlu ve diğ., 1993; Arpaz, 2000)

#### 2.1.4. Patlatmanın Tarihçesi

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 sağlamışlardır. 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.

İnsanlar yüzyıllar boyunca aramış olduğu maddeyi bulma yönünde en büyük adımı atmış ve patlayıcı madde sektörünü oluşturmuştur (Yurttaş, 2006).

## **2.2. PATLATMA İLE PARÇALANMA MEKANİZMASI**

Kayaları gevşetmek veya parçalamak amacıyla kullanılan patlayıcı maddelerin istenen sonucu oluşturması, onların kayanın belirli bir bölümüne aniden ve çok büyük miktarlarda enerji verebilme kabiliyetlerinde yatmaktadır. Delikteki patlayıcı madde ateşlendiğinde bir saniyenin binde biri gibi çok kısa bir sürede olan hidrodinamik reaksiyon sonucu patlayıcı enerjisi, çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji deliği çevreleyen kaya üzerinde varyoz darbesi şeklinde etki yapmakta, böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açmaktadır (Bilgin, 1986).

Delğe konulup sıkılması yapıldıktan sonra patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen olayları dört temel aşamada incelenebilmektedir:

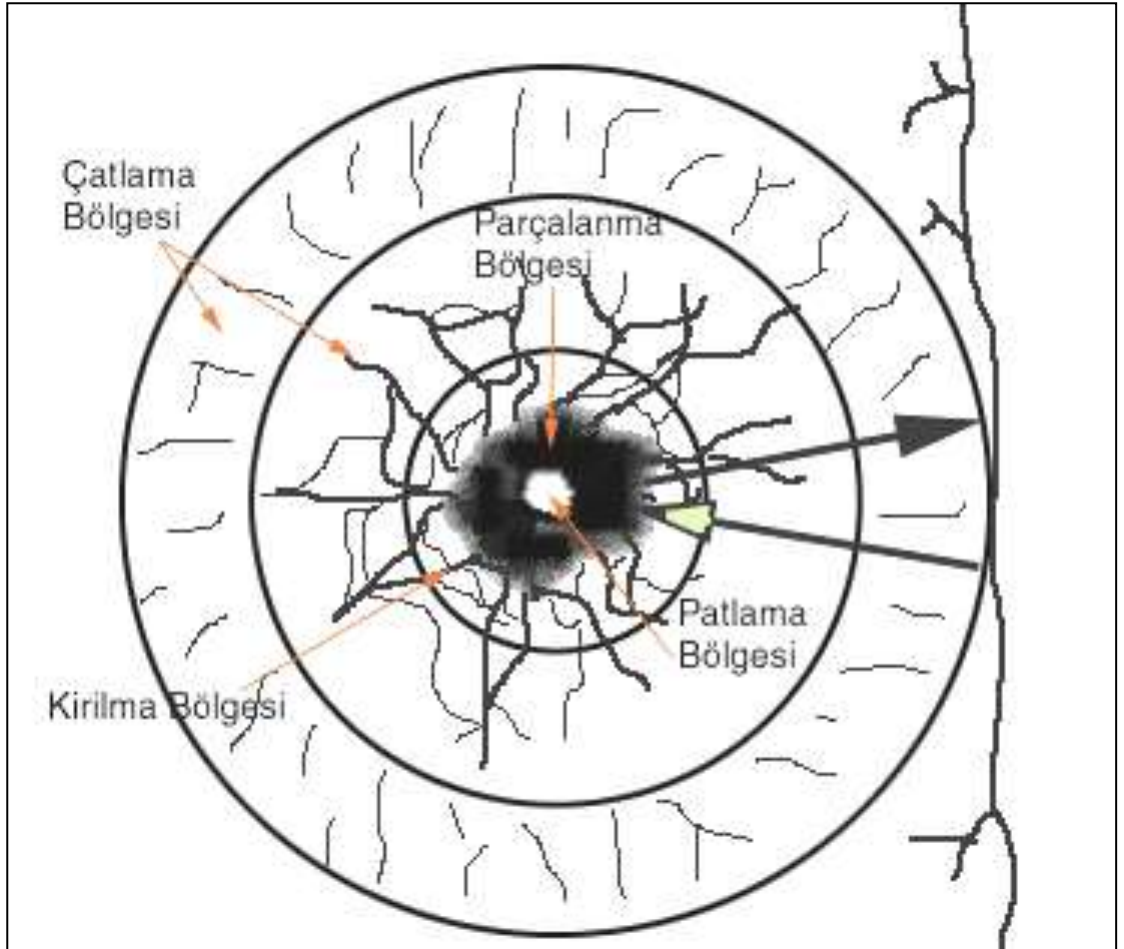
Bu aşamalar;

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

Patlatma ile parçalanma olayının mekanizmasını başka bir yaklaşımla da aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür. Bir deliğe yerleştirilmiş ve yeterince sıkılanmış bir patlayıcı madde ateşlenince ne olur? Patlayıcı maddelerle kayaların kırılmasında rol alan olaylar nelerdir? Bu sorulara verilecek yanıtlar patlatma olayının cereyan tarzı ve

parçalanma olayının iyi bir şekilde anlaşılmasına ve böylece daha iyi patlatma tasarımı ve uygulanmasına geçilebilmesine olanak tanıyacaktır.

İlk aşamada yer alan parçalanma olaylarını (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 2.4.'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 civarı yoğrulmuş bir hamur gibi şekil değiştirir. Plastik deformasyon bölgesi genellikle kaya özelliklerine göre bir veya birkaç milimetre genişliğindedir. Kıl gibi plastik deformasyonlarda kırılma olmaksızın deliğin genişlemesi şeklinde görülen bir deformasyon, deliğin kovan yapması olarak adlandırılır.



Şekil.2.4. 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 ışımsal (yarıçap yönünde) basınç sonucu dalga cephesine teğet yönde dinamik çekme birim deformasyon dalgaları (ÇDD) oluşur. ÇDD da dinamik çekme birim deformasyon limitini aştığı sürece ışımsal çatlamlar devam eder. Hem ışımsal (radyal) hem de teğet çatlakların olduğu çatlama bölgesi, ışımsal çatlakların ucu ile sınırlanır. Çatlama bölgesi genişliğinin delik (şarj) çapının on iki katına kadar ulaştığı görülmüştür.

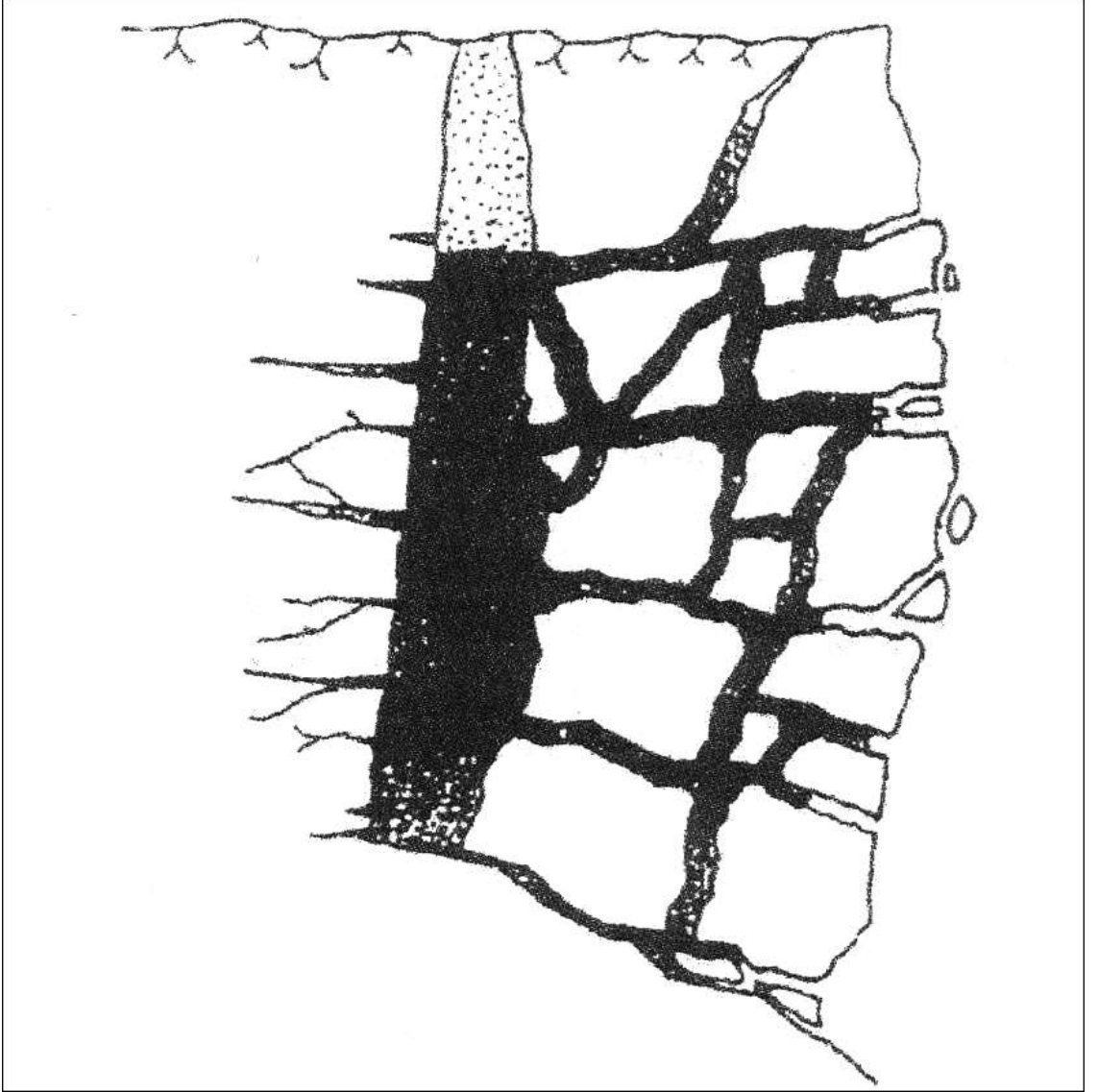
Patlatmanın oluşturduğu basınç dalgası parçalanma bölgesindeki kırılma ve çatlama olaylarında enerjinin bir kısmını harcadığından, şiddetin düşmesi (sönmesi) sonucu ve yakında serbest yüzey bulunmadığından, elastik titreşim dalgası olarak sonsuz kaya ortamı içinde dağılır gider. Titreşimlerin olduğu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



İkincil parçalanma mekanizmalarının üçüncüsü çatlakların gaz basıncıyla açılıp uzamasıdır. Gaz basıncı ile çatlak oluşumu Şekil 2.5.'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 2.5. Gaz Basıncı İle Çatlak Oluşumu (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

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.

## **2.3. TÜNEL PATLATMALARI**

### **2.3.1. İnşaat Tünelciliği**

Tünelcilik inşaat endüstrisinde uzmanlaşma isteyen bir daldır. Deneyimli kontrolcüler ve iyi eğitilmiş madenciler gerektirir. Tünel kazısında ortaya çıkan kaya genellikle artık maddelerdir. Bu bölümde devletler, şehirler, karayolu işletmeleri, su işletmeleriyle anlaşmalı olarak yapılan tünelcilikten bahsedilecektir.

Tünellerin çapları yapılan işe göre değişir. Kanalizasyon için kullanılan çaplar 1,2-1,9 m arasında değişirken, su ayırma tünelleri 18,2 m'ye kadar çıkabilir.

Disk kesicilerde ve diğer teknolojilerdeki yeni gelişmelerle TBM makineleri tünel yüzeyini 12,2 m çapına çıkarabilmektedir. Bunların yerini alan delme ve patlatma yöntemiyle kazı en uzun tüneller için en ekonomik kazı metodu olmuştur. Bununla birlikte geniş yeraltı kazılarında ve kötü zemin şartlarında delme-patlatma yöntemi tercih edilen metottur.

Modern delici üniteler iki ya da üç delici kola sahip olabilir ve uzak sapa yerlerde bir kabloyla kontrol edilebilir, bilgisayarlı kontrolle daha harika bir delme işlemi gerçekleştirilebilir.

Bütün tünellerin kavşak bölgeleri ya at nalı ya da dairesel kesittedir. Kavşak bölgeleri  $9,3 \text{ m}^2$ 'den küçük olan tüneller genellikle delme-patlatma teknikleriyle sürülür.

Delme patlatmanın verimsiz dönemlerinden biri de bir patlatma sonrası tünelin havalandırılması dönemidir. Pek çok tünel inşaatı işi tek bir girişle yapılır. Bu giriş tünele temiz hava sağlamak için bir giriş ve tüneldeki patlatma sonucu oluşan gazlar için egzoz olmalıdır. Geniş havalandırma yolları dışarıdaki bir fandan aldıkları temiz havayı çalışılan yüzeye taşırlar. Bu nedenle işe tekrar dönmeden, duman ve patlatma sonucu serbest kalan gazların yoğunluğunu azaltmak üzere bekleme süresi gereklidir.

Bunun için beklenen performans hesaplanırken, tünel açma işleminde kullanılacak patlayıcılar seçilirken; duman miktarı ve patlatma sonucu serbest kalan zararlı gazlar dikkate alınmalıdır. Patlayıcıyı seçerken bu faktörleri minimumda tutmak devir süresini önemli oranda azaltabilir. Birçok ülkede patlatma ve tekrar işe başlama arasındaki zaman yasalar tarafından kontrol edilir (Anon, 1998).

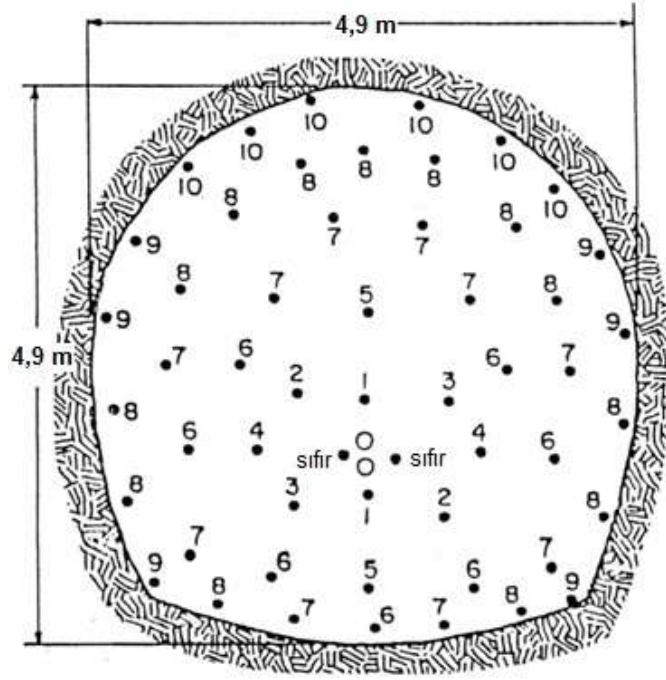
### **2.3.2. Tünel Sürme Metotları**

En çok kullanılan 2 yöntem; tam ayna metodu ve baş sürme ve basamak metotlarıdır. Diğer kullanılan metotlarsa pilot ve öncü tünel metotlarıdır. Metot seçimi zemin koşulları, tünel boyutları, delme, yükleme ve nakliye araçlarının özellikleri, gerekli iş programı ve diğer faktörler göz önünde bulundurularak yapılacaktır (Anon, 1998).

#### *2.3.2.1. Tam Ayna Yöntemi*

İsminden de anlaşılacağı gibi bu metot dairesel tasarımla, tek patlatma da kesit alanının çıkartılmasıyla meydana gelir. Bu işlem genellikle küçük çaplı tünellerde kullanılır (Şekil 2.6.). Fakat son yıllardaki gelişmelerle daha geniş tünellerde de uygulanabilmektedir. Son teknoloji ile  $9,1 \text{ m}$ 'ye kadar olan bütün tünellerde kullanılabilir.

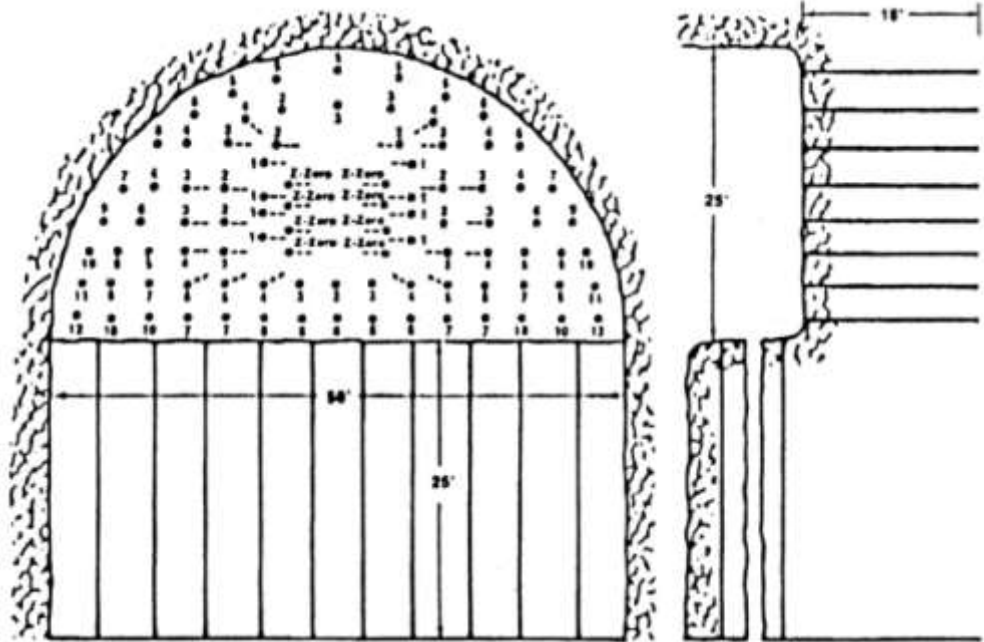
Tam ayna tünelde zayıf ya da istikrarlı olmayan zeminlerle karşılaşıldığında delik derinliğinin kısa tutulması ve delik çapının minimize edilmesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda sorumlu kişiler mevcut zemin koşullarına adapte olabilen başka bir yöntem seçebilir ve tünel metodunu değiştirebilir.



Şekil 2.6. 127mm çaplı paralel kesme delikleri kullanılan 4,9m çaplı tünel kesiti (Anon, 1998)

### 2.3.2.2. Baş Sürme (Top Heading) ve Basamak Yöntemi

Bu yöntem çoğu tünelde yıllarca uygulanmıştır. Hala zayıf zeminlerde ve yüksekliği 9,1m'yi geçen tünellerde kullanılır. Tahkimat yapıldıktan sonra alt kısım basamaklar halinde çıkartılır (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Tünelin tavan kısmında baş sürmeyi içeren tavan baş sürme ve basamak yöntemi (Anon, 1998)

Zemin güçlendirici elemanlar kurulduktan sonra zayıf bölüm dikey (ya da bazen yatay) basamaklarla alınır. Düşey basamaklar kullanıldığı zaman, çok katlı sıralar seri bir ateşlemeyle gecikmeli elektrikli ya da elektriksiz patlayıcılarla patlatılır. Basamak yüksekliği pratikte en az 3 m. ya da daha fazla olmalıdır. Bunun gerekliliği ise kazı ve nakliye ekipmanlarının rahat çalışmasına imkân tanımak, yukarıda açılacak boşluk ile de dikey deliklerin delinmesine olanak sağlamaktır.

Baş sürme herhangi bir standart tip kazı aletiyle yapılabilir. Baş sürme normalde alt taraf alınmadan önce tamamlanmalı ve düzeltilmiş olmalıdır (Anon, 1998).

#### 2.3.2.3. Pilot Tünel Metodu

Bu metot birkaç tane büyük tünel kazısında kullanılmıştır. Fakat son yıllarda büyük tünel kazılarında kullanılmamaktadır. Fakat yinede geçerliliği kanıtlanmış bir yöntemdir.

Bu yöntemde klasik yöntemlerle, tünelin tam ortasından bir pilot tünel kazılır. Daha sonra bu pilot tünel ilk deliğe paralel başka delikler kullanılarak gerçek boyutuna kadar büyütülür. Pilot tünel, ana tünelde daha ileride olduğundan ilerideki formasyon hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Böylece tünel sürme metodu, ölçüler ya da diğer parametrelerde yapılması gereken zorunlu değişiklikler önceden bilinebilir. Bu nedenle bu metot derin tünel kazıları ve dağlardan geçen tünel kazıları gibi zor ve pahalı işlerde ya da diğer yeraltı işlerinde jeoteknik bilgileri elde etmek için özel bir metottur.

Bazen pilot tünel geniş tünellerin üst kısmından sürülür ve bu da kazıya kolaylık sağlar. Kaya saplamaları gibi donanımlar ana kazıdan önce kurulur (Anon, 1998).

#### 2.3.2.4. Öncü Tünel Metodu

Geçmişteki bazı uzun tünel işlerinde ek çalışma aynaları yaratmak için tünel güzergâhı boyunca kuyular açılmıştır. Eğer bu kuyuların derinliği fazla olursa veya ana tünelin önündeki kaya parçasının tetkiki isteniyor ise öncü tünel metodu kullanılabilir. Bu tünelin tek tarafına (15,2–22,8 m kadar yakın) tünele paralel daha küçük bir tünel kazılarak olur. Eğer öncü delik büyük formasyon değişiklikleriyle karşılaşırsa yeterli uyarıyı verebilir ve böylece gecikmeleri azaltmak için önceden ana tünel kazısında kullanılacak prosedüre gerekli değişimler uygulanabilir. Tüneller yan yüzeyleri arası

açılacak boşluklarla bağlantı yapılır ve bu bağlantılar nakliye, ekipman taşıma ve havalandırma için kullanılır (Anon, 1998).

### **2.3.3. Yeni Avusturya Metodu (NATM)**

NATM pek çok tünel otoriteleri tarafından metod olarak kabul edilmemektedir. NATM'nin bir düşünce şekli olduğu, metod olmadığı iddia edilmektedir. Bu metod da genel olarak tüneller alt yarı ve üst yarı şeklinde açılır.

Genel olarak geniş açıklıklı ve zayıf zeminlerde üst yarı–alt yarı tünel açmak uygundur. Üst yarı açılırken ayna çok büyük ise aynayı 2'ye 3'e veya uygun olan sayıda aynaya bölünür. Böylece küçük açıklıkları geçmek daha kolay olur. Ayna ister kazınsın, ister delinip patlatılsın kazı işleri bitince hava ile teması kesmek için yüzeye püskürtme beton atılır. Daha sonra iksa, bulon, çelik hasır döşenerek hesap edilen kalınlıkta püskürtme beton atılır. İşte bu birinci kaplama zemin tahkimatı olarak zemin yükünü taşır. Daha sonra alt yarı açılarak aynı şekilde tahkimat işlemi tamamlanır. Sonra tavana beton dökülür. Gerekiyorsa demir donatı ilave edilir.

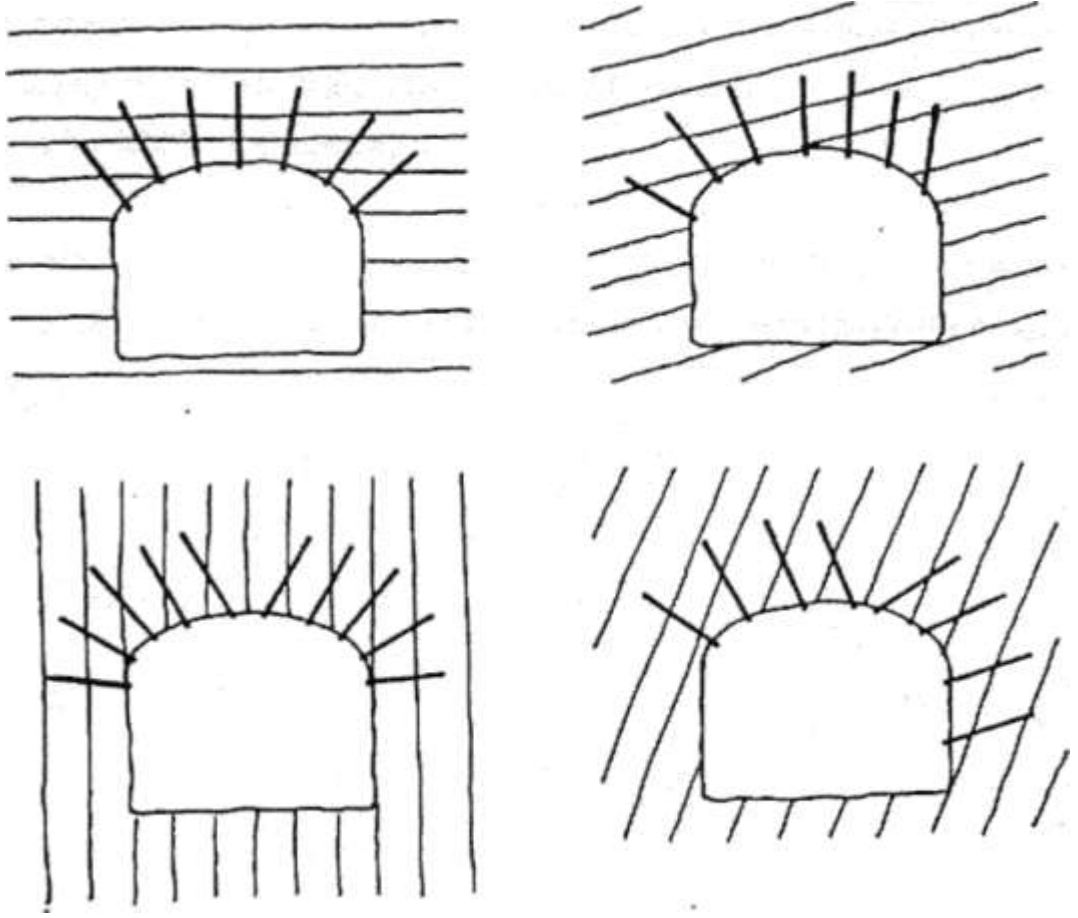
Bu metodla yapılan tünellerde bulon mümkünse aynadan geride yapılır. Tünelin biraz deplasman yapmasına müsaade edilir. Böylece bulonlara gelen yük azalır. Bulonlar tavanda şemsiye gibi sıralanınca, bir kemerleşme oluşur. Tavan zemin yükünü taşır hâle gelir. Bunun yarı sıra kaya bulonlarında çatlak ve düşmeye yatkın kayaların bağlanmasında kullanılır. Şekil 2.8.'de zemin içindeki çakılı bulonlar görülmektedir (Türkan, 2007).

Böylece kesitli, değişken zayıf zeminlerde pilot tünel uygulaması yapılır. Bu uygulama ile zemin hakkında daha detaylı bilgi elde edilir. Pilot tüneli büyütürken daha kolay ilerleme sağlanır.

Bu sistemde kullanılan makine ve ekipmanlar:

- Delici ekipman: Jumbolar, delici tabancalar,
- Blon ekipmanı: Blonlar, blon şişirme sistemi, çakma,
- Taşıma ve yükleme: Yükleyiciler, kamyon veya vagon sistemi,

- Havalandırma sistemi: Fanlar ve kanallar.

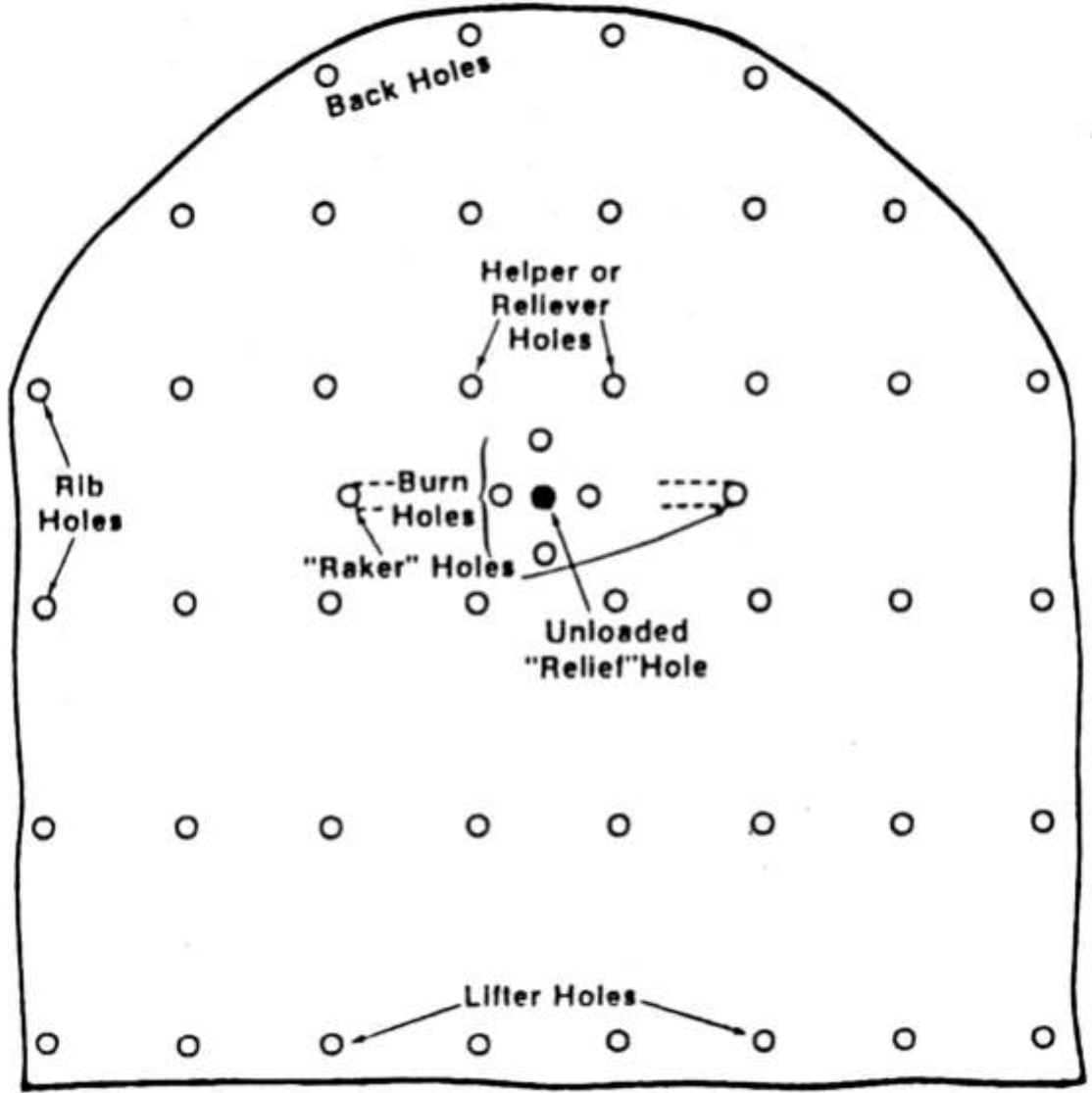


Şekil 2.8. Zemin içindeki çakılı bulonlar. (Türkan, 2007)

#### 2.3.4. Tünel Patlatmanın İlkeleri

Tünel patlatma, en zor patlatma yöntemlerinden biridir. Alan darlığından delik genişliği küçültülmelidir ve daha çok patlayıcı kullanılmalıdır. Patlatma faktörleri genelde 1,2-3,6 kg/m<sup>3</sup> arasında değişir. İlk delik açıldığında deliği büyütmek için başka delikler açılır ve bu delikler dikkatlice açılmalıdır.

Düşey tünel yüzeyine yatay ya da yataya yakın delikler açıldıktan sonra bunlar sırayla patlatılır. İlk delikler ara kesme olarak adlandırılır ve serbest yüzey oluşturmak amacıyla patlatılır (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Çeşitli deliklerde paralel kesme (Anon, 1998)

### 2.3.5. Delme ve Patlatma Döngüsü

Toplam döngü süresini optimize etmek için bazı işlemler verimli bir biçimde planlanmalıdır. Bu üç ana faaliyet:

1. Delme ( Patlatma Deliklerini )
2. Patlatma ( Yükleme, Sıkılama, Patlatma ve Havalandırma )
3. Pasa Nakli ( Patlatılmamış malzemeyi dışarı çıkarmak )

Bunların dışında havalandırma yolları, elektrik ve temiz hava ulaştırma ve kayaç sağlamlaştırma elemanlarının kurulumu gibi yardımcı diğer işler de yapılmalıdır. Bu



işler genellikle ilk patlatma sonrası pası nakli ile ikinci patlatma deliklerinin açılması arasındaki zamanda yapılır. Bazı tünellerde kaya sağlamlaştırma ve tahkimat işleri tüneller ilerlerken yapılır.

Her bir faaliyet için gerekli olan süre planlama sürecinde hesaplanmalıdır. İyi bir planlama, havalandırma için gerekli olan zaman kaybını ortadan kaldırır. Bunu başarmak için delme ve nakliye ekipmanlarını, delik delme paternini, delik derinliğini ve diğer faktörleri dikkatli seçmek gerekir. Örneğin tüneller kazısı ilerledikçe, ihtiyaç duyulan nakliye süresi, delik delme ve nakliye ekipmanlarının yeterliliği, delik sayısı, havalandırma için ihtiyaç duyulan süre, formasyon süreksizlikleri değişebilir (Anon, 1998).

### **2.3.6. Başlama Deliği**

Başlangıç kesmesi tünellerin patlamasının en önemli kısmıdır. Eğer delik aşağı doğru çekilmezse ve aynadan tamamen çıkartılmazsa kalan delikler etkili bir şekilde kırılmaz. Düzgün uygulanması kalan delikler için bir hareket ve genişleme rahatlığı kazandırır. Bugün dünya çapında kullanılan birçok patlatma deliği türü vardır. Sınıflandırılmalarını kolaylaştırmak için 2 ana gruba ayrılır (Anon, 1998):

1. Açılı kesme

2. Paralel kesme

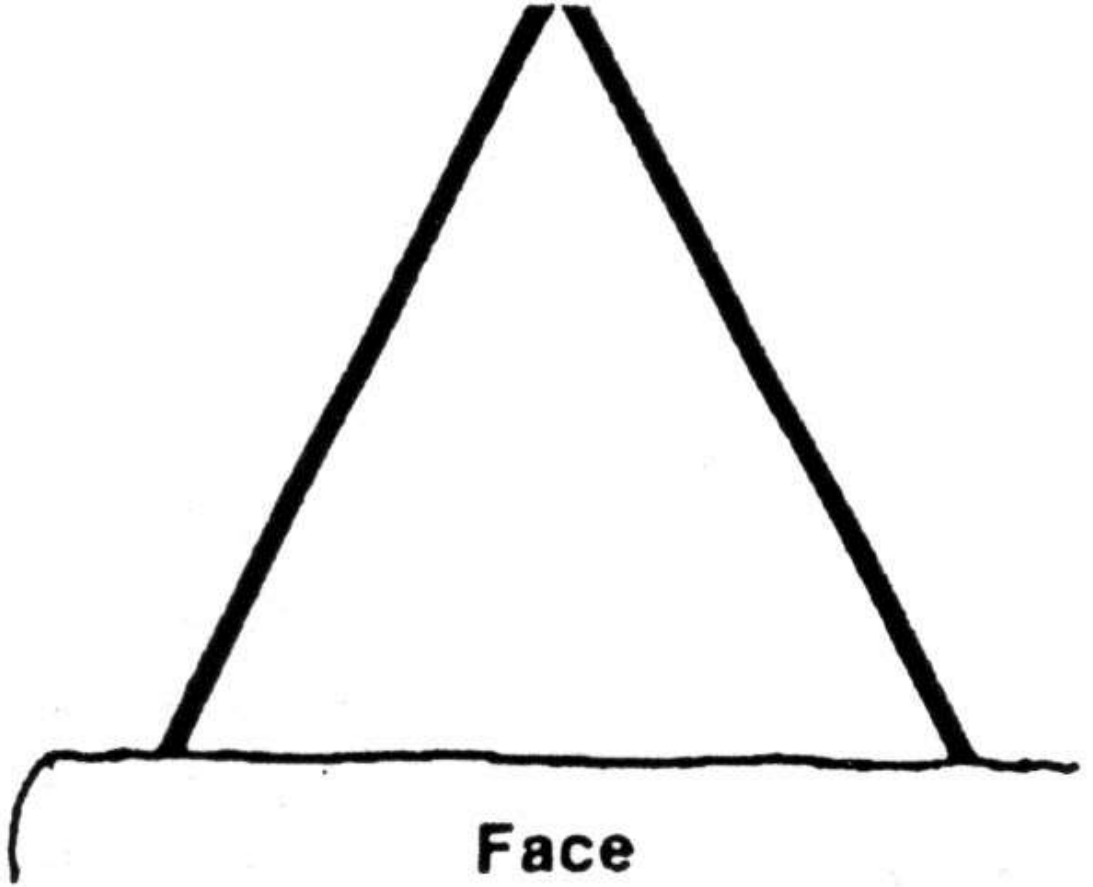
#### *2.3.6.1. Açılı Kesme*

Açılı kesmeler, genelde geniş kesitli alanlarda kullanılır. Baş sürme deliklerinin aynada dağılmış ve ufak açılarla delinmesine olanak verecek büyüklükte olmalıdır. Bundan dolayı ilerleme tünellerin genişliğine de bağlıdır. Genellikle tünellerin genişliğinin %45–50'si kadar olmalıdır. Örneğin 3 m genişliğindeki bir tünellerde kabul edilebilecek en derin açılı kesme 1,5 m dolaylarında olacaktır.

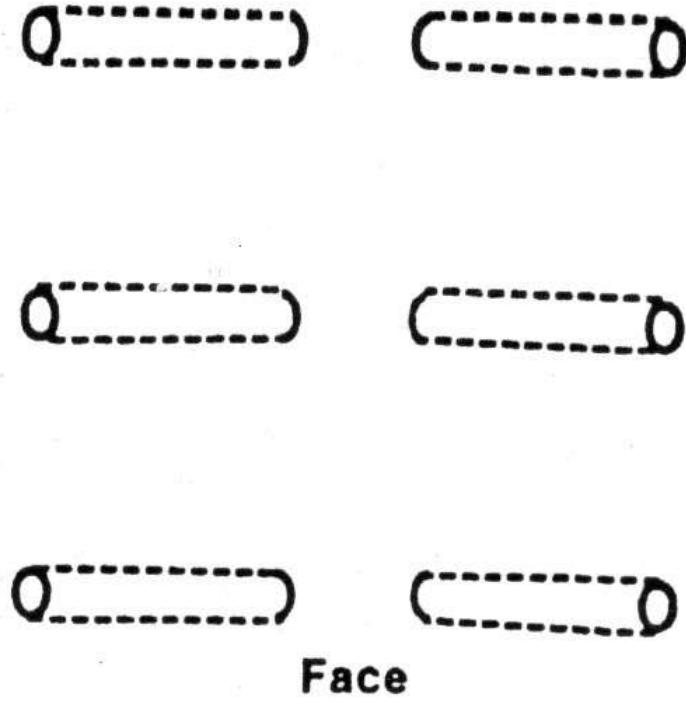
Açılı kesmede, bir devirde daha az delik ve patlayıcıya ihtiyaç duyulur. Buna rağmen, sürme genişliğinin sakıncaları yanında yataklanma ve delik açısı değişiminden kaynaklanan dezavantajlarda mevcuttur. Açılı deliklerle yapılan kazıda, patlatma sırasında kopan kaya parçalarının havalandırma sistemine ve diğer ekipmanlara zarar verme riski azalır.

Aynı zamanda, paralel delik delmeden daha az delik kullanılsa da aynı ilerlemeyi sağlamak için deliklerin boyları daha uzun olmalıdır.

Her V kesme, aynada 2 noktada açılan ve dip kısmında birleşen 2 delikten oluşur (Şekil 2.10.). Asıl kesme, bir V kesmesi veya paralel açılan delikler olabilir (Şekil 2.11.). Buradaki delik sayısı kayacın yapısal özelliklerine bağlıdır. Açılı kesmenin V kesme, yelpaze kesme veya çekiç kesme gibi birçok türü vardır (Anon, 1998).

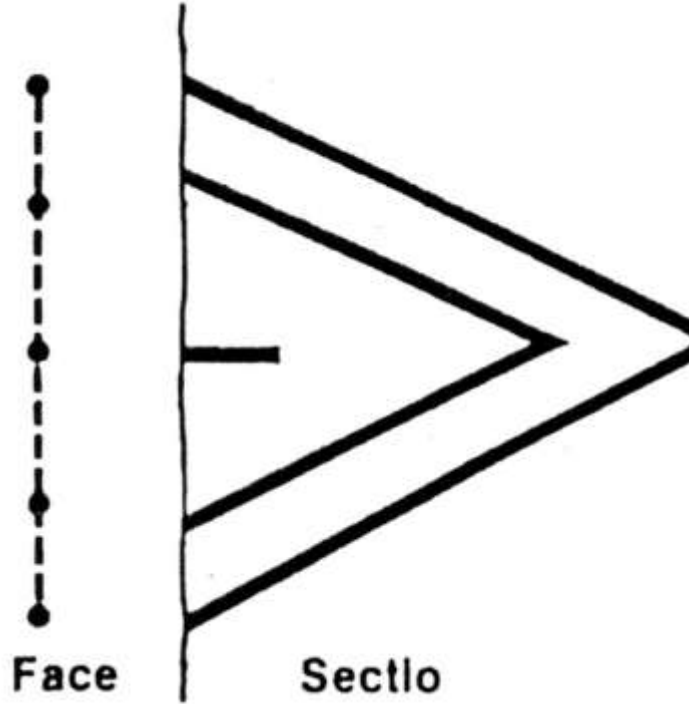


Şekil 2.10. Her V kesme, aynada 2 noktada açılan ve dip kısmında birleşen 2 delikten oluşur (Anon, 1998)



Şekil 2.11. Asıl kesme (Anon, 1998)

V kesme, açılı kesmenin en eski yöntemlerinden biridir. Daha küçük boyutlu V kesme, küçük V kesme diye adlandırılır (Şekil 2.12.). “Buster” delikleri bazen daha derin açılı kesmeleri kırmak için kullanılır.



Şekil 2.12. Küçük olan V, küçük V kesme diye adlandırılır (Anon, 1998)

Milisaniye geciktiriciler kullanıldığı zaman, yapılacak iş ciddi sorumluluk ve dikkat gerektirir.

#### 2.3.6.2. *Paralel Kesme*

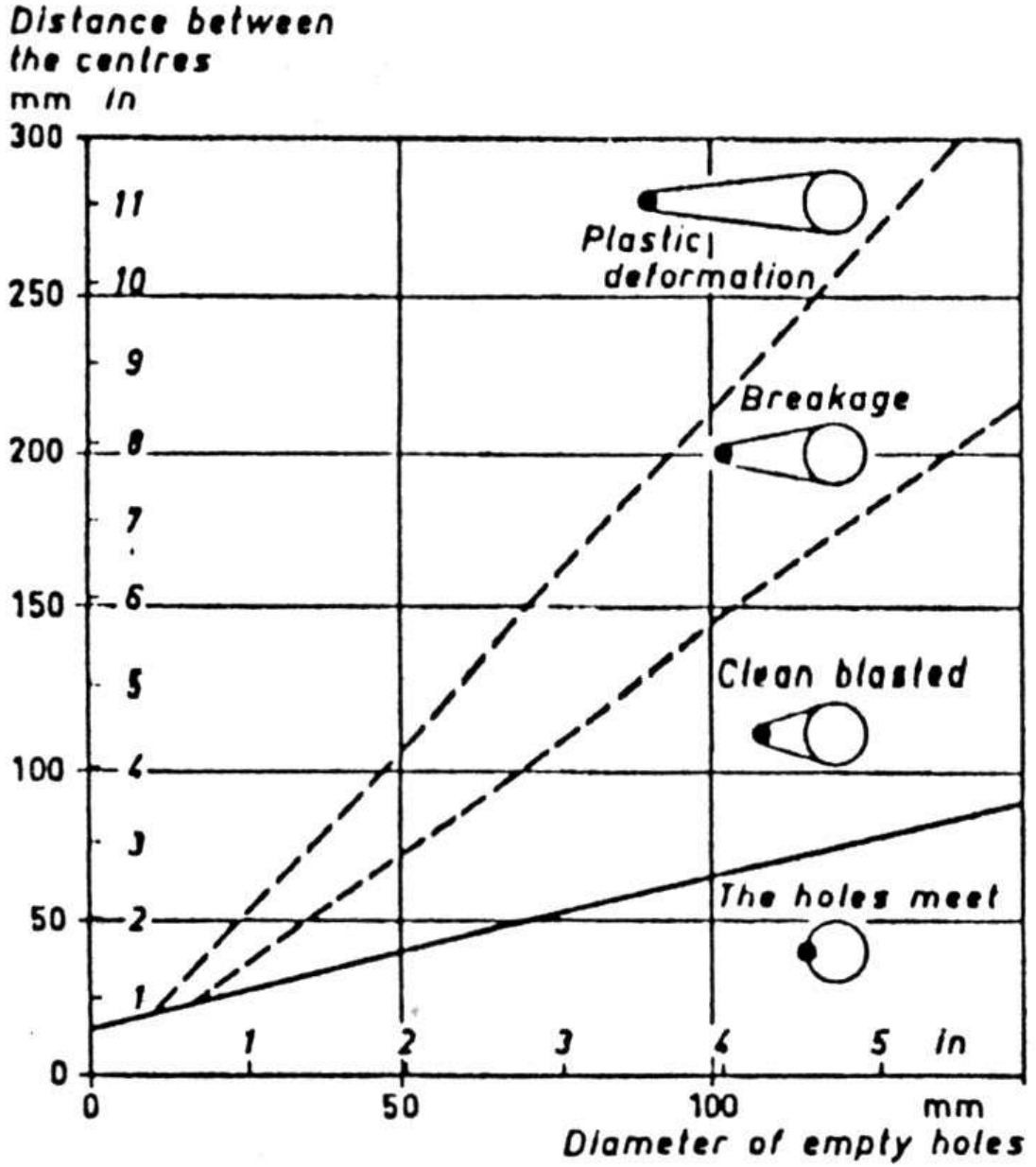
Genellikle daha kısa devirlerde kullanılan bir yöntemdir, fakat en küçük kesitten, en büyük kesit alanlarına kadar geniş bir yelpaze içindeki uygulamalarda kullanılabilir. Tünelcilikte en geçerli kesme yöntemlerinden biridir. Paralel delik kesimlerinde normal boyutlu delikler birbirlerine paralel ve bir veya daha fazla geniş deliklerin etrafında delinirler. Bu geniş delikler patlayıcı ile şarj edilmez.

Paralel delik kesmeleri, delik delme şeklini değiştirmeden, tünel genişlemesine uyum sağladığı için açılır. Ayrıca bir diğer avantajı da daha iyi bir gelişme, ilerleme (delik derinliğine bağlı olarak), daha iyi patlama ve daha az kaya fırlaması olmasıdır (Anon, 1998).

#### **2.3.7. Aralıklı Dizim ve Paralel Kesmelerin Şarjı**

Aralıklı dizim ve deliklerin şarjı yüksek oranda bir ilerleme için kritik bir önem taşır. İyi bir kesme ve tasarımla delik derinliğinin %90-%95'i kadarı kazanılabilir. Kesme deliklerinin şarjı ve açma delikleri yönetmeliklerde belirtilen değerlerde olmalıdır.

Genel olarak boş deliklerden, merkez uzaklıkları boş delik çapının 1,5 katı olmalıdır. Böylece 100 mm.'lik boş delik çapından en yakın delik 150 mm. Mesafede olmalıdır. Eğer mesafe azaltılırsa patlayıcılar birbirlerine bağlı patlarlar (flash over). Eğer mesafe boş delik çapından 2 kat fazla ise istenen şarj konsantrasyonu o kadar yüksek olur ki bu plastik deformasyona ve beraberinde ani patlama riskinin artmasına yol açar (Şekil 2.13.).



Şekil 2.13. Boş delik mesafelerine ve delik boyutlarına bağlı patlatma sonuçları (Anon, 1998)

### 2.3.8. Üretim Delikleri Konfigürasyonu ve Şarj

Başlangıç deliği açıldığında, daha önceden patlatılmamış delikleri kırma olasılığı yüzünden üretim deliğine çok dikkat edilmelidir. Üretim deliklerinin amacı:

- Başlangıç kesmesiyle aynı ilerlemeyi sağlamak
- Tatmin edici bir kırılma sağlamak
- Tünel uygulamalarını sekteye uğratmayacak şekilde kaya parçalanmasını sağlamak.

Genel olarak uygun delici ve delici sayısıyla daha geniş çaplı delik bize en ekonomik delme ve patlatma maliyetini sunar. Bu durum özellikle geniş tüneller için geçerlidir (Anon, 1998).

### **2.3.9. Tünel Patlatmalarında Perimetre Kontrolü**

Perimetre kontrol patlaması fazla sökülme (overbreak) ve yan kayanın zarar görmesini minimize etmek için yakın delik kullanımı ve hafif şarj uygulanmasını içerir. Perimetre kontrolü, kayanın yapının bir parçası olduğu ve sabit kalması istendiği kabul edildiği tünel patlatmalarında önemlidir.

Perimetre kontrolü kayacın stabilitesinin korunması açısından önem taşır. Patlatma sonucu kayada çatlaklar oluşursa ve kayacın suya dayanımı gibi faktörler de bu durumu desteklerse kayacın bir bölümü özniteliklerini kaybederek ana kütlede ayrılacaktır. Yüksek şiddette bir patlatma sonucu nakliye, beton ve püskürtme beton giderleri de artacaktır. Aynı zamanda aşırı ufalanma ve çevresel yüzey genişlemesi tünel içerisindeki suyun artmasına da neden olacaktır.

Çeşitli avantajlarına ve ekonomikliğine rağmen, kaya kütlelerinin kırılabilir veya aşınmış veya eklem yönelimlerinin destek olamayacağı durumlarda perimetre kontrol patlatmasının işe yaramayacağına dair çok yaygın bir inanış vardır. Gerçek olan şudur ki perimetre kontrol prosedürü kullanımı kötü kalite kayalarda işe yara ve iyi sonuçlar elde edilebilir (Anon, 1998).

#### *2.3.9.1. Tünelcilikte Perimetre Kontrol Teknikleri*

İyi perimetre kontrol patlatma sonucunun anahtarı, dikkatle dağıtılmış, yakın ve hafif şarj edilmiş deliklerdir. Perimetre delikleri detonasyon sürecinin sonunda ateşlenmeli ve delikler arası ateşleme süreleri olabildiğince az olmalıdır.

Eğer vibrasyon izin veriyorsa aynı gecikmeyle, aynı anda patlatılmalıdır. Bu yüksek ivmeli detonatörler ve milisaniye gecikmelerle yapılabilir (Ortamin izin verdiği ölçüde).

#### *2.3.9.1.1. Perimetre Kontrol Patlayıcıları*

İsveç ve diğer İskandinavya ülkeleri dışında yıllardır 11–12 mm. Çaplı kartuşlar kullanılır. Patlatma sırasındaki hasarları önleyebilecek hafif yoğunluktaki kartuş perimetre kontrol patlayıcılarını tedarik etmek oldukça zordur. Çoğu durumda perimetre delik şarjı için 42,5 g/m – 85 g/m detonasyon şeridi kullanılır.

#### 2.3.9.1.2. Delik Delme Hızı

Delik delme ve patlatma kazısında, en iyi patlatma tasarımlarının bile kaya yapısı hakkında yeterli bilgi sahibi olunmadığı takdirde, bir önemi yoktur. Delik delme hızı çok önemlidir ve genellikle perimetre kontrol patlatmalarının başarısındaki en önemli unsurdur. Eğer delikteki boşluk ve delik dibindeki sıkılama bir yaka gibi aynı değilse patlatma sonunda beklenenden uzak bir sonuç elde edilmesi kaçınılmazdır. Perimetre kontrol teknikleriyle ilgili Cambridge’de yapılan bir araştırmada bulunan sonuçlara göre çalışılan tüneldeki aşırı ufalanmanın nedeni uygunsuz patlatma teknikleri ya da zayıf kayaç dayanımı değil, yetersiz delik delme kontrolüydü.

#### 2.3.9.1.3. Perimetrede İlk Seri Deliklere Uygulanan İşlemler

Perimetre kontrol patlatmaların tasarımı ve başlatılmasında ilk serinin incelenmesi önemlidir. Burada deliklerin yüksek şarjı arka kırılmaya ve perimetre deliklerinin karşısındaki ayna yüzeyinin zarar görmesine yol açar bu seride kısa mesafeli delikler ve hafif şarj kullanılmalıdır (Anon, 1998).

### 2.3.10. Delik Delme ve Şarj

Genişleme oranı, oluşan düzgün ufalanmaya ve her patlatmada deliğin en dibine kadar parçalanmanın oluşumuna bağlıdır. Yüksek güçteki patlayıcılar buna bağlı olarak kullanılır. Yüksek hızlı tünelcilik için diğer gereklilikler, iyi plastiklik ve bağlılık, yüksek şarj ve uygun duman özellikleridir.

Ortamın kuru olduğu durumlarda çoğu yüksek hızlı tünelcilikte ANFO kullanılır. Kesme deliklerinde kullanılan yüksek enerjili patlayıcılar, diğer deliklerde ANFO’nun tetikleyicisi olarak kullanılırlar (Anon, 1998).

### 2.3.11. 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 işlemleri tamamlandıktan sonra edlik 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.

### **2.3.12. 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.

Basınçlı kap sistemi ANFO'yu yarı iletken şarj hortumları vasıtasıyla sıkılama deliklerine şarj eder. Basınçlı 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).



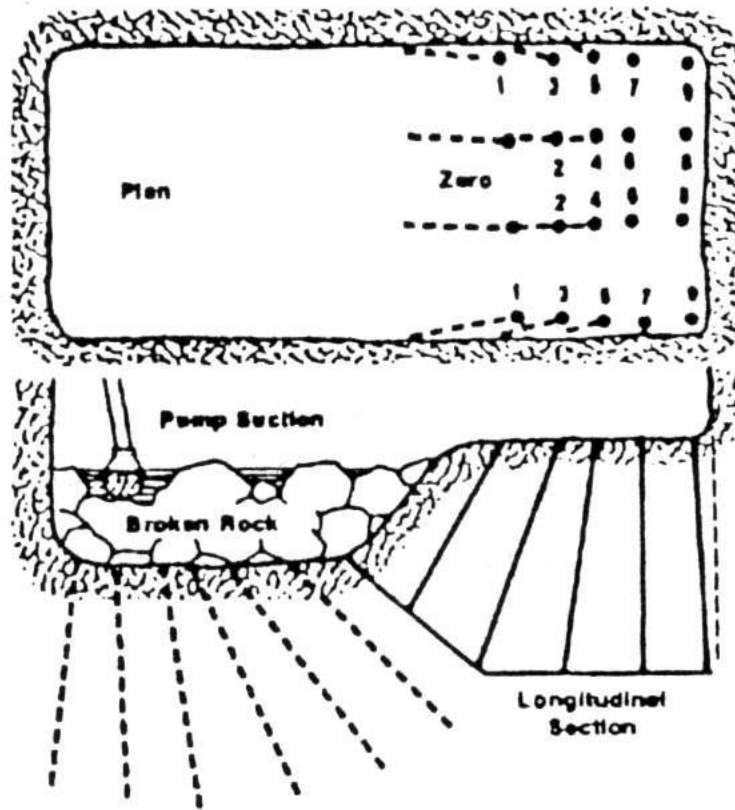
### 2.3.13. Pnömatik Şarj (Kartuş Emülsiyonları, Sıvı Jel)

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).

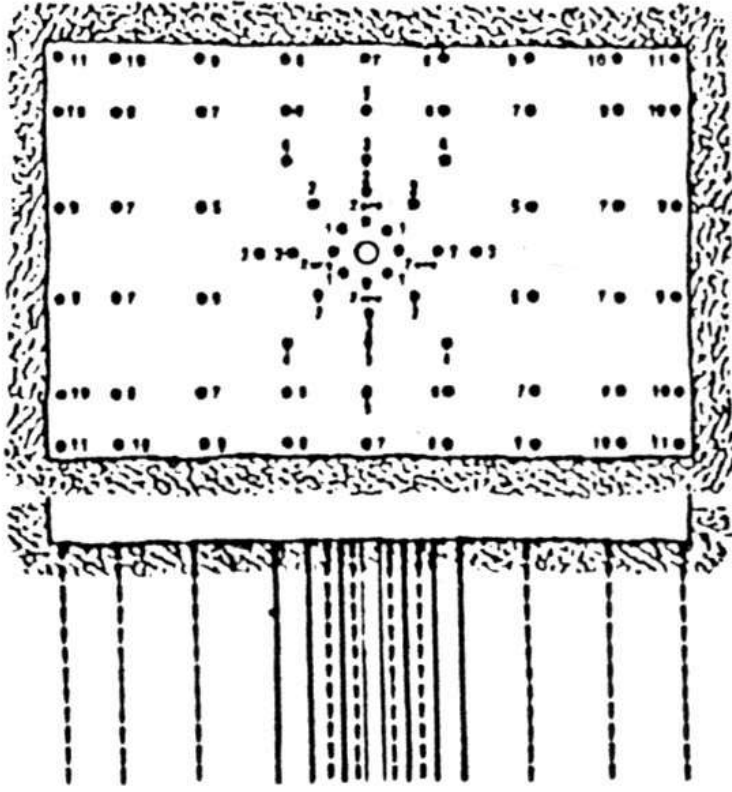
### 2.3.14. Kuyu Tasarımı

Tünel tasarımındaki parametreler ve özel ekipmanlar bazı modifiyelerle burada da kullanılabilir. Kullanılan yöntemler;

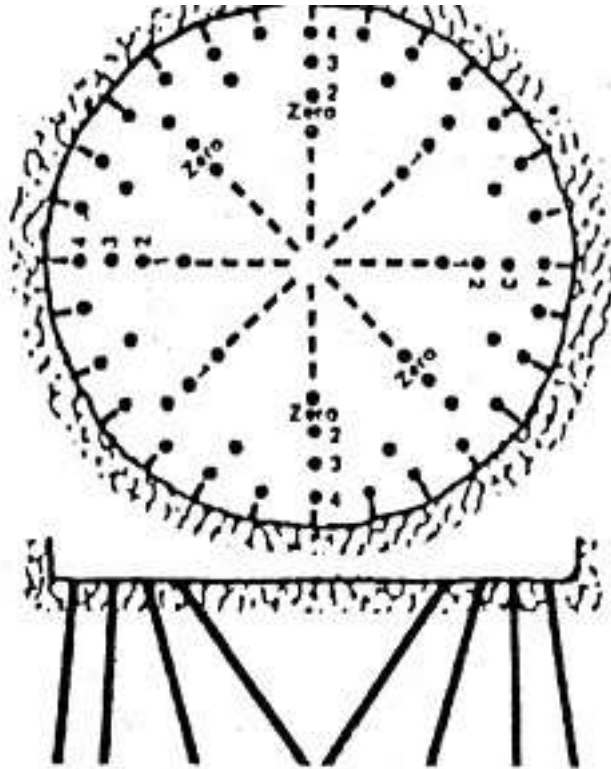
1. Basamak Yöntemi (Şekil 2.14.)
2. Gevşetme Deliği Şekli Kuyu (Şekil 2.15.)
3. Piramit Kesim (Şekil 2.16.)
4. V Kesme (Şekil 2.17.)



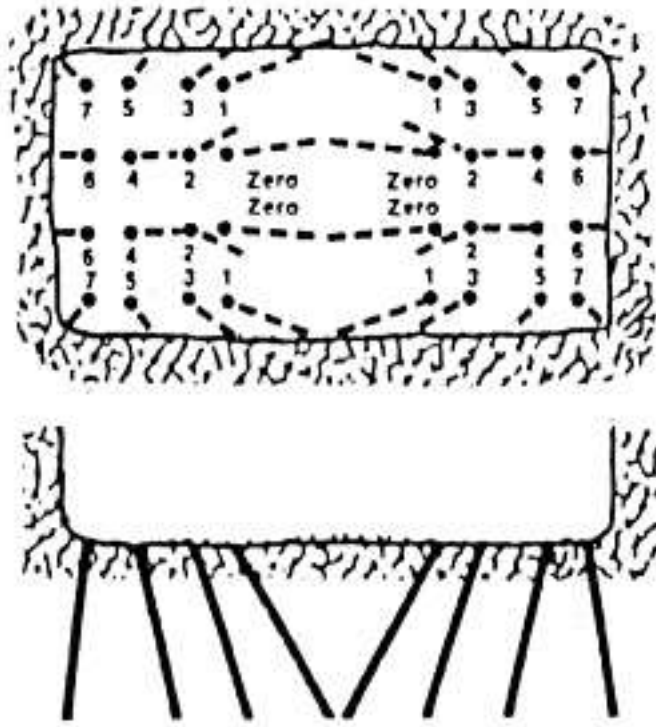
Şekil 2.14. En etkili kuyu açılma yöntemlerinden biri basamak yöntemidir (Anon, 1998)



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)

#### 2.3.14.1. Kuyu Çökmesi

Kuyu çökmesi en zor ve patlatma işi isteyen durumlardan biridir, bunun nedenleri;

- Doğal formasyon derine inildikçe çeşitlilik kazanır
- Çalışma sahası genelde nemli, gürültülü ve tıkanmıştır.
- Patlatılmış kaya yavaş ve zayıf, çatlaklı kayayı kazmada etkisiz özel ekipmanlar tarafından çıkarılmalıdır.
- Düşen maddelere karşı ekipman ve personel korunmalıdır

Bu farklı durumlar için etkili ve güvenli bir patlatma operasyon tasarımı yapmak özellikle çok önemlidir (Anon, 1998).

#### 2.3.14.2. Patlayıcılar

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. Kuyu çökmelerinde barut faktörü oldukça yüksektir(1,8-4,2 kg/m<sup>3</sup>).

Kuyu, elektrik veya nonel gecikmeli detonatörlerle ateşlenebilir. Detonasyon genellikle orta ve uzun periyotlu gecikmelerle yapılır. Kuyu ateşlemesi için patlatma makinaları kullanımı tercih edilen bir metottur. Bu patlatma için tasarlanmış kısa, yüksek enerjili itme sağlar. Nonel sistem, nonel araçlarıyla ateşlenebilir (piezoelektrik başlatıcılar, pompalı primerler v.s.) veya yine elektrikli sistemle başlangıç sağlanabilir. Nonel sistemler, elektrik sistemlerin yarattığı problemler yüzünden daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır (Anon, 1998).

#### **2.4. PATLATMADAN KAYNAKLANAN ÇEVRESEL SORUNLAR**

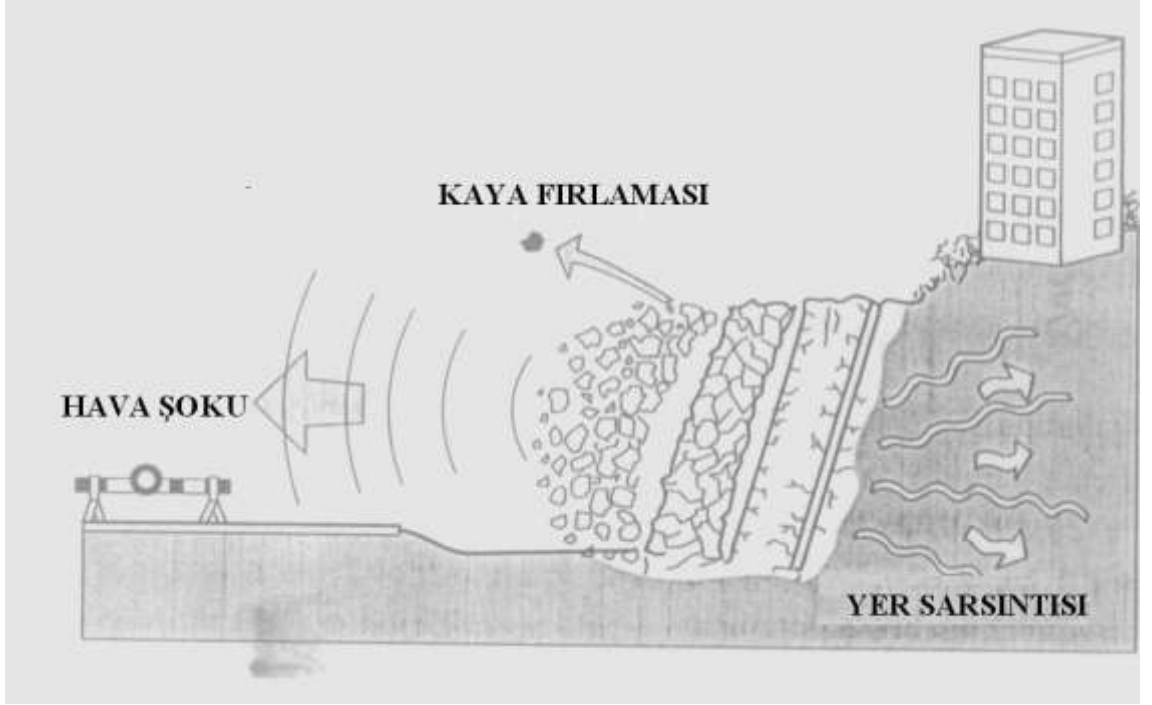
İnsanlık tarihi incelendiğinde barutun icadından beri patlayıcı madde kullanımına rastlanmaktadır. Son birkaç yüzyıldan beride patlayıcı maddeler ağırlıklı olarak askeri amaçların dışında kaya kütlelerini parçalamak amacı ile kullanılmaya başlanılmıştır. Patlayıcı maddelerin kaya kütlelerini kırma amacı 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 2.18’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 2.18. 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 gerçekleştirilebilir.

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 atılımlarını 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.

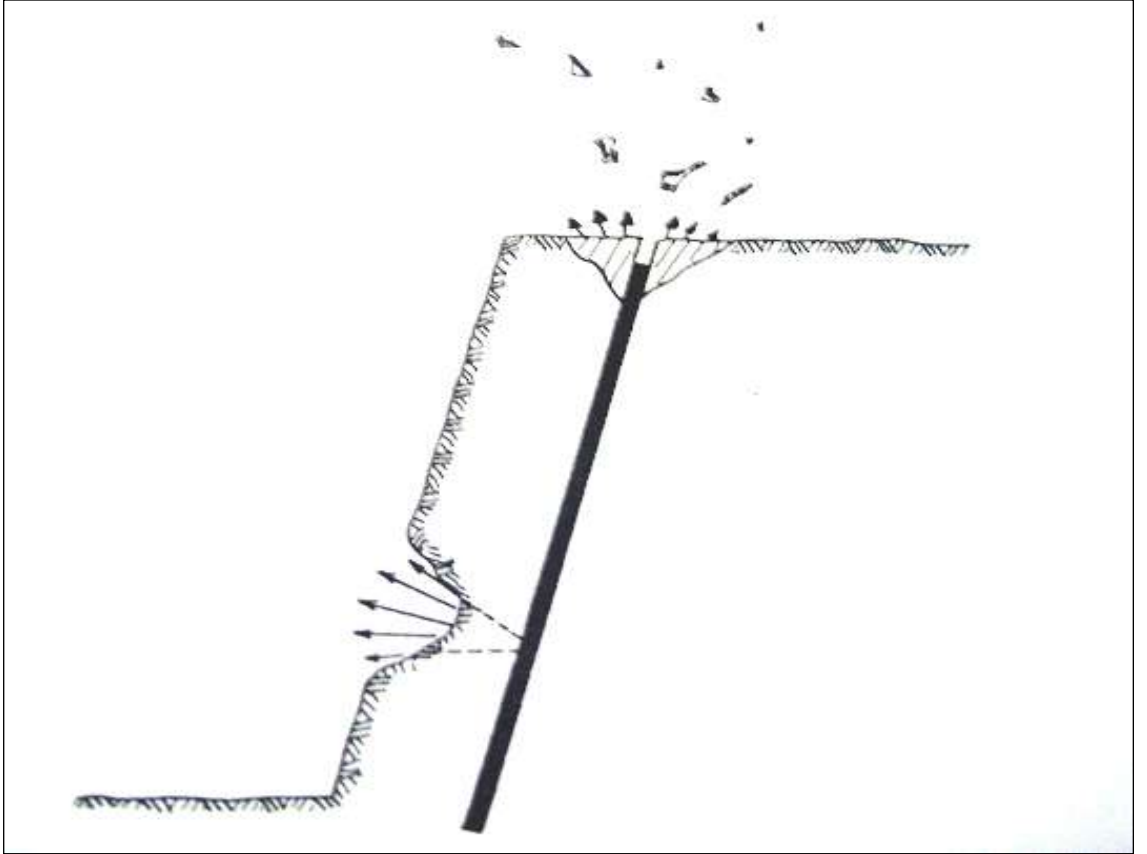
Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerin bir çoğunda patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin kontrolüne yönelik olarak değişik hasar kriterleri geliştirilmiş olmasına rağmen, titreşim hasarlarını; inşaatların doğal yerleşmesinden, uygun olmayan konstrüksiyon ve alt yapı yaşlanmasından kaynaklanan hasarlardan 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).

#### 2.4.1. 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 öter.

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 2.19.).



Şekil 2.19. 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.

#### **2.4.2. 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).

#### **2.4.3. 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 sarsıntıları 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/sn<sup>2</sup>)
- 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).

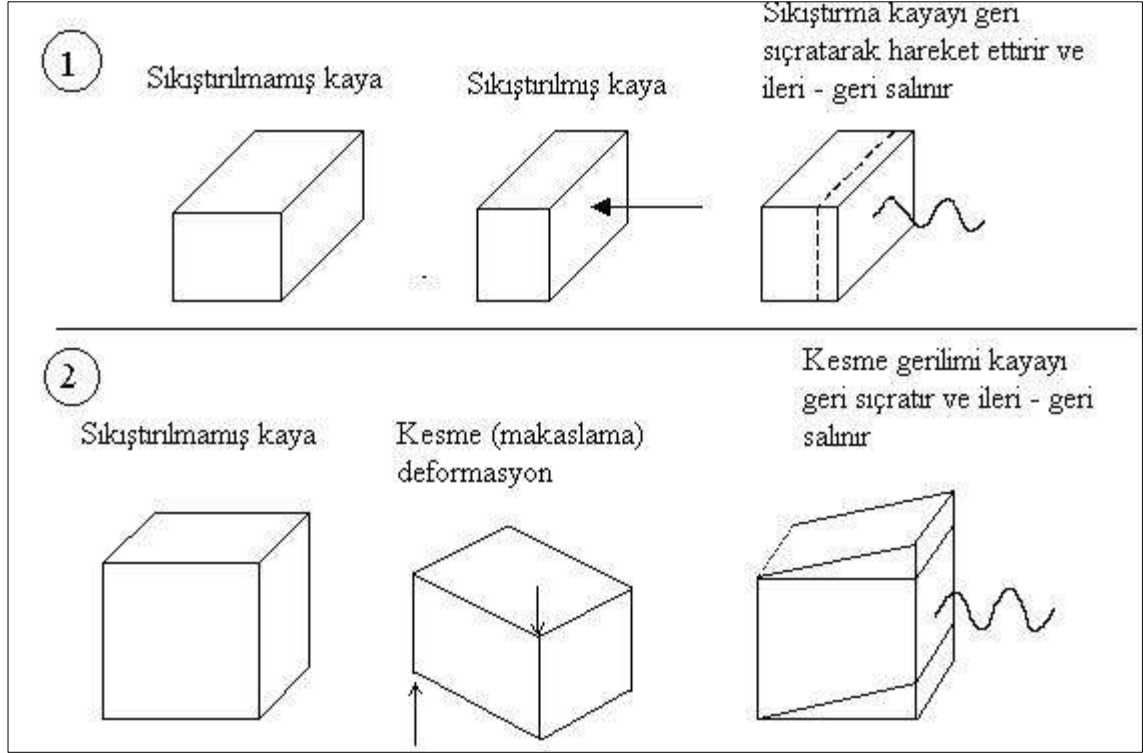
#### *2.4.3.1. Yer Sarsıntısının Oluşumu ve Genel Karakteristikleri*

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 2.20.).



Şekil 2.20. Sismik dalgaların kaya ortamı içinden geçerken yarattıkları deformasyon (Konya ve Walter, 1991)

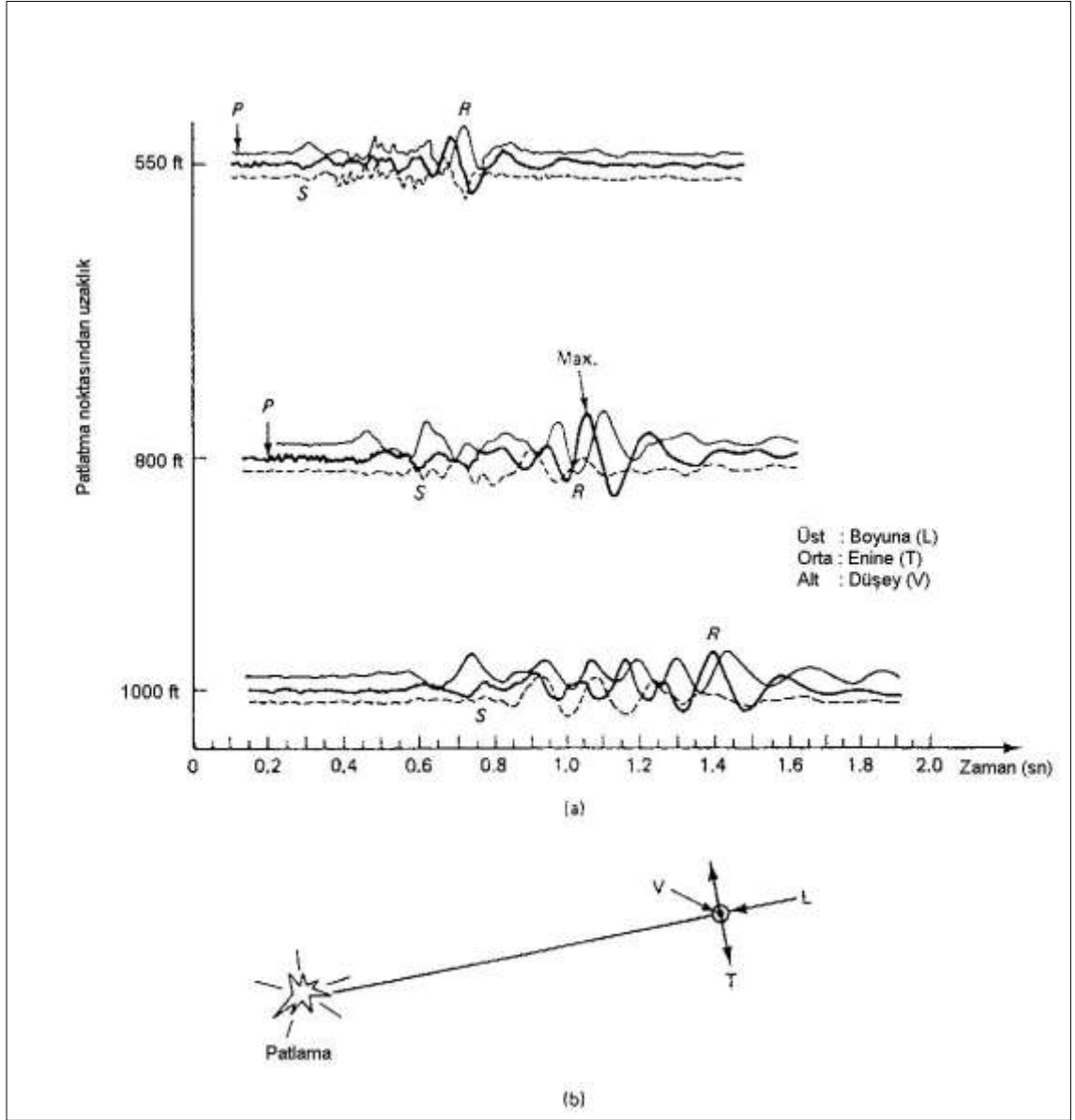
Titreşimler, zemin özelliği taşıyan bir tabaka ile örtülü kayalık bir ortamda yayıldığında, genellikle titreşimlerin frekansı ve genlikleri zemin özelliklerinden etkilenir. Zemin genellikle kayalardan daha az bir elastik modüle sahiptir. Bu nedenle, dalga yayılım hızı bu tür malzemelerde azalmaktadır. 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.

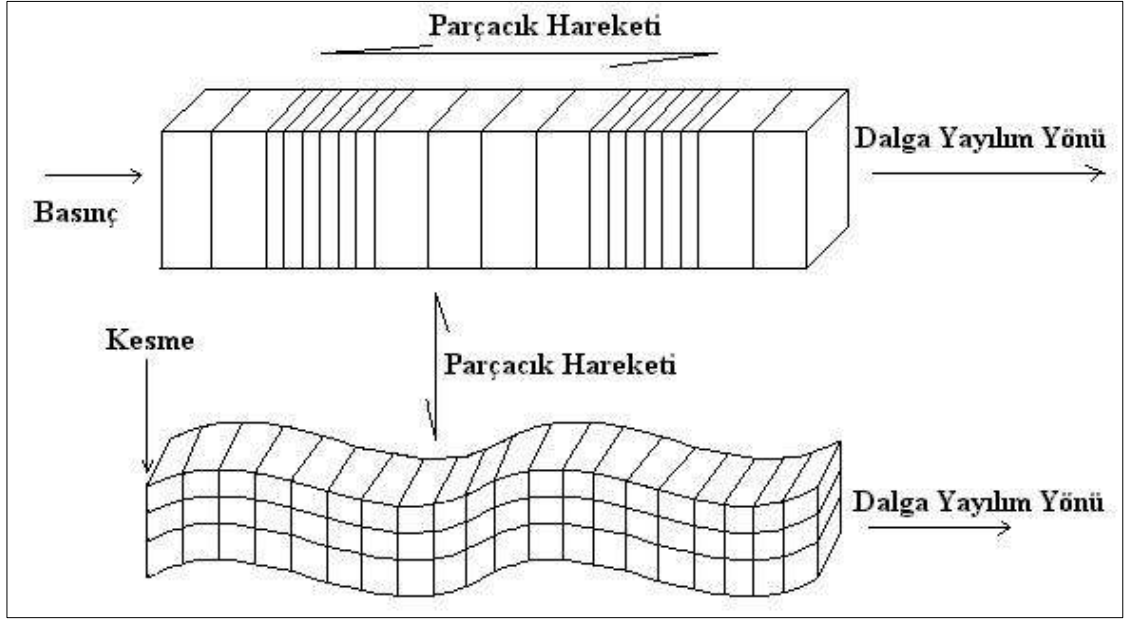
Kaya kütlesi içinde patlatılan bir patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir. İlk başta ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır. Eğer, ortam yeni gelen enerjiye 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 Şekil 2.21'de R ile gösterilen Rayleigh dalgasıdır. Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.22.). 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).

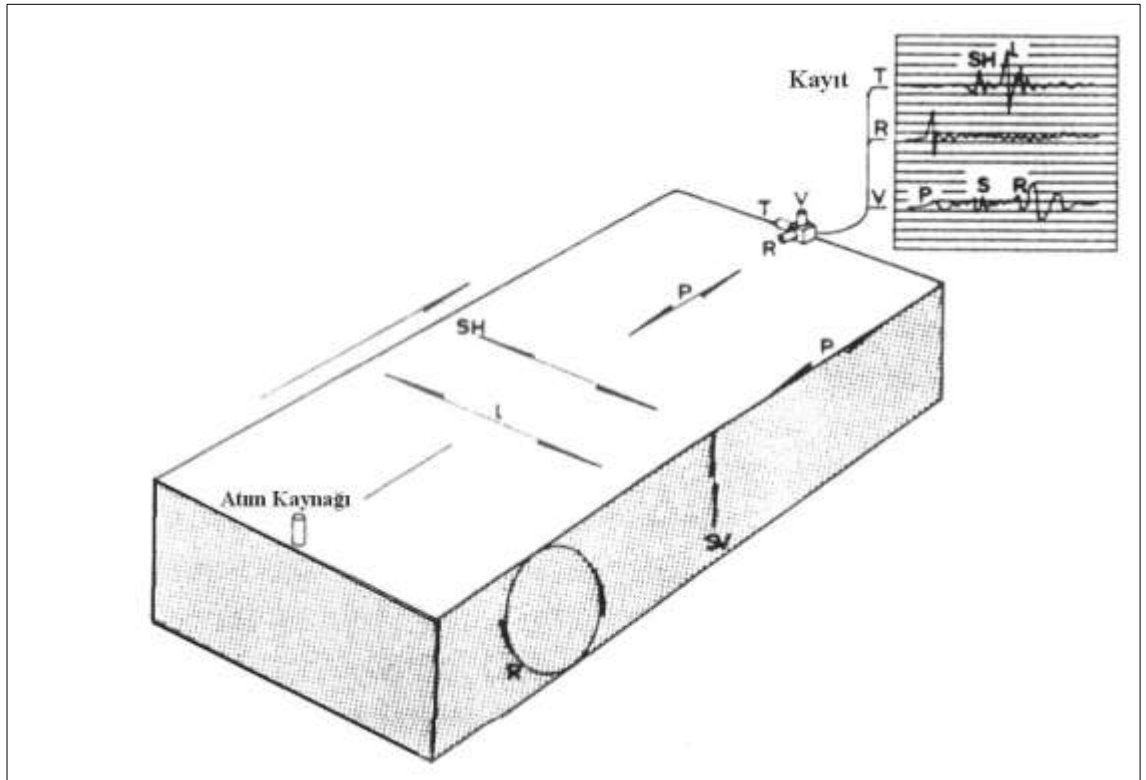


Şekil 2.21. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu (Dowding, 1985)



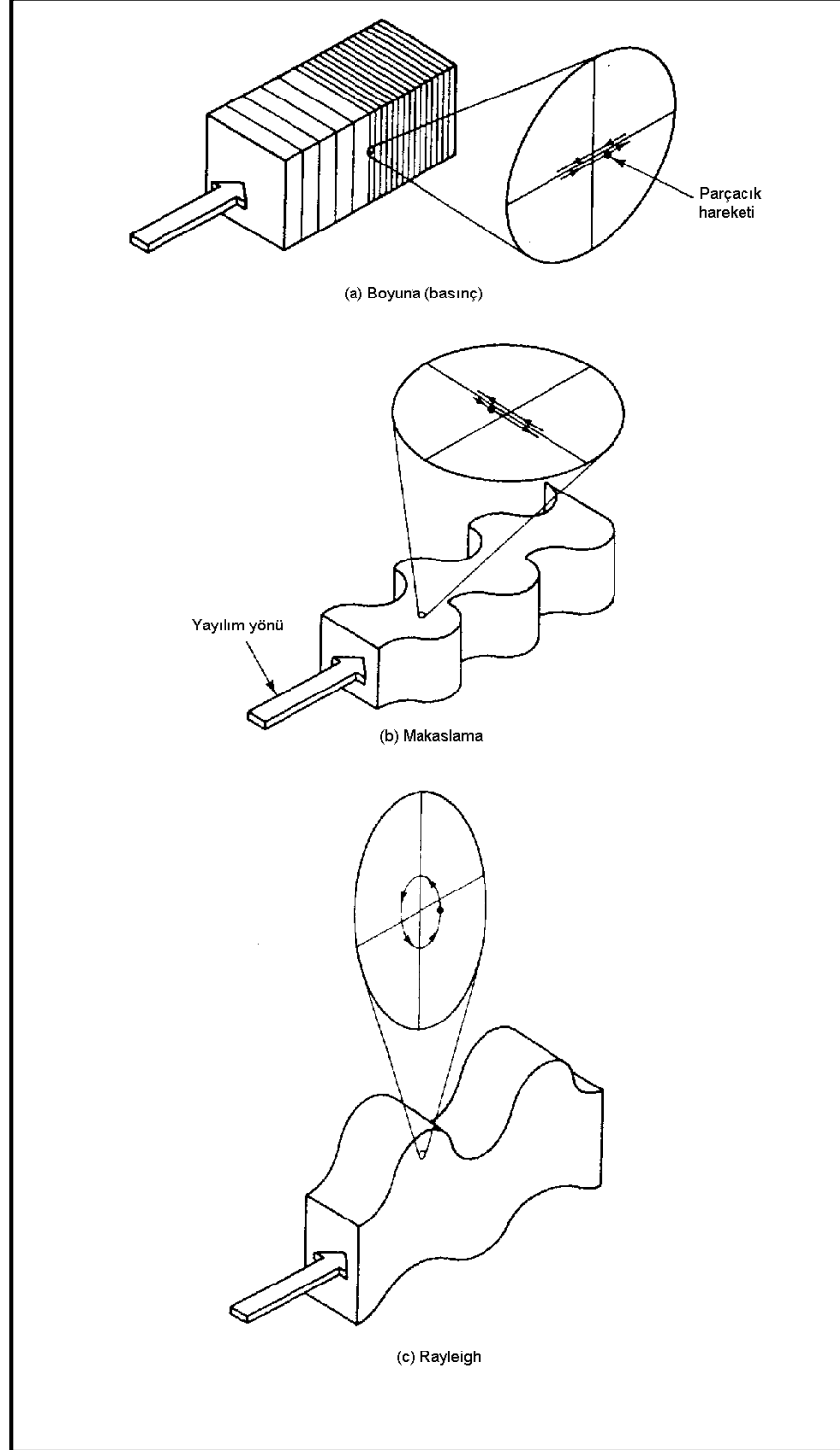
Şekil 2.22. Basınç ve kesme dalgaları (Konya ve Walter, 1991)

Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. Şekil 2.23.'te görüleceği üzere parçacık hareketi tam olarak üç bileşeni (boyuna (R), enine (T) ve düşey (V)) ile tanımlanmaktadır.



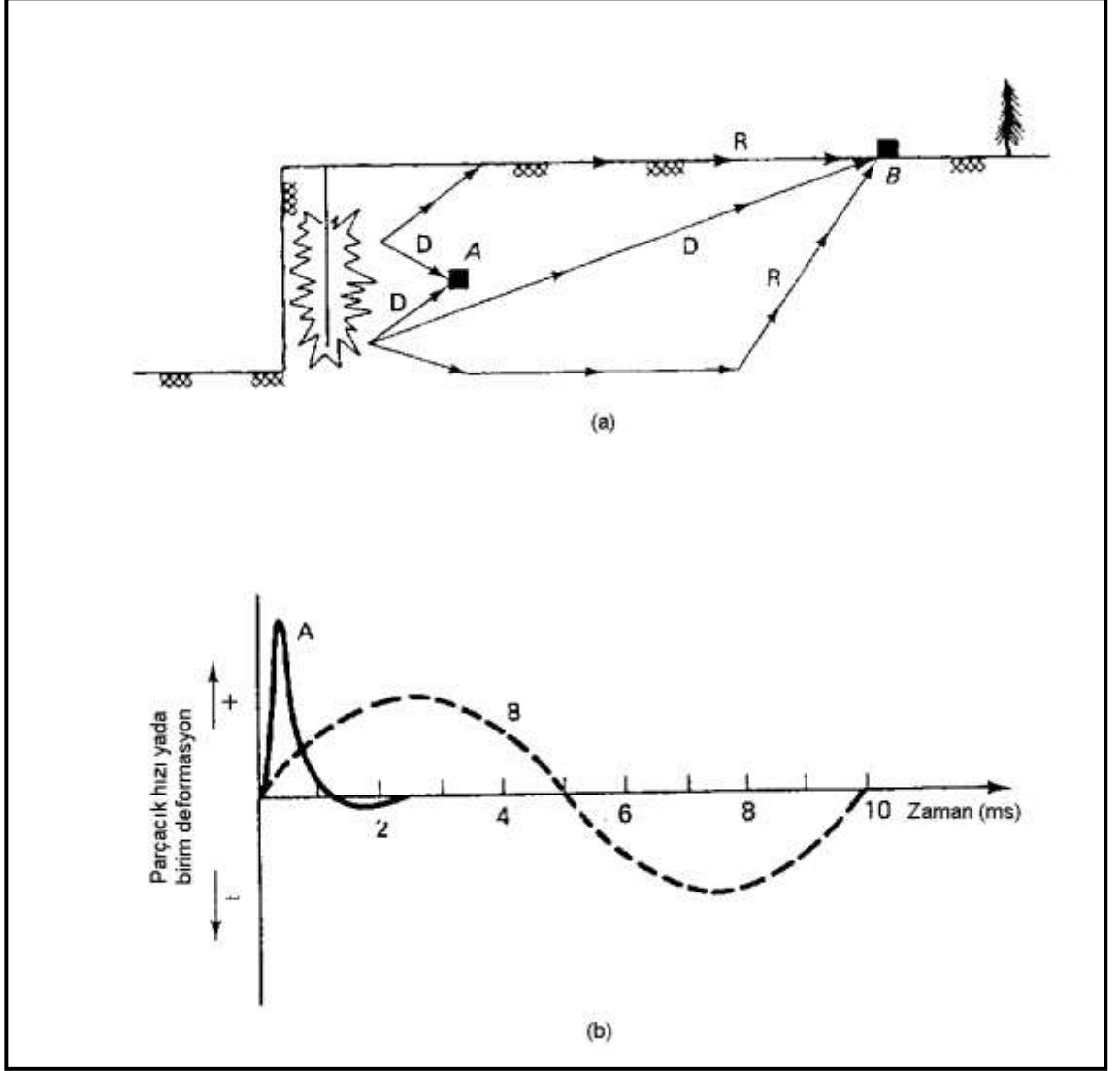
Şekil 2.23. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı (Jimeno ve diğ., 1995)

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 2.24.'teki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 2.24. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi (Dowding, 1985)

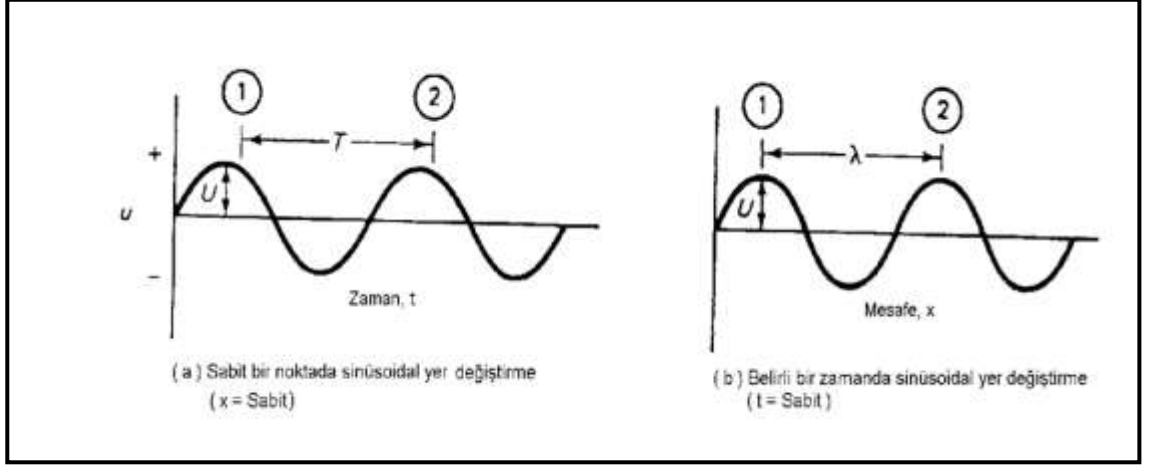
Örnek bir patlatmada, iki izleme noktasına dalgaların erişimi ve bu dalgalara ait parçacık hızı-zaman grafikleri Şekil 2.25.'te verilmiştir. Burada A noktasına dalgalar direkt gelirken, B noktasına direkt ve yansımış olarak ulaşmaktadır.



Şekil 2.25. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi (Dowding, 1985)

Tipik patlatma titreşimleri tartışılırken bunların sayılabilirliği ve ölçülebilirliği gereklidir. Dalga tipi gözetmeksizin Şekil 2.26.'da 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 2.26. 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,

$\omega$ ; açısal frekans sabitini

t; zamanı ifade etmektedir.

Şekil 2.26.b'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 ( $\lambda$ ) olarak tanımlanmakta ve K,  $\lambda$ 'ya eşit miktarda her defasında x kadar tekrarlanarak artan sinüs fonksiyonunda  $2\pi/\lambda$ 'ya eşit olmaktadır. Benzer bir şekilde, Şekil 2.26.a'da gösterildiği gibi lokasyon ve dalga boyu sabit ise, sabitlenmiş bir noktada zaman ile değişimi;

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



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

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

Sinüzoidal yaklaşımda dalga boyu ( $\lambda$ ) 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 ( $\mu$ ) arasındaki ilişki sinüzoidal yaklaşımla aşağıdaki gibi olmaktadır. En çok maksimum hareketin mutlak değeri kullanılmaktadır. Buna göre;

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

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

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

$$u = U \times \text{Sin}(K \times x + \omega \times t) \quad (2.9.)$$

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

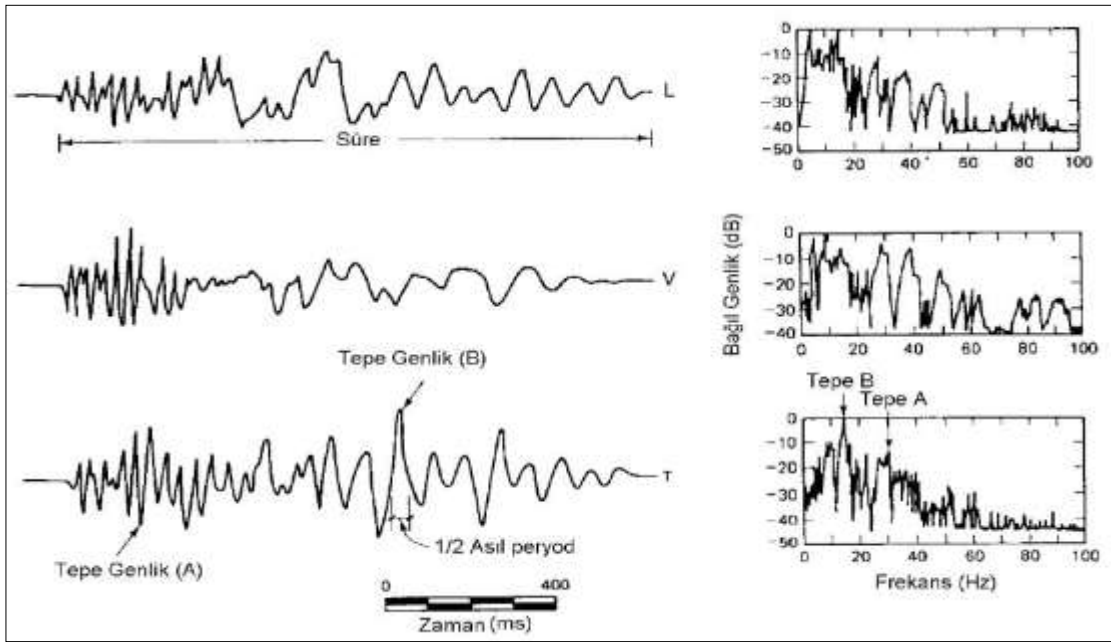
$$a = \frac{dv}{dt} = -U \times \omega^2 \times \text{Sin}(K \times x + \omega \times t) \quad (2.11.)$$

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

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

#### 2.4.3.2. Tipik Patlatma Titreşim Kayıtları

Şekil 2.26'da bir kömür açık işletmesinde yapılan patlatmaya ait, zamana bağlı tipik parçacık hızı grafiği verilmiştir (Şekil 2.27.). 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 2.1.'de verilmektedir (Dowding, 1985).



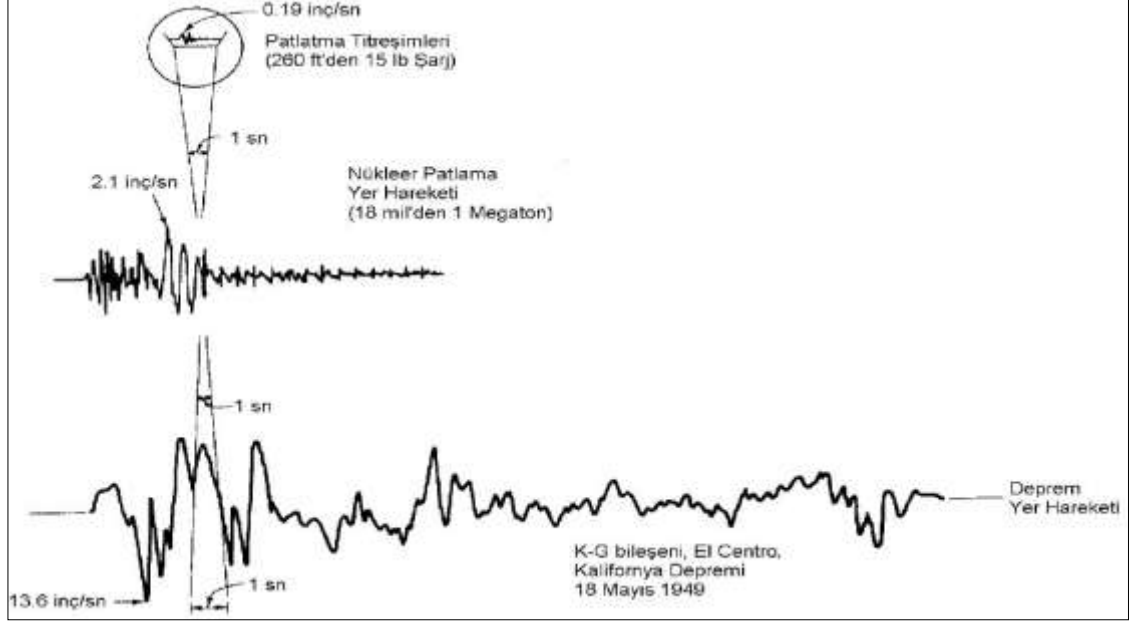
Şekil 2.27. Tipik kömür madeni patlatmasında parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi (Dowding, 1985)

Tablo 2.1. 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 <sup>2</sup>
Atım sürekliliği	0.5 - 2 s
Dalga boyu	30 - 1500 m
Frekans	0.5 - 200 Hz
Birim deformasyon	3.0 - 5000 $\mu$ (inç/inç)

Patlatma titreşimlerini, nükleer ve deprem hareketlerinden ayırmada kullanılan iki temel parametre oldukça belirgindir (Şekil 2.28.). 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).

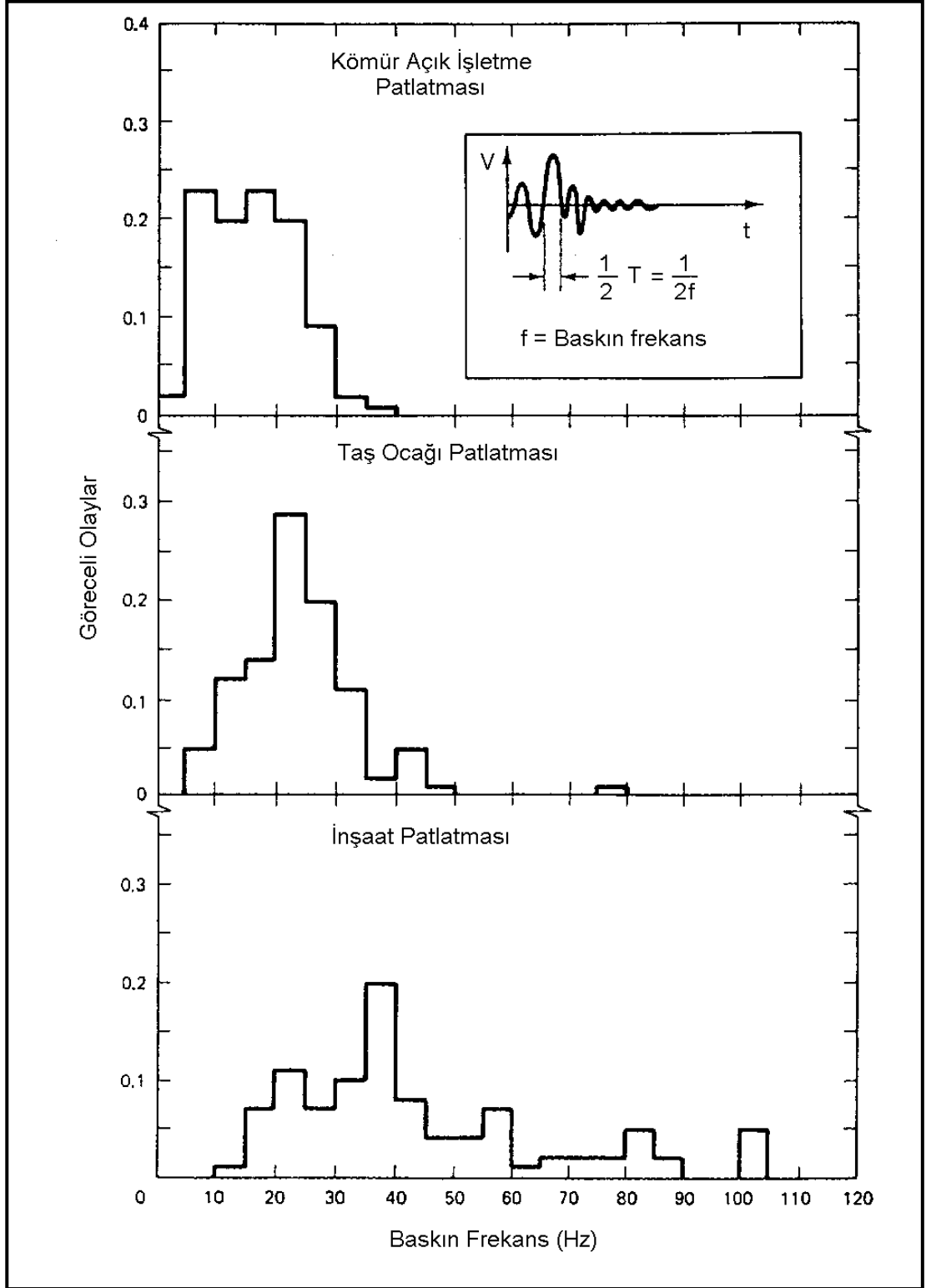


Şekil 2.28. Patlatma titreşimlerinin nükleer patlama ve deprem hareketleri ile karşılaştırılması (Dowding, 1985)

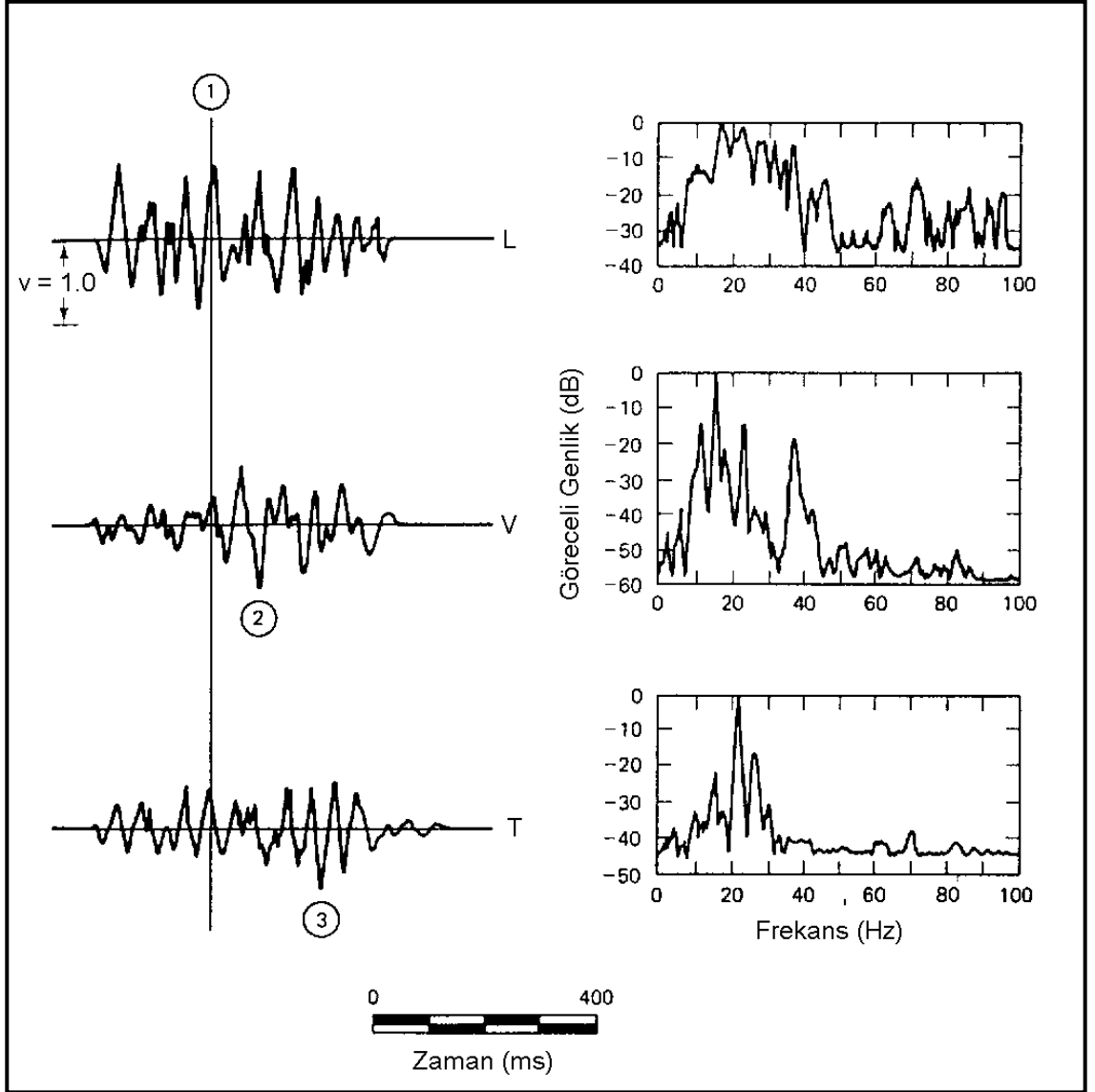
#### 2.4.3.3. Baskın Frekans

Patlatma titreşimlerinde baskın frekans 0.5-200 Hz arasında değişmektedir. Fakat birçok patlatmada, baskın frekans 200 Hz değerinin çok daha altında sınırlanmaktadır. Şekil 2.29.'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 2.30.). Bu baskın frekans Şekil 2.29.'da gösterildiği üzere elle hesaplanabildiği gibi Şekil 2.30.'daki gibi Fourier Frekans Spektrumu yardımıyla da hesaplanabilmektedir (Dowding, 1985).



Şekil 2.29. Çeşitli patlatmalarda ön baskın frekans histogramları (Dowding, 1985)



Şekil 2.30. 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.

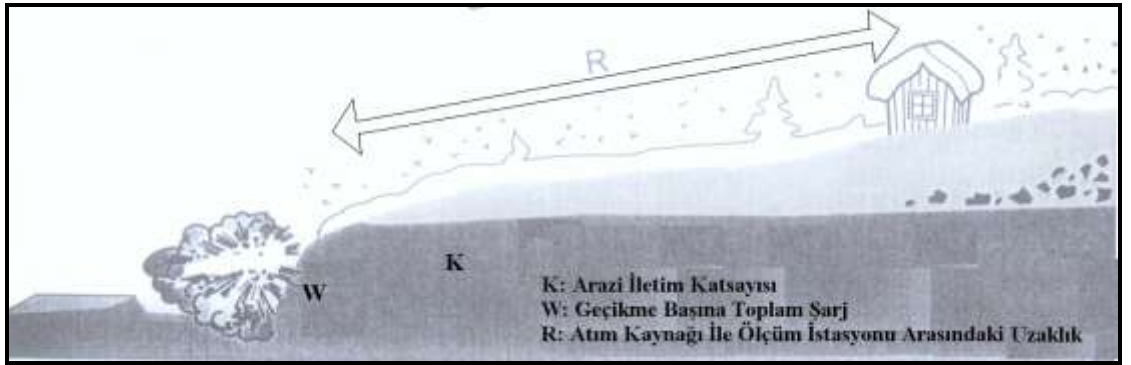
#### 2.4.3.4. Ölçekli Mesafe Kavramı

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 2.31.).



Şekil 2.31. 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  $\geq 6$  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).

#### 2.4.3.5. 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 dotalar 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, $\beta, \alpha, n$	: 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).

#### 2.4.3.6. 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 farklıdır. 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).

*2.4.3.7. 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 2.2. Yersarsıntısı Üzerindeki Değişimlerin Önem Sırası

	Değişkenler	Önemli	Orta	Önemsiz
<b>İşletme Faaliyeti Sırasında Kontrol Edilebilen Etkenler</b>	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
	Genel yüzey tabakaları			X
	<b>Kontrol Edilemeyen Değişkenler</b>	Örtü tabakasının cinsi ve derinliği		
Atmosferik koşullar				X

#### 2.4.4. 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).

#### 2.4.4.1.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 bulunmaktadır. Normal atmosferik koşullar altında hava 1 atmosfer basınç ve  $1.2 \text{ kg/m}^3$  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
- Açığındaki 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).

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

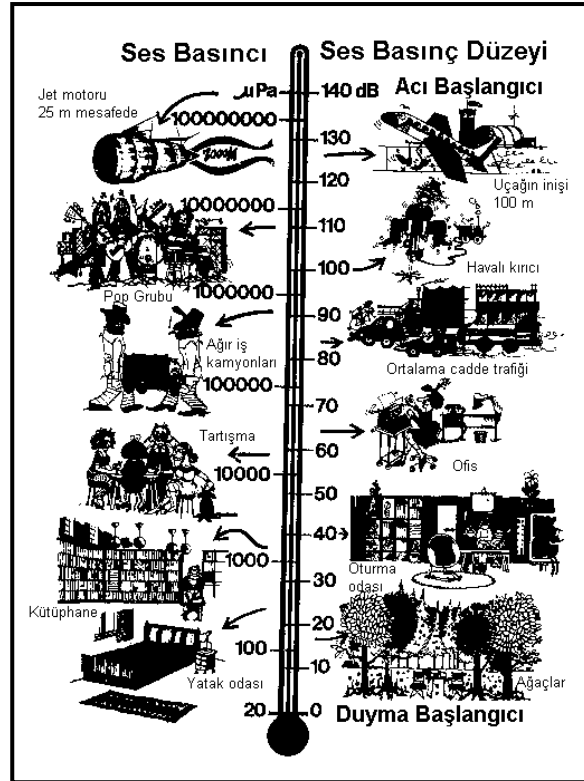
P = Ölçülen tepe ses basıncı,

$P_0$  = Referans ses basıncı ( $20 \times 10^{-6}$  Pa veya  $2.9 \times 10^{-9}$  lb/inç<sup>2</sup>)

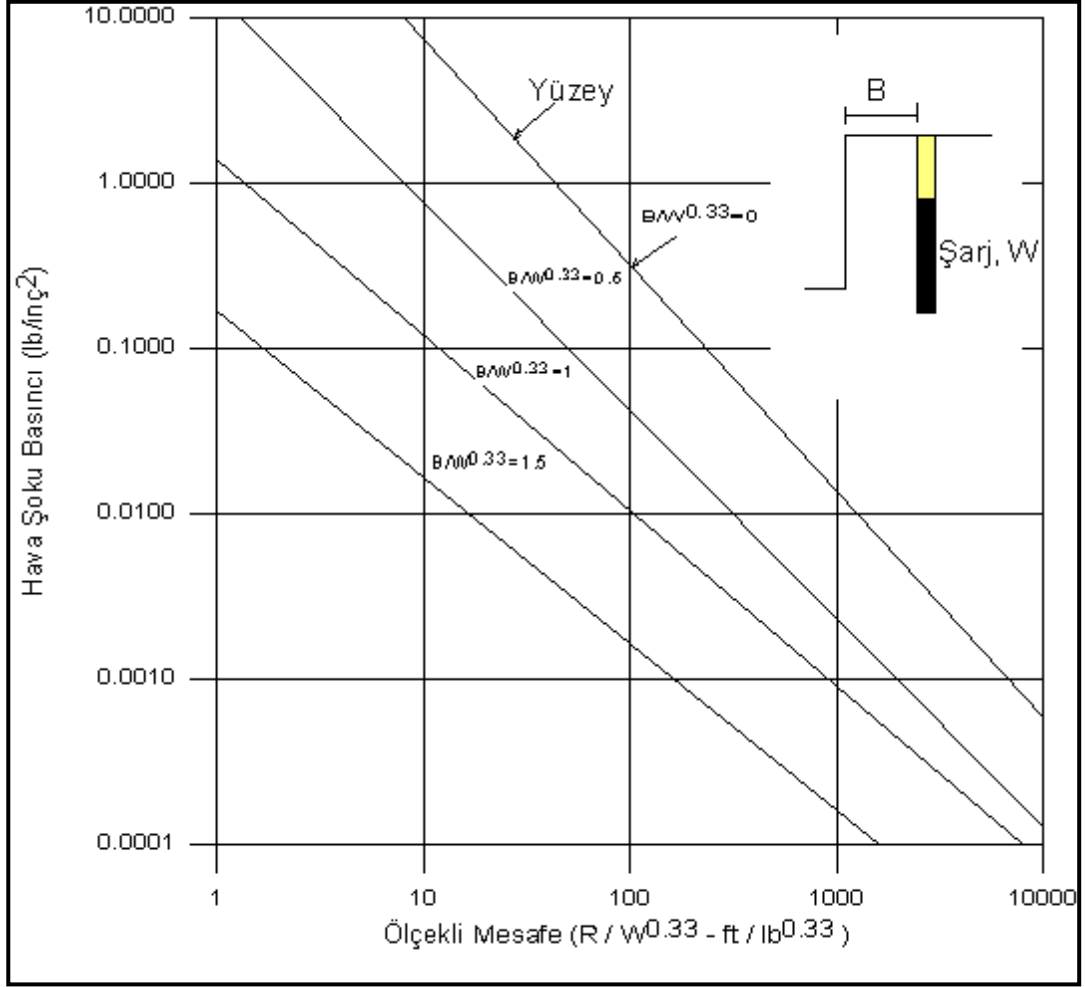
Hava şoku dalgasının yayılması, sıcaklık, rüzgar ve yükseklik gibi atmosferik ve topoğrafik koşullara bağlıdır. Belirli bir uzaklıktaki bulut kapalılığı bile bazen basınç dalgasının yere yeniden yansımaya neden olur (Hoek ve Bray,1991).

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 2.33.).



Şekil 2.32. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri (Dowding, 1985)



Şekil 2.33. 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)

2.4.4.2. *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).

#### **2.4.5. 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 (Kahriman, 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 (Kahriman, 2003)..

#### 2.4.5.1. Hasar Sınıflaması

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmaya gelmiştir. 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 görerek 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 2.3. Hasar Sınıflaması (Kahriman, 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.

#### 2.4.5.2. Patlatma Hasar Kriterleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmaya gelmiştir. 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.

**2.4.5.2.1. 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.

**2.4.5.2.2. 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).

#### 2.4.5.2.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü

1949 yılında Crandell "Enerji Oranı" yaklaşımını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı olarak hasar kriterleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

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

ER : Enerji oranı

a : İvme

f : Frekans

Tablo 2.4. Crandell'in Enerji Oranına Bağlı Hasar Kriteri

<b>Enerji Oranı</b>	<b>Hasar Tahmini</b>
< 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.

#### 2.4.5.2.4. *Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı*

Langefors ve arkadaşlarının (1957) parçacık hızı ve yapı hasar gözlemine dayalı kriteri Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Langefors ve Arkadaşlarının Parçacık Hızını Esas Alan Hasar Kriteri

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

#### 2.4.5.2.5. *Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı*

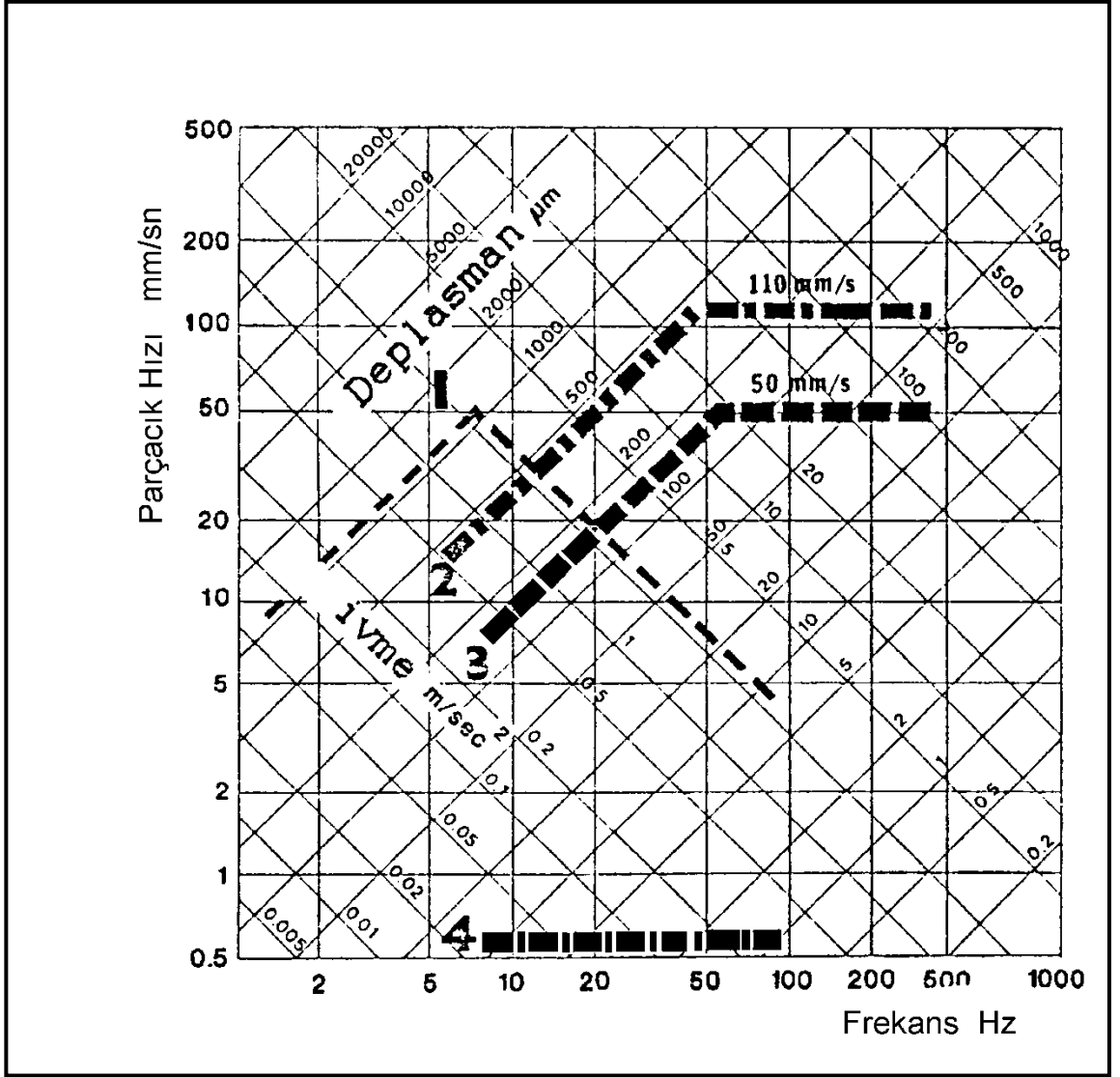
Edwards ve Northwood'un (1959) Kanada'da yaptıkları araştırmalar ışığında parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızını Esas Alan Yaklaşımı

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

#### 2.4.5.2.6. *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 2.34.'te verilen nomogramı önermişlerdir. Bu yaklaşımda parçacık hızı, frekans, deplasman ve ivme göz önüne alınmaktadır (Arpaz, 2000).



Şekil 2.34. 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.

#### 2.4.5.2.7. USBM'nin Yaklaşımı

1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı daha kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.7.'de verilmiştir (Nicholls ve diğ., 1971).

Tablo 2.7. 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

#### 2.4.5.2.8. Canmet, Bauer ve Calder'in Yaklaşımı

Canmet ve arkadaşlarının (1977) çeşitli ekipman ve muhtelif yapı türleri için parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.8.'de verilmiştir.

Tablo 2.8. 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

#### 2.4.5.2.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini

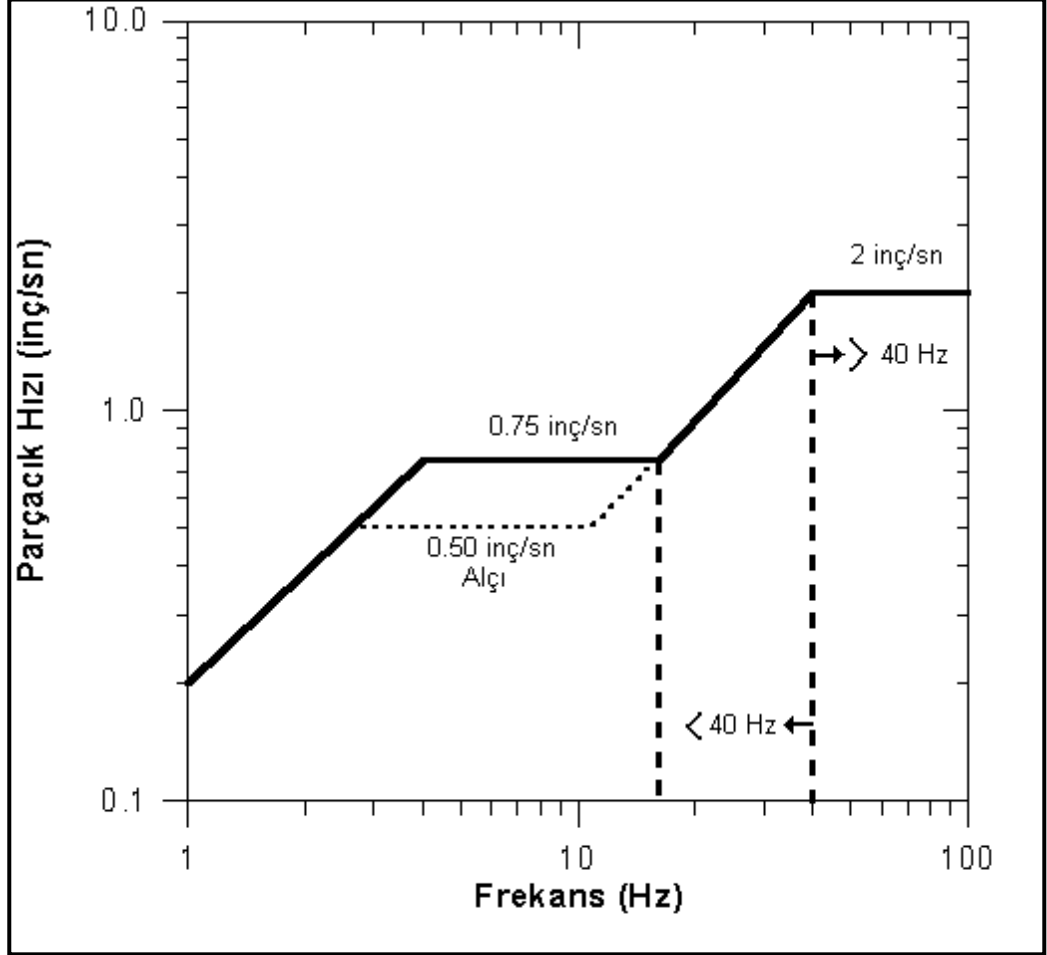
Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni). 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 ( $\leq 40$  Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı ( $\geq 40$  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 ekseninde 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 2.35.). 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. Instanetel 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 2.35. USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve diğ., 1980)

#### 2.4.5.2.10. 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 2.9.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 sınırlandırılmamıştır. 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.

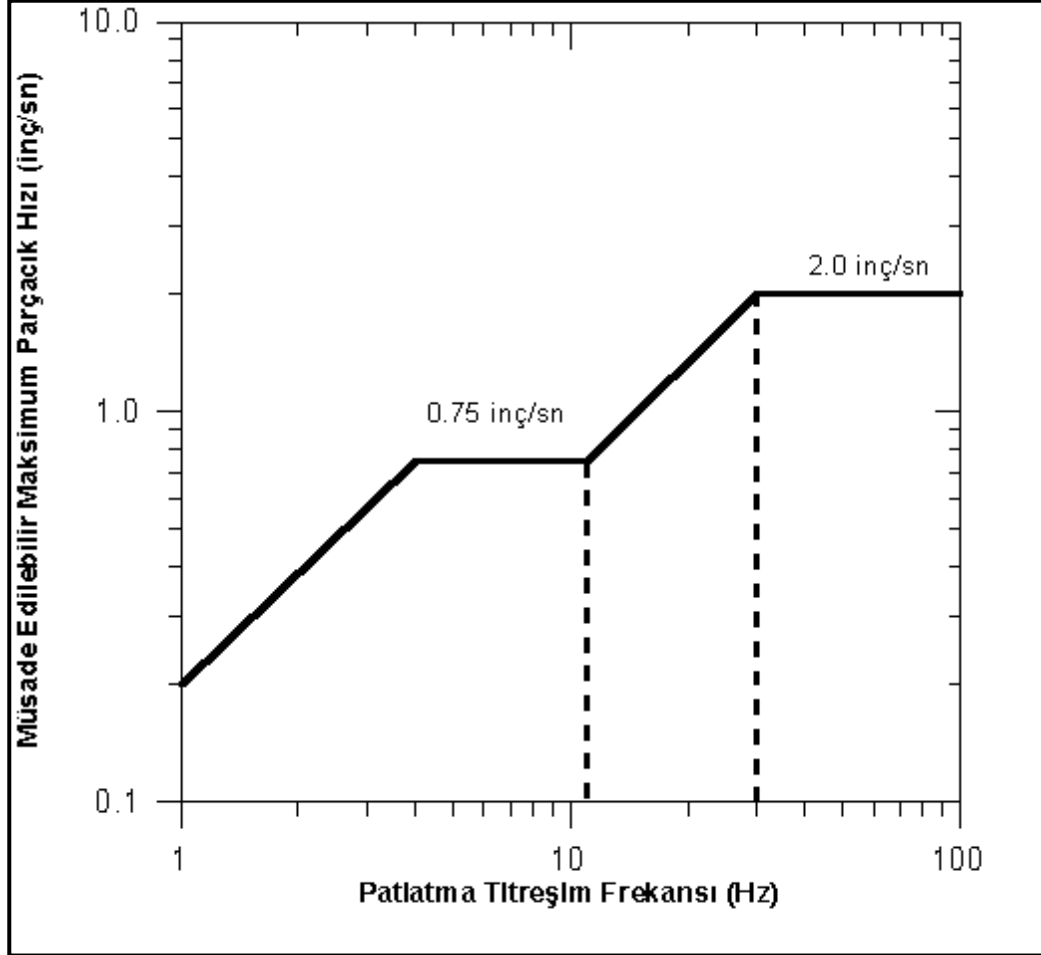
Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.10. 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 2.36.) kullanmasına izin verilir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.36. 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 2.36.'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.

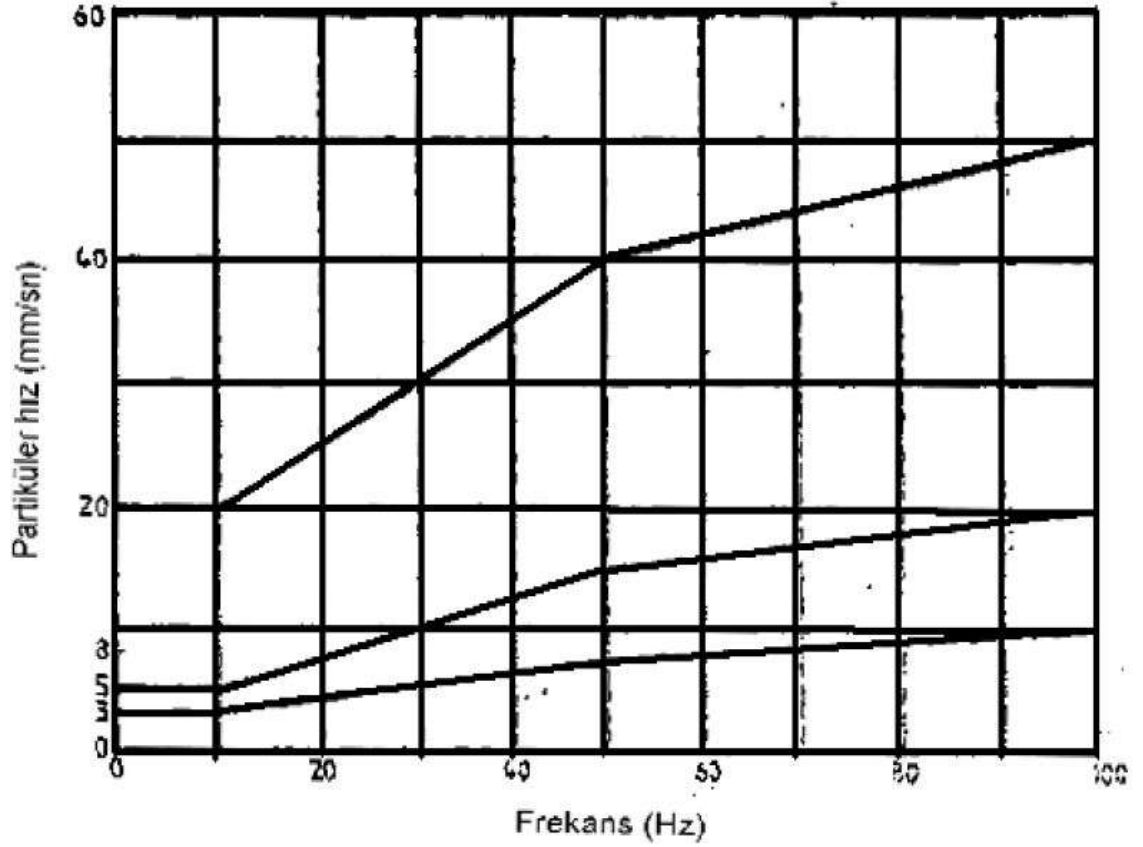
#### 2.4.5.2.11. DIN 4150 Alman Normu

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).

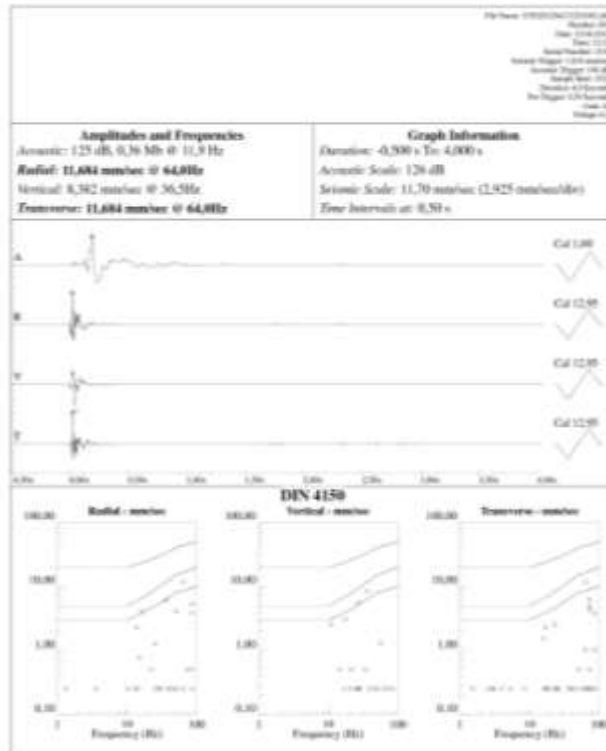
Tablo 2.11 Alman Din 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınırları

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 2.37.'de DIN 4150 Alman Normu'nda frekansın fonksiyonu olarak değişen parçacık hızı sınır değerleri verilmiştir. Instantel Minimate 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 2.38.'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 2.37. DIN 4150 Alman Normu (Schillinger, 2006)



Şekil 2.38. White Mini-Seis cihazının DIN 4150 Normuna göre düzenlenmiş tipik çıktısı

#### 2.4.5.2.12. 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; tünelticilik, 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 buluştuğu nokta olan bina temellerinde ölçülmelidir (Karadoğan, 2008).

##### 2.4.5.2.12.1. 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 (Tablo2.12),

$F_k$  inşaat kalite faktörünü (Tablo 2.13),

$F_d$  patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe faktörünü,

$F_t$  ise patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresini ifade etmektedir (Tablo 2.14.).

Tablo 2.12. 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 2.13. Bina Faktörü (Karadoğan, 2008)

Sınıf	Bina veya İnşaat Tipi	F <sub>b</sub>
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 2.14. Proje zaman faktörü

Patlatma Aktivite Türü	F <sub>t</sub>
Tüneller, mağaralar, karayolları gibi inşaat işleri	1,0
Taşocakları ve madenler gibi sabit işler	0,75-1,0

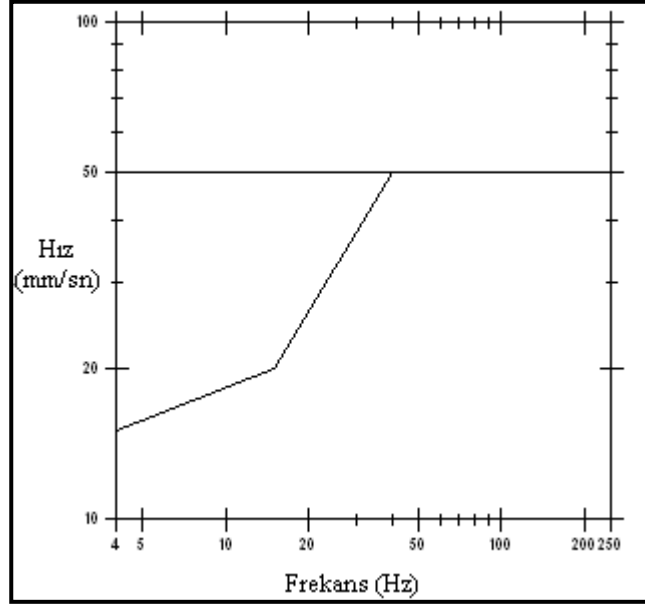
#### 2.4.5.2.13. İngiliz Standardı

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 2.15 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	





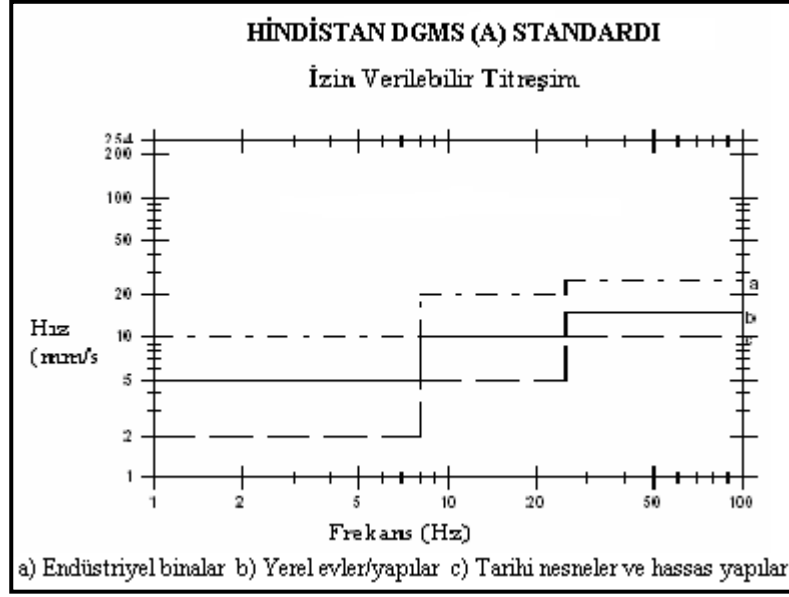
Şekil 2.39. İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 (Karadoğan, 2008)

#### 2.4.5.2.14. Hindistan Standardı (IS)

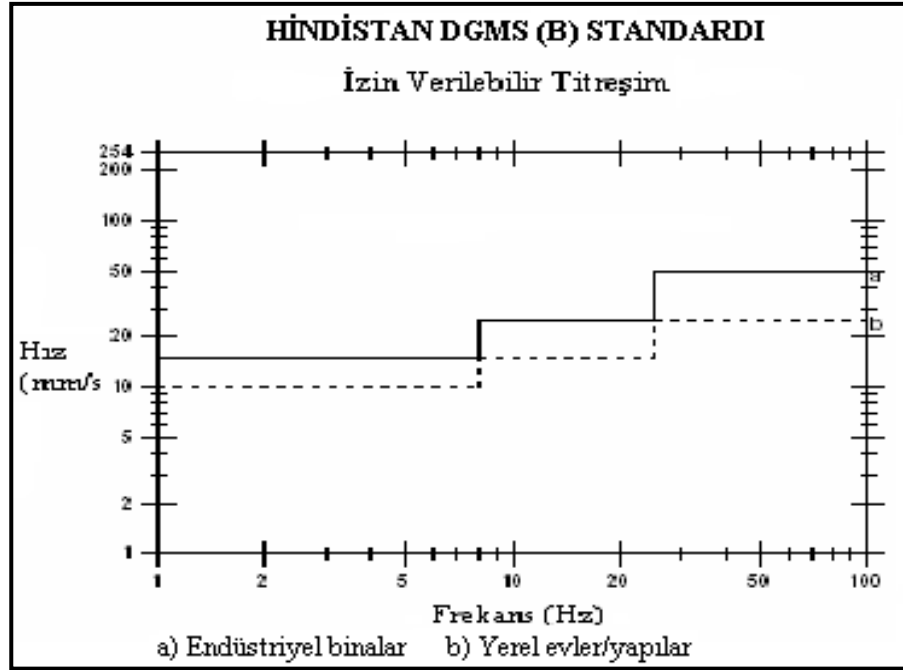
Mevcut Hindistan Standardı olarak bilinen, baskın uyarma ve yapı tiplerine dayanan 29 Ağustos 1997 tarihli 7 sayılı DGMS (Tech) (S&T) Genelgesinde bahsedildiği gibi, yapılara bitişik zeminde en yüksek parçacık hızı (PPV) aşağıdaki Tablo 2.16.'da verilen değerleri aşamaz (Karadoğan, 2008)

Tablo 2.16. 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 (Çerçevesiz 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 (Çerçevesiz yapılar)	15	25	50



Şekil 2.40. Hindistan DGMS (A) Standardı (Karadoğan, 2008)



Şekil 2.41. Hindistan DGMS (B) Standardı (Karadoğan, 2008)

#### 2.4.5.2.15. Fransa Standardı

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

Tablo 2.17. 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

#### 2.4.5.2.16. 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 2.18. 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**

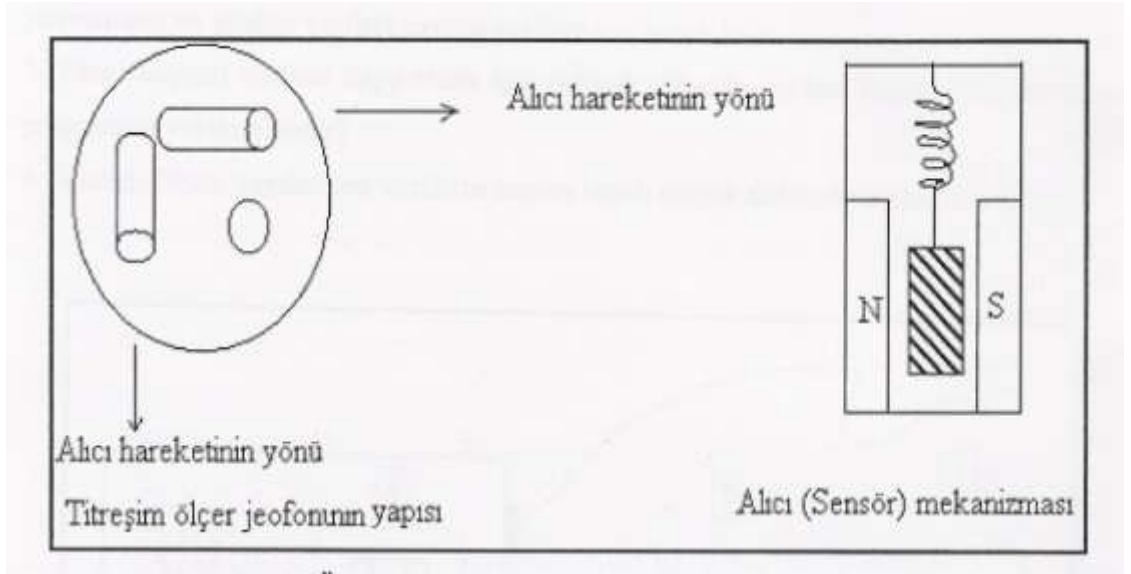
Madencilik, inşaat, taş ocakçılığı, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde patlayıcıların değişik nedenlerle gittikçe artan bir şekilde kullanılması önemli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunların belirlenmesi ve çözümü için öncelikle, patlamadan kaynaklanan çevresel problemlerin başında 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. Mıknatıs 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.



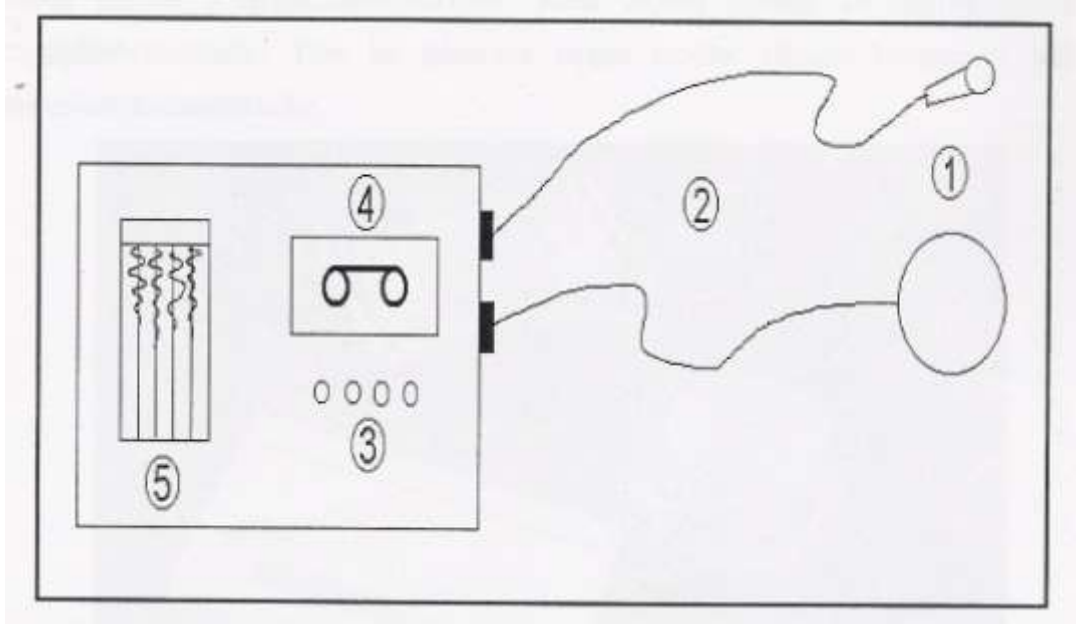
Şekil 3.1. Bir Titreşim Ölçer Cihazının Jeofon Yapısı (Konya ve Walter, 1991)

Kaydedici bir galvanometre vasıtasıyla hareket halindeki alıcını 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 bağı 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 Instanetel 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 (Kahriman, 2003).

Cihaz tek olay veya sürekli kayıt yapılabilmektedir. 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

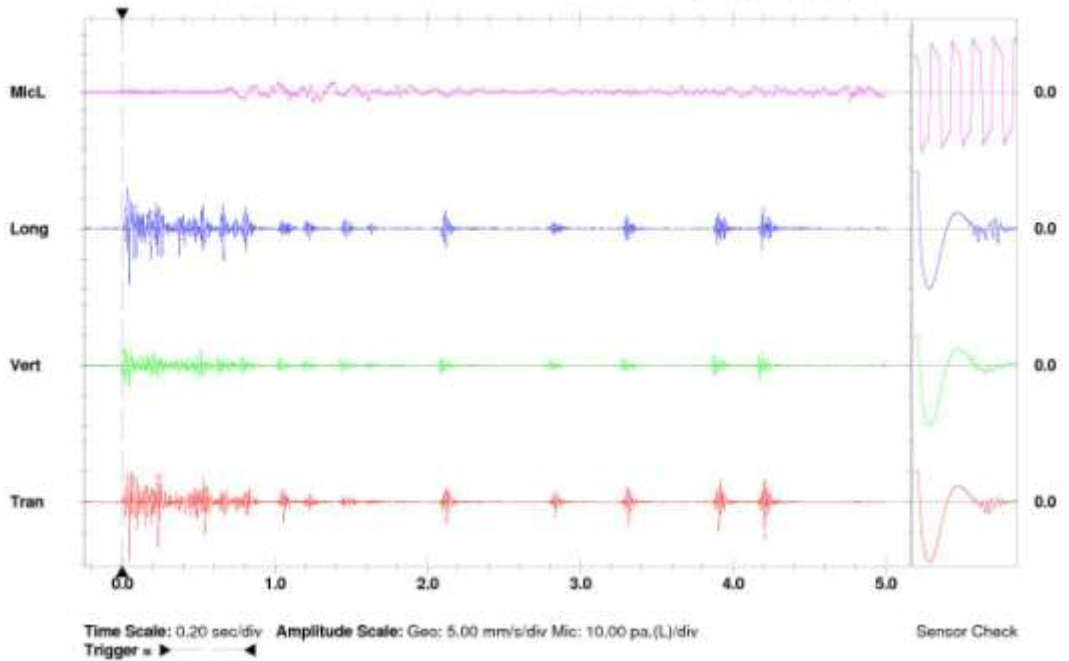
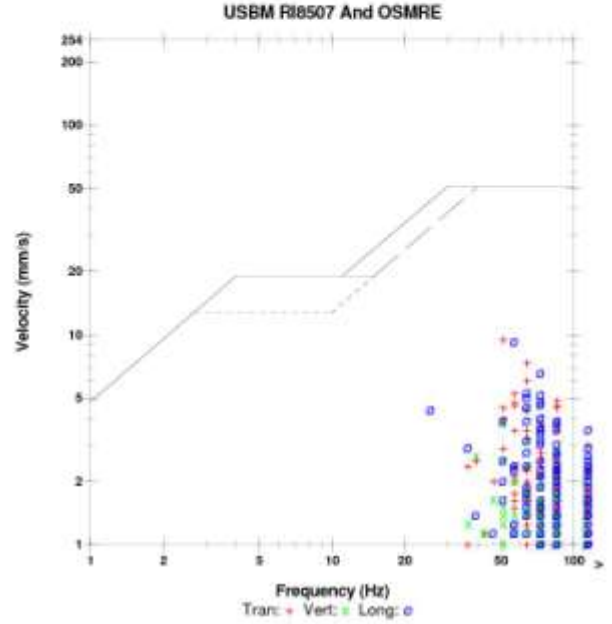
Date/Time Vert at 12:28:03 January 10, 2011  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s  
 Range Geo: 254 mm/s  
 Record Time 5.0 sec at 1024 sps  
 Notes

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	0.048	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 Xmark 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, Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ő yüklenicisi bulunduğu “Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu Tüneli İnşaatı” işi kapsamında, Bulgurlu istasyonu inşaatının yaklaşım tüneli inŐasında yapılan patlatmalı kazıların, tünel güzergâhı üzerinde ve çevresindeki 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.

ÇalıŐılacak istasyon inŐaatındaki 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

Çalışmanın gerçekleştiği istasyon olan Bulgurlu İstasyonu (S6, Libadiye İstasyonu) Üsküdar yönünden 6. İstasyon olup, Üsküdar İlçe sınırlarında Bulgurlu Mahallesi'nde yer almaktadır. Bulgurlu, İstanbul'un Anadolu yakasında, Acıbadem, Kısıklı, Cumhuriyet ve Ünalın ile Ümraniye'ye bağlı Namık Kemal ve Ataşehir'e bağlı Fetih mahalleleri arasında yer alan tarihi köyün etrafında gelişen semt. Bulgurlu, günümüzde Üsküdar'ın en büyük mahallesi olup, batıda Küçükçamlıca Caddesi, güneyde Üçpınarlar Caddesi ile O-4 Anadolu Otoyolu, doğuda Namık Kemal Mahallesi, kuzeyde ise Bulgurlu Caddesi ile sınırlıdır. Mahalleyi kuzey-güney doğrultusunda kesen Libadiye Caddesi ise semtin bir başka ulaşım yoludur. İstanbul'un önemli mesire yerlerinden Küçük Çamlıca Tepesi de bu mahallenin içindedir (wikipedia).



Şekil 4.1. Çalışma Alanının Uydu Görüntüsü (Google Earth)

## 4.2. BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ

Çalışmanın gerçekleştirildiği metro hattı üzerinde Paleozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. İstanbul Grubu olarak adlandırılan sedimanter istifin tabanını oluşturan Kurtköy formasyonu (Arkoz) hattın doğusunda, daha genç olan birimler ise batısında yer almaktadır. Metro hattında karşılaşılabilecek Paleozoik istif alttan üste doğru;

Kurtköy Formasyonu (Arkozik kumtaşı ve konglomera)

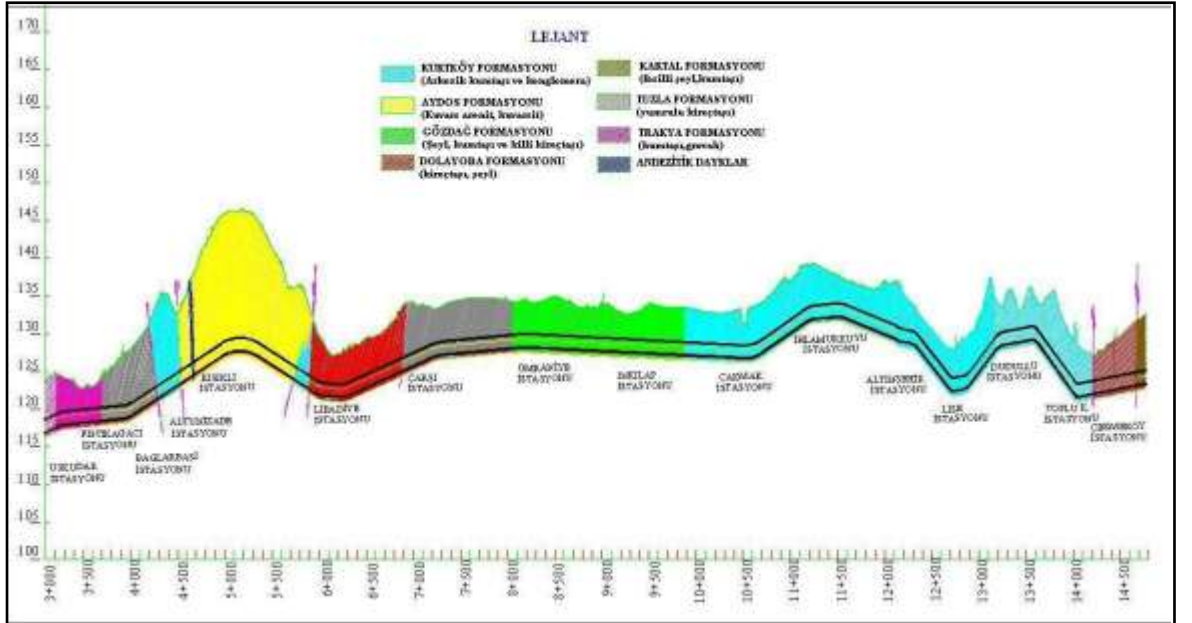
Aydos Formasyonu (Kuvars arenit, kuvarsit)

Gözdağ Formasyonu (Şeyl, kumtaşı ve killi kireçtaşı)

Dolayoba Formasyonu (kireçtaşı, şeyl)

Tuzla Formasyonu (Yumrulu kireçtaşı)

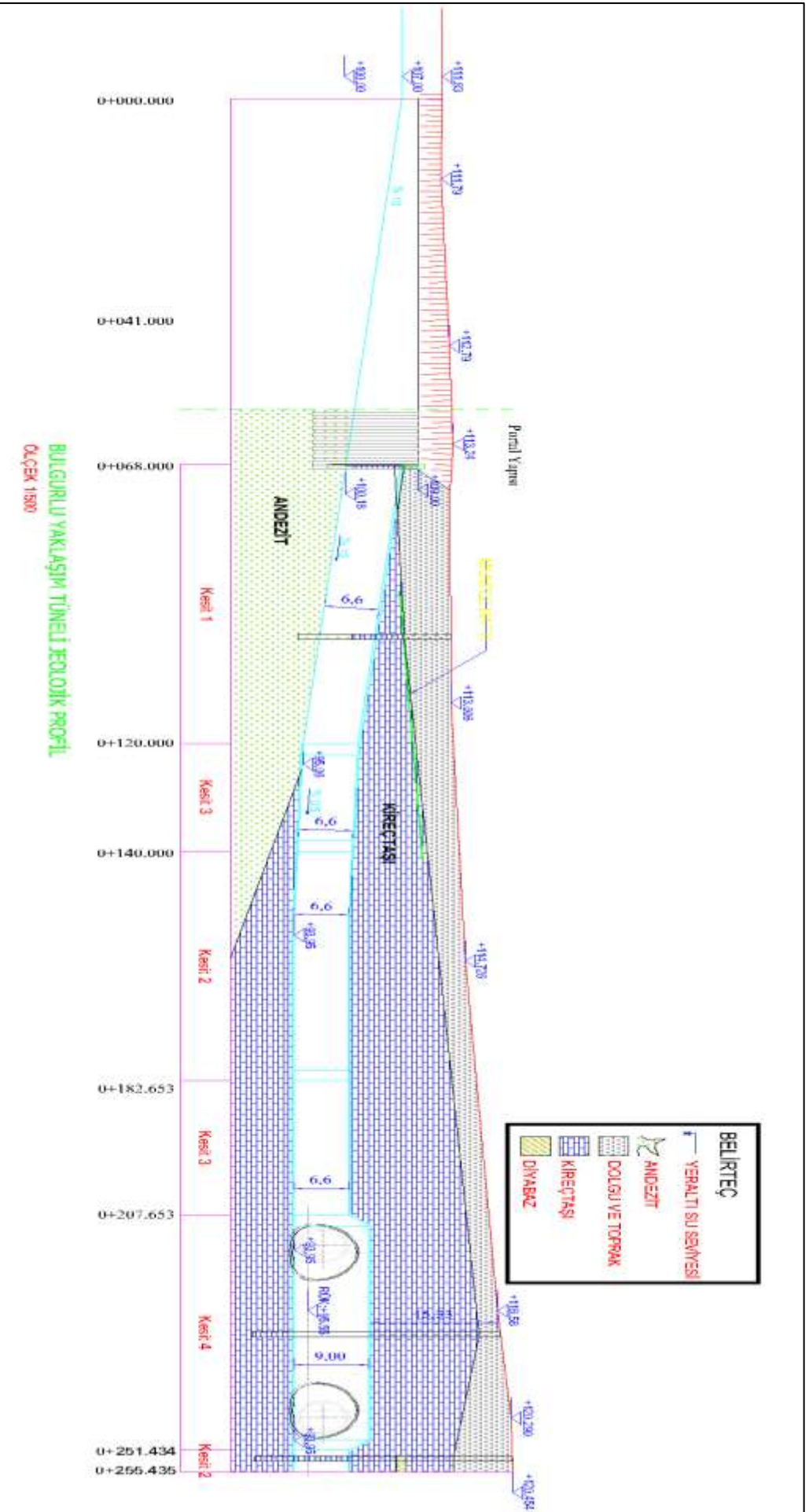
oluşmaktadır. Tercih edilen güzergah boyunca var olan jeolojik yapılanmalar Şekil.4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Güzergah Boyunca Genel Jeolojik Oluşumlar (Üsküdar- Ümraniye-Çekmeköy Raylı Sistem Hattı Jeolojik Özet Raporu, Kasım-2010)

Çalışma alanı olan Bulgurlu İstasyonu (S6) civarında Dolayoba Formasyonu yer almaktadır. Bu bölgede yapılan sondajlarda kireçtaşının şeyl ara düzeyleri içerdiği gözlemlenmiştir.. Küçük Çamlıca tepesinin doğu tarafındaki fay nedeniyle İstanbul Grubunun tabanını oluşturan arkoz ve kuvarsitler ile dokanak oluşturmaktadır. Ayrıca yer yer Andezit Dayk zonunun kireçtaşını kestiği de bilinmektedir. Şekil 4.3. de

görülebileceği üzere yaklaşım tüneli boyunca hakim kaya birimi ağırlıklı olarak kireçtaşıdır. Yaklaşım tüneli başlangıcında, andezite rastlanmışsa da ilerleyen kısımlarda çoğunlukla kireçtaşı yer almaktadır. Tünel boyunca diyabaz sokulumlarında yer yer gözlenmektedir. (Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Raylı Sistem Hattı Jeolojik Özet Raporu, Kasım-2010)

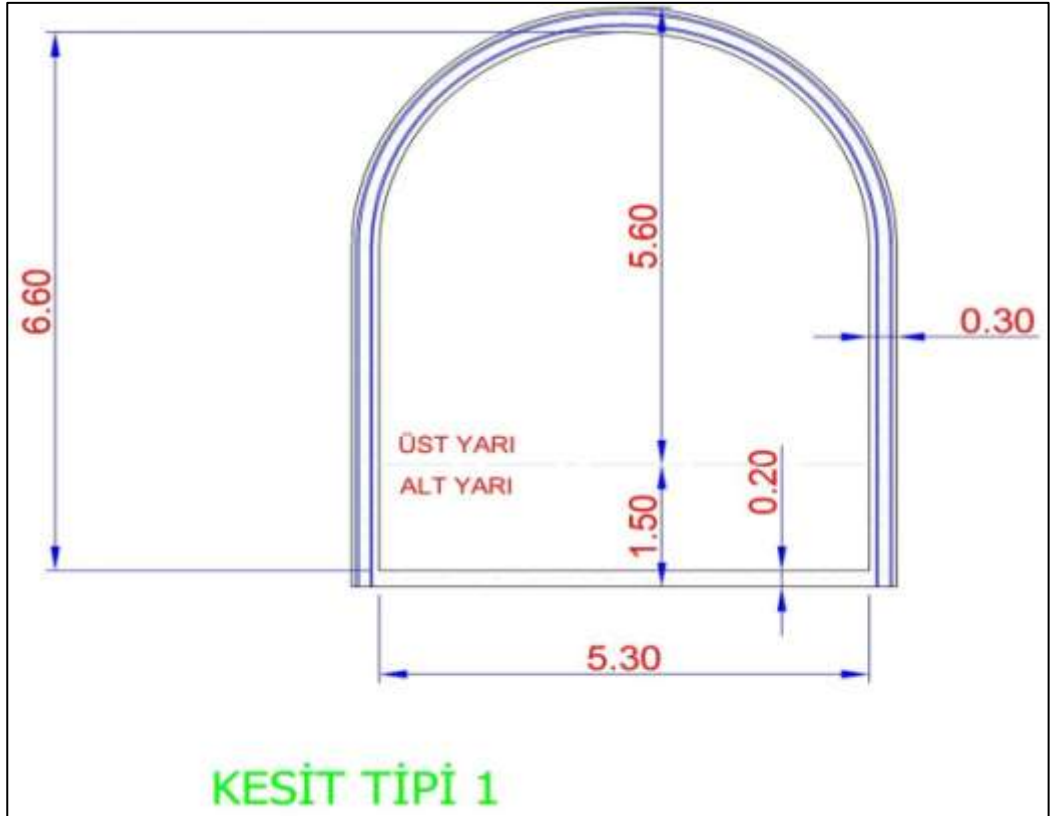


Şekil 4.3. Yaklaşım Tüneli Kesit Görünümü ve Jeolojisi

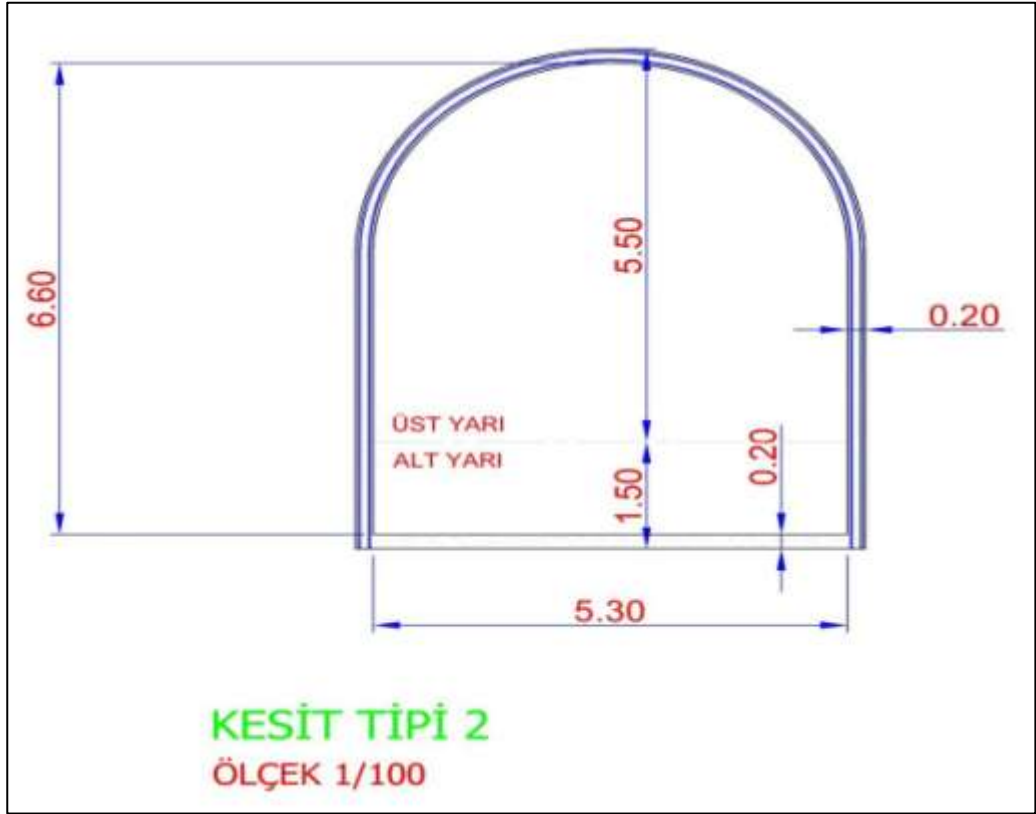
### 4.3. YAKLAŞIM TÜNELİ HAKKINDA BİLGİLER

“Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metro Tünelleri İnşaatı” kapsamında 6. istasyon olan Bulgurlu İstasyonu tünellerine erişim amaçlı inşa edilen yaklaşım tünelinin, istasyon noktasının yaklaşık olarak 200 metre güneyinden, Uzundere Caddesi ile Teknik Sokak köşesinde oluşturulan portaldan başlanarak Bulgurlu Caddesine paralel olarak uzanan istasyon tünelleri noktasına kadar ilerletilmesi planlanmıştır.

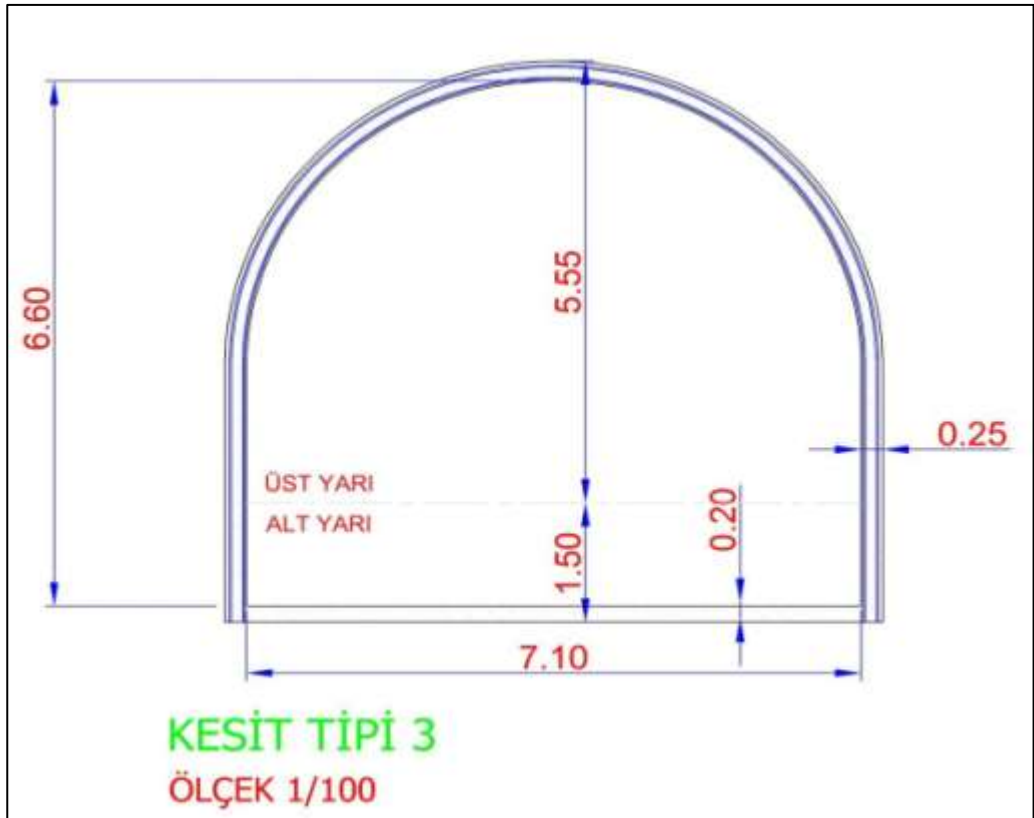
Yaklaşım tüneli; şekil 4.3. de görüleceği üzere, +100,18 kotunda oluşturulan portaldan başlayarak %10 ve %3,5 eğimler ile ilerleyerek +93,95 kotuna inmekte, bu süreçte 4 farklı kesit ile ilerleme sağlanmaktadır. Kesit 1 (Şekil 4.4.), Kesit 2 (Şekil 4.5.), Kesit 3 (Şekil 4.6.) ve Kesit 4 (Şekil 4.7.) olarak adlandırılan tünel kesitlerinin yüzey alanları sırası ile  $38,15 \text{ m}^2$ ,  $36,41 \text{ m}^2$ ,  $47,83 \text{ m}^2$  ve  $74,52 \text{ m}^2$  dir.



Şekil 4.4. Yaklaşım Tüneli Kesit-1

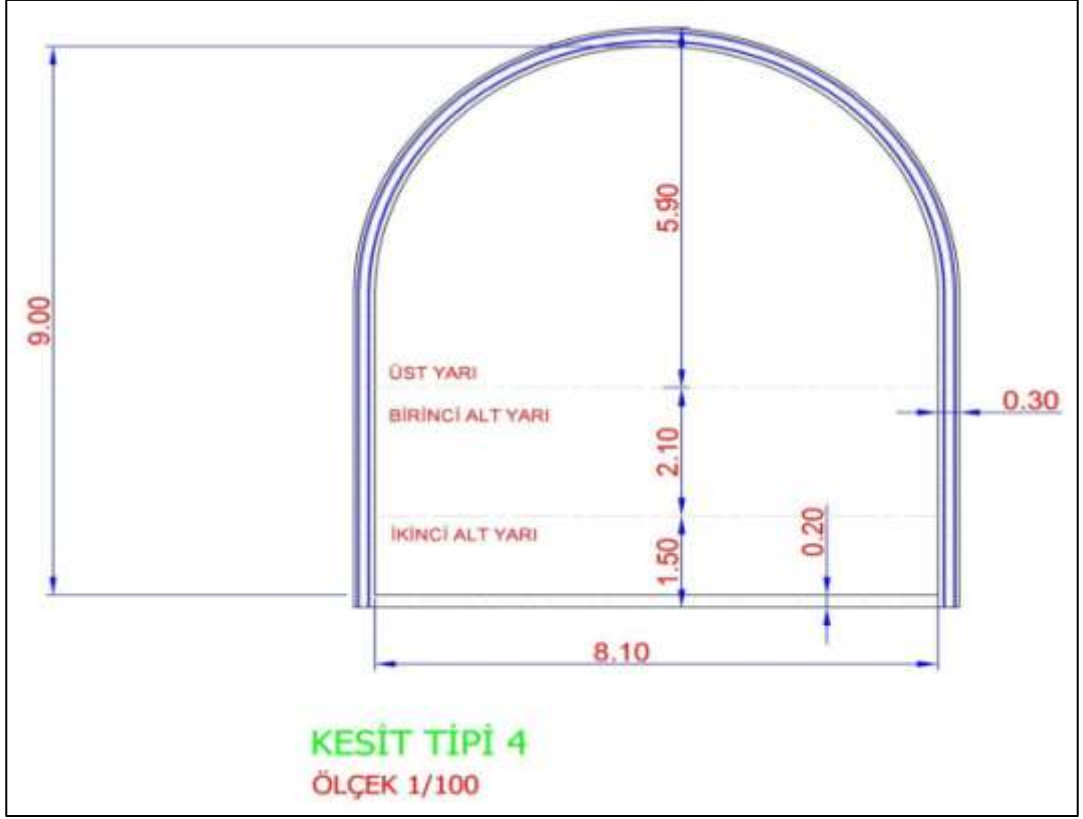


Şekil 4.5.Yaklaşım Tüneli Kesit-2



Şekil 4.6.Yaklaşım Tüneli Kesit-3





Şekil 4.7. Yaklaşım Tüneli Kesit-4

#### 4.4. TÜNELDE UYGULANAN KONTROLLÜ PATLATMA MODELLERİ

Doğuş İnşaat A.Ş. nin yüklenicisi bulunduğu “Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metro Tünelleri İnşaatı” kapsamında Bulgurlu İstasyonu yaklaşım tüneli kazısında uygulanmak üzere V-Kesme orta çektirmeli patlatmalı tünel kazısı yöntemi uygulanmıştır. Yaklaşım tüneli boyunca 4 farklı kesitte tünel kazısı gerçekleştirilmiş, her kesitte farklı tasarımlar uygulanmış olup oluşacak titreşimler göz önünde bulundurularak gecikme başına düşecek patlayıcı miktarı sınırlandırılmıştır.

Çalışmada, Orica-Nitro firmasına ait kartuş ağırlığı 436 gr olan Powergel Magnum 365 34x400 mm kapsüle duyarlı emülsiyon tip patlayıcı madde kullanılmıştır. Patlayıcıya ait teknik bilgiler Tablo 4.1. de verilmiştir.



Tablo 4.1. Powergel Magnum 365 34x400 Emülsiyon Tipi Patlayıcıya Ait Teknik Bilgiler (Orica Nitro)

İdeal Patlama Hızı	6437 m / s
İdeal Patlama Basıncı	121400 atm
İdeal Patlama Isısı	2943° K
Yoğunluk	1,20 gr. / cm <sup>3</sup>
Suya Dayanıklılığı	Mükemmel
Patlama Entalpisi	4433 Kj / Kg

Çalışmada, kullanım kolaylığı ve güvenli oluşu sebebi ile exel olarak adlandırılan elektriksiz şok tüpü kapsüller ve kapsüllerin bağlantı elemanı olarak ise metresinde 6 gr PETN maddesi bulunan infilaklı fitil kullanılmıştır. Ateşleme sistemi olarak elektriksiz ateşleme sistemi tercih edilmiş olsa da infilaklı fitili ateşleyebilmek için elektrikli kapsül tercih edilmiştir. Exel kapsüller, orta çektirme bölgesinde milisaniye gecikmeli (MS), çevre ve tarama deliklerinde ise yarım saniye (LP) gecikmeli olarak kullanılarak her deliğin (orta çektirme delikleri hariç) muhtelif olarak patlaması sağlanmıştır. Yapılan ön tasarımlarda ilerleme boyu her atımda ortalama 2 m. olarak düşünülmüştür.

Çalışmada, önceden hazırlanan patlatma tasarımlarına göre delik yerleri topoğrafya ekibi tarafından aynada işaretlenerek ve buna bağlı kalınarak 42 mm çapa sahip bit ile delikler oluşturulmuştur (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8.Deliklerin Delinmesi

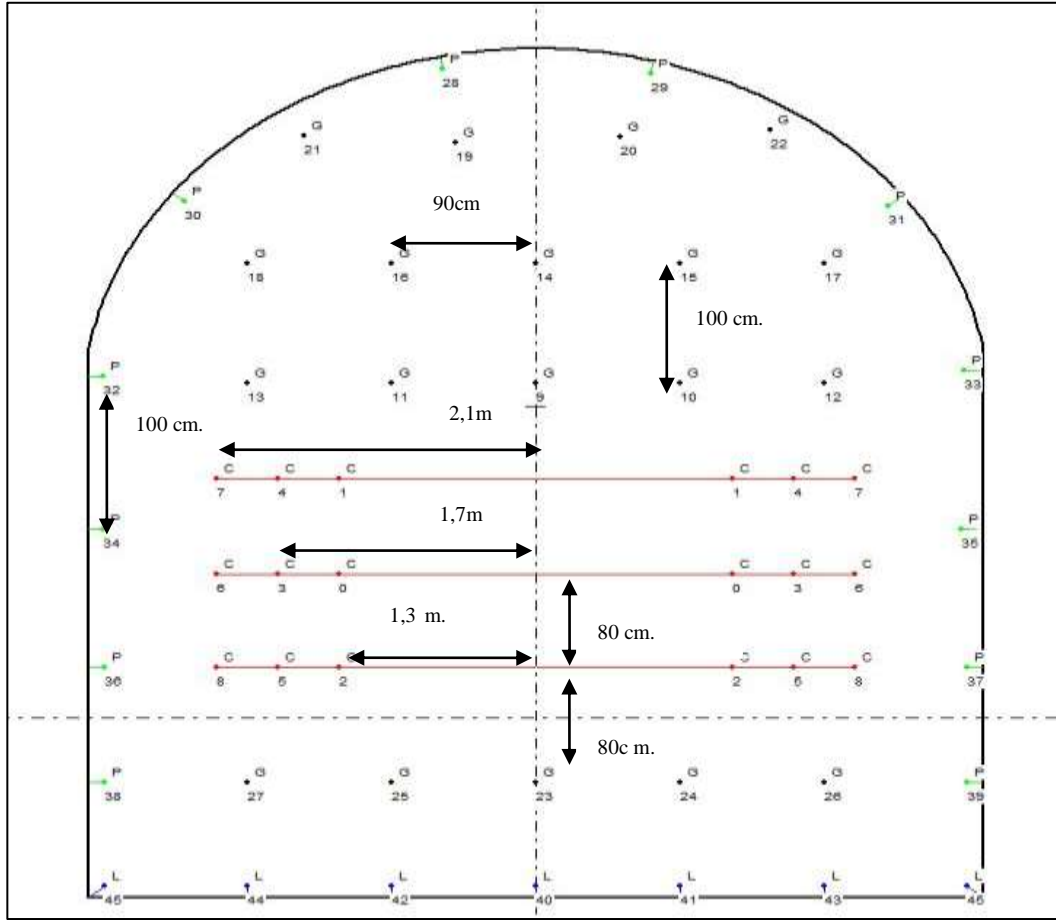
#### 4.4.1. Kesit 1 İçin Kullanılan Patlatma Modeli

38,15 m<sup>2</sup> lik kesit alanına sahip bu kısım tünelin en küçük yüzey alanına sahip ikinci kesitidir. Portal yapısından (0+068,00) başlayarak 52 metre ilerleyerek 0+120,00 metrede sona ermektedir. Tünel tabanı bu kesitte +100,18 m. kotunda başlayarak %10 eğimle ilerlemekte ve +95,06 kotunda sona ermektedir. Gerek tünel kesitinin küçük olması gerekse de yüzeye en yakın kesit olması sebebiyle gecikme başına ve toplam patlayıcı miktarının en az olduğu kısımdır. Bu kısmın başlarında kaya birimi üstte kireçtaşı altta ise andezit (Şekil 4.9.), ilerleyen kısımlarda ise ağırlıklı olarak kireçtaşı olarak yer almaktadır.

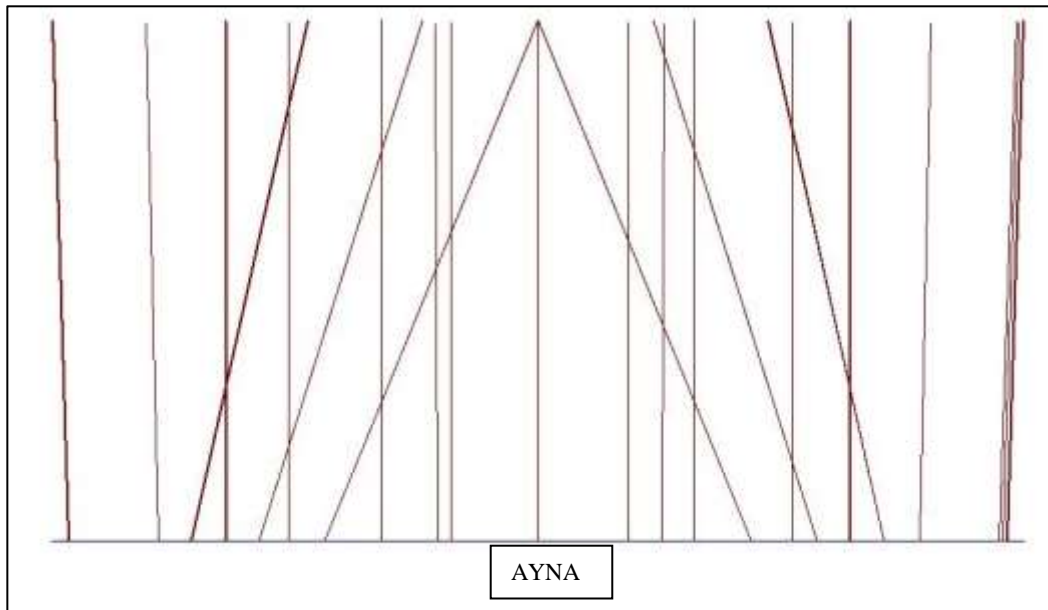


Şekil 4.9. Kesit-1 de Yer Alan Kaya Birimlerinden Görüntü

Kesit-1 olarak adlandırılan kısımda 56 delikten oluşan V- Kesme orta çektirmeli düzen kullanılmış olup, çektirme bölgesinde MS olarak adlandırılan milisaniye, kısa aralıklı gecikmelere sahip kapsüller, çektirme bölgesi dışındaki deliklerde ise LP olarak adlandırılan daha uzun gecikme aralıklarına sahip kapsüller kullanılmıştır. Bu kesit alanı için kullanılan genel tasarım Şekil 4.10. da verilmiştir. Şekil 4.10. da görüleceği üzere düşeyde 3, yatayda 6 sıradan oluşan 18 adet çektirme deliği yer almaktadır. Orta çektirme bölgesi aynanın kırılması en zor bölgesi olması sebebiyle bu delikler düşey eksene göre birbirleriyle karşılıklı olarak aynı gecikme numaralarına sahiptirler. Orta çektirme bölgesi hariç diğer deliklerin tamamı farklı gecikme sırasıyla patlatılmaktadır. Ayrıca Şekil 4.11. de görüleceği üzere orta çektirme delikleri V-Kesme tasarımı sebebiyle açılı olarak delinmektedir.



Şekil 4.10. Kesit-1 de Uygulanan Patlatma Tasarımı  
(C: V- kesme delikleri, L: taban delikleri, P: çevre delikleri, G: tarama delikleri)



Şekil 4.11. Kesit-1 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü

Şekil 4.10. da gösterilen patlatma tasarımında deliklere yerleştirilen patlayıcı miktarları, Tablo 4.2. de verilmiştir. Ayrıca risk noktalarına fazla yaklaşılan durumlarda, gecikme başına en fazla patlayıcı yerleştirilen bölge olan orta çektirme bölgesi risk noktasından uzaklaştırılmak için taban deliklerinin üstünde yer alan tarama delikleri kaldırılarak orta çektirme bölgesi daha aşağıya kaydırılmıştır.

Tablo 4.2. Kesit-1 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları

Delik Adı	Konulan Maksimum Patlayıcı Miktar (kg)
V-Kesme Delikleri	1,3 (3 kartuş)
Tarama Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Çevre Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Taban Delikleri	1,3 (3 kartuş)

Şekil 4.10. da belirtilen gecikme numaralarının gecikme süreleri ise Tablo 4.3. de verilmiştir.

Tablo 4.3. Kesit-1 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri (Orica Nitro)

Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)
0	0	23	650	12	300	36	3500
1	25	24	700	13	325	37	4000
2	50	25	750	14	350	38	4500
3	75	26	800	15	375	39	5000
4	100	27	900	16	400	40	5500
5	125	28	1000	17	425	41	6000
6	150	29	1200	18	450	42	6500
7	175	30	1400	19	475	43	7000
8	200	31	1600	20	500	44	8000
9	225	32	1800	21	550	45	9000
10	250	33	2000	22	600		
11	275	34	2500	35	3000		

#### 4.4.2. Kesit 2 İçin Kullanılan Patlatma Modeli

36,41 m<sup>2</sup> lik kesit alanına sahip bu kısım tünelin en küçük yüzey alanına sahip kesitidir. Yaklaşım tüneli boyunca iki kısımda kesit-2 kullanılmıştır. Birincisi 0+140,00 ile 0+182,65 metreler arasında 42,65 m., ikincisi ise yaklaşım tünelinin son kısmında 0+251,43 ile 0+255,43 metreler arasında 4 m. dir. Bu tünel kesitinde sadece +140,00 m. ile 0+150,00 metreler arasında %3,5 eğim ile alçalma söz konusudur. Diğer noktalarda eğim söz konusu değildir. Bu kesit boyunca kaya birimi kireçtaşıdır. Ayrıca yer yer andezit ve diyabaz sokulumları da gözlemlenmiştir (Şekil 4.12.).

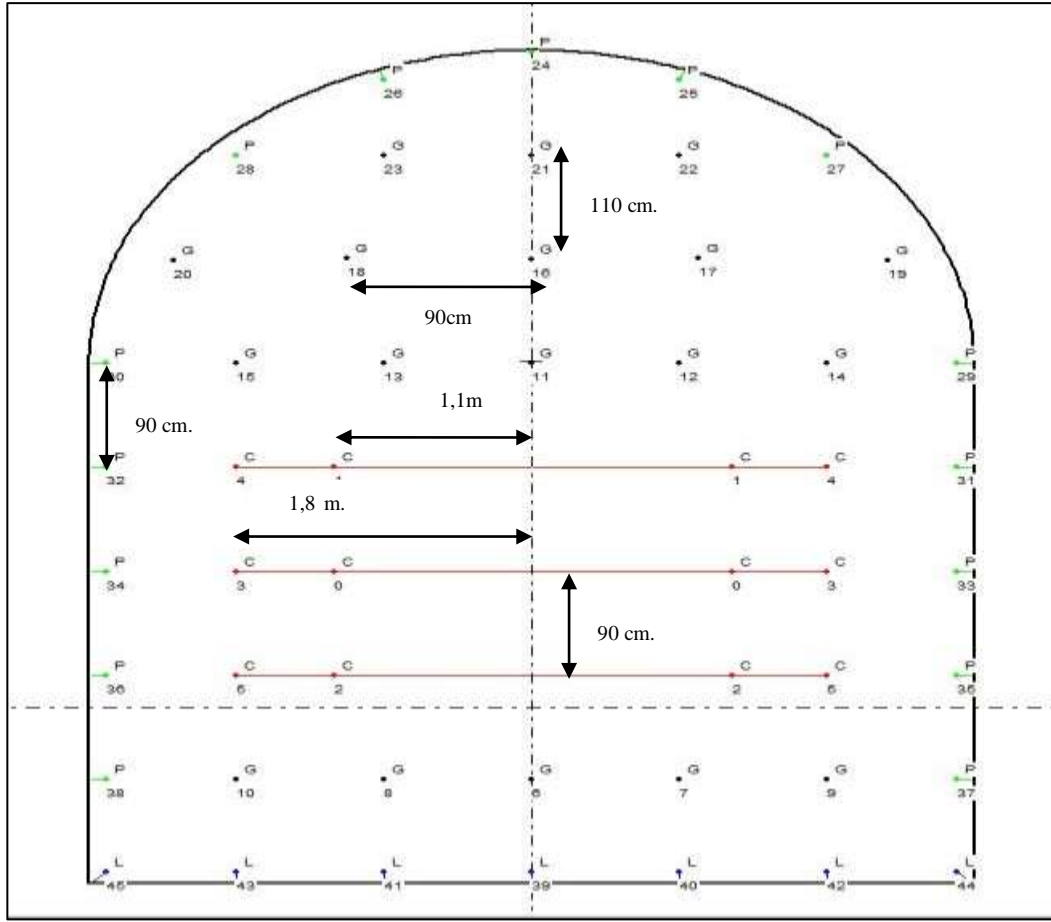


Şekil 4.12. Kesit-2 de Yer Alan Kaya Birimlerinden Görüntü

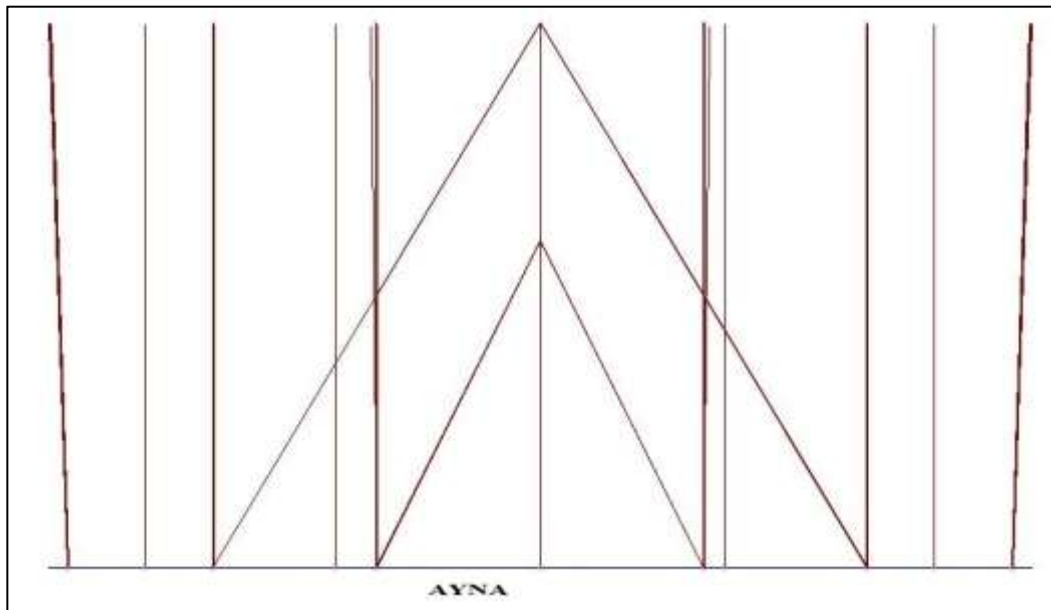
Kesit-2 olarak adlandırılan kısımda 52 delikten oluşan V- Kesme orta çektirmeli düzen kullanılmış olup, çektirme bölgesinde MS olarak adlandırılan milisaniye, kısa aralıklı gecikmelere sahip kapsüller, çektirme bölgesi dışındaki deliklerde ise LP olarak adlandırılan daha uzun gecikme aralıklarına sahip kapsüller kullanılmıştır. Bu kesit alanı için kullanılan genel tasarım Şekil 4.13. de verilmiştir. Şekil 4.13. de görüleceği üzere düşeyde 3, yatayda 4 sıradan oluşan 12 adet çektirme deliği yer almaktadır. Orta çektirme bölgesi aynanın kırılması en zor bölgesi olması sebebiyle bu delikler düşey eksene göre birbirleriyle karşılıklı olarak aynı gecikme numaralarına sahiptirler. Orta çektirme bölgesi hariç diğer deliklerin tamamı farklı gecikme sırasıyla patlatılmaktadır. Ayrıca Şekil 4.14. de görüleceği üzere orta çektirme delikleri V-Kesme tasarımı



sebebiyle deliklerin uç kısımları düşey eksene denk gelecek şekilde açılı olarak delinmektedir.



Şekil 4.13. Kesit-2 de Uygulanan Patlatma Tasarımı  
(C: V- kesme delikleri, L: taban delikleri, P: çevre delikleri, G: tarama delikleri)



Şekil 4.14. Kesit-2 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü

Şekil 4.12. de gösterilen patlatma tasarımında deliklere yerleştirilen patlayıcı miktarları, Tablo 4.4. de verilmiştir. Ayrıca risk noktalarına fazla yaklaşılan durumlarda, gecikme başına en fazla patlayıcı yerleştirilen bölge olan orta çektirme bölgesi risk noktasından uzaklaştırılmak için taban deliklerinin üstünde yer alan tarama delikleri kaldırılarak orta çektirme bölgesi daha aşağıya kaydırılmıştır.

Tablo 4.4. Kesit-2 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları

Delik Adı	Konulan Maksimum Patlayıcı Miktar (kg)
V-Kesme Delikleri	1,3 (3 kartuş)
Tarama Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Çevre Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Taban Delikleri	1,3 (3 kartuş)

Şekil 4.13. de belirtilen gecikme numaralarının gecikme süreleri ise Tablo 4.5. de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kesit-2 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri (Orica Nitro)

Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)
0	0	23	650	12	300	36	3500
1	25	24	700	13	325	37	4000
2	50	25	750	14	350	38	4500
3	75	26	800	15	375	39	5000
4	100	27	900	16	400	40	5500
5	125	28	1000	17	425	41	6000
6	150	29	1200	18	450	42	6500
7	175	30	1400	19	475	43	7000
8	200	31	1600	20	500	44	8000
9	225	32	1800	21	550	45	9000
10	250	33	2000	22	600		
11	275	34	2500	35	3000		

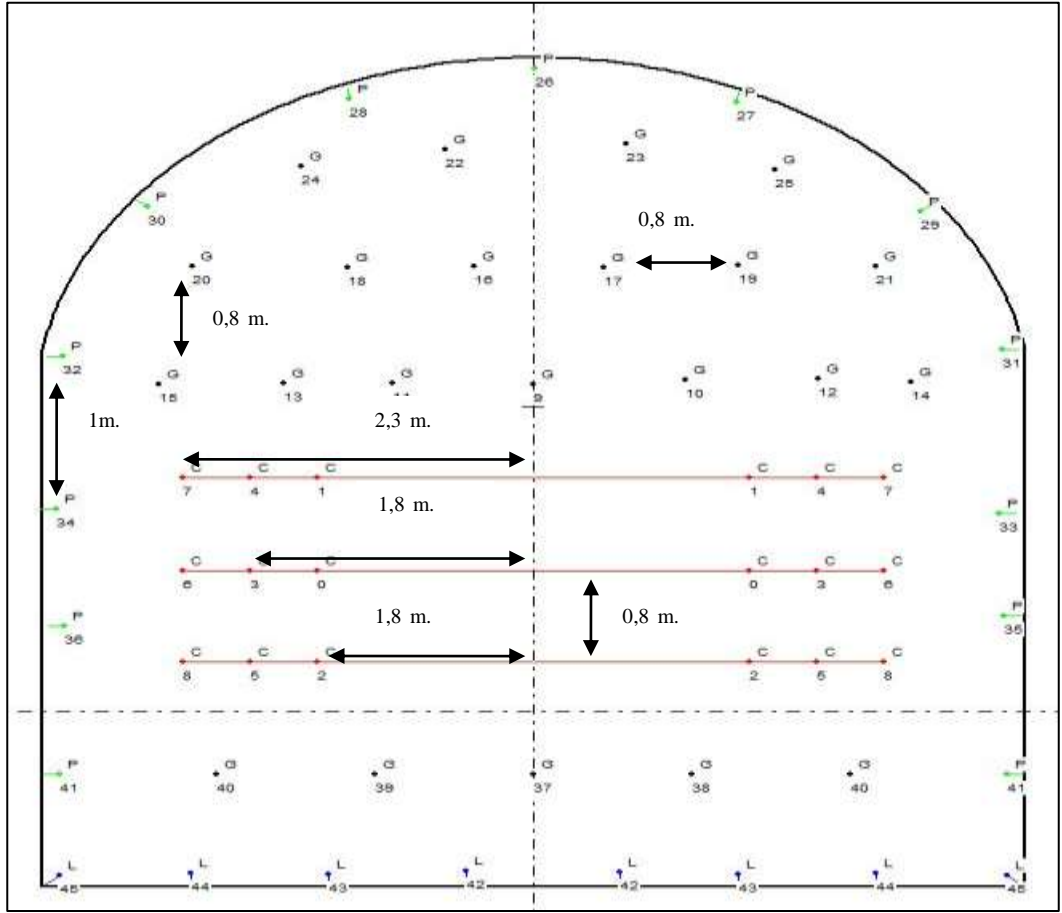


Yaklaşım tüneli güzergahı, kesit-2 dâhilinde bulunan 0+160,00- 0+168 ve 0+176,00-0+182,00 metreler arasında, çevredeki risk unsuru binaların altından geçerek ilerlenmiştir. Çalışmanın, bu kısımlarında tünel tavanıyla yüzey arasındaki kalınlık yaklaşık 16-17 m. olarak hesaplanmıştır. Riskli olan bu noktalarda orta kesme bölgesi taban deliklerinin hemen üzerinde oluşturularak, risk noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe arttırılması amaçlanmıştır. Böylece orta kesme bölgesi ile risk noktası arasındaki mesafe ~21 metreye çıkartılmıştır. Ayrıca ilerleme boyu 1,8 m. ye düşürülerek ve orta çekme delikleri arasındaki mesafeler daraltılarak gecikme başına maksimum 1,6 kg şarj ile ilerleme sağlanarak titreşim değerlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

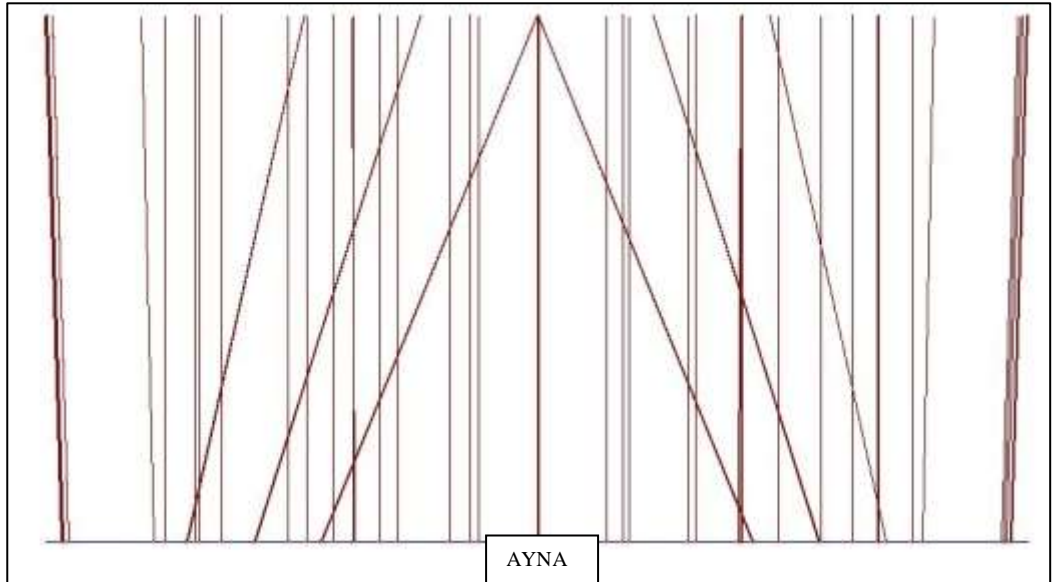
#### **4.4.3. Kesit 3 İçin Kullanılan Patlatma Modeli**

47,83 m<sup>2</sup> lik kesit alanına sahip bu kısım yaklaşım tüneli boyunca 0+120,00- 0+140,00 ile 0+182,65- 0+207,65 metreler arasında kullanılmıştır. Bu tünel kesitinde sadece +120,00 m. ile 0+140,00 metreler arasında %3,5 eğim ile alçalma söz konusudur. Diğer noktalarda eğim söz konusu değildir. Bu kesit boyunca kaya birimi kireçtaşıdır. Ayrıca yer yer andezit tabakalanmaları ve diyabaz sokulumları da gözlemlenmiştir.

Kesit-3 de 61 delikten oluşan V- Kesme orta çektirmeli düzen kullanılmış olup, çektirme bölgesinde MS olarak adlandırılan milisaniye, kısa aralıklı gecikmelere sahip kapsüller, çektirme bölgesi dışındaki deliklerde ise LP olarak adlandırılan daha uzun gecikme aralıklarına sahip kapsüller kullanılmıştır. Bu kesit alanı için kullanılan genel tasarım Şekil 4.15. de verilmiştir. Şekil 4.15. de görüleceği üzere düşeyde 3, yatayda 6 sıradan oluşan 18 adet çektirme deliği yer almaktadır. Orta çektirme bölgesi aynanın kırılması en zor bölgesi olması sebebiyle bu delikler düşey eksene göre birbirleriyle karşılıklı olarak aynı gecikme numaralarına sahiptirler. Orta çektirme bölgesi hariç diğer deliklerin tamamı farklı gecikme sırasıyla patlatılmaktadır. Ayrıca Şekil 4.16. da görüleceği üzere orta çektirme delikleri V-Kesme tasarımı sebebiyle açılı olarak delinmektedir.



Şekil 4.15. Kesit-3 de Uygulanan Patlatma Tasarımı  
(C: V- kesme delikleri, L: taban delikleri, P: çevre delikleri, G: tarama delikleri)



Şekil 4.16. Kesit-3 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü

Şekil 4.15. de gösterilen patlatma tasarımında deliklere yerleştirilen patlayıcı miktarları, Tablo 4.6. da verilmiştir. Ayrıca risk noktalarına fazla yaklaşılan durumlarda, gecikme başına en fazla patlayıcı yerleştirilen bölge olan orta çektirme bölgesi risk noktasından uzaklaştırılmak için taban deliklerinin üstünde yer alan tarama delikleri kaldırılarak orta çektirme bölgesi daha aşağıya kaydırılmıştır.

Tablo 4.6. Kesit-3 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları

Delik Adı	Konulan Maksimum Patlayıcı Miktar (kg)
V-Kesme Delikleri	1,3 (3 kartuş)
Tarama Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Çevre Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Taban Delikleri	1,3 (3 kartuş)

Şekil 4.15. de belirtilen gecikme numaralarının gecikme süreleri ise Tablo 4.7. de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kesit-3 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri (Orica Nitro)

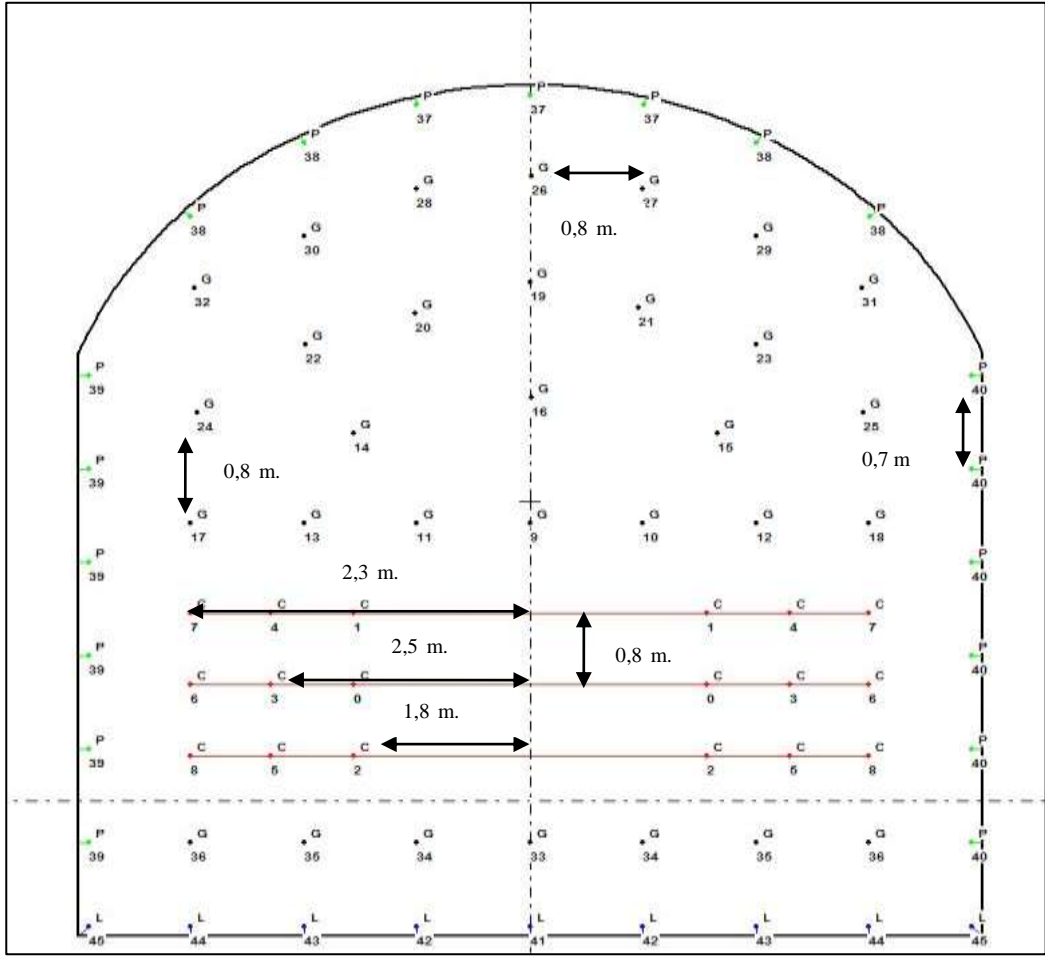
Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)
0	0	23	650	12	300	36	3500
1	25	24	700	13	325	37	4000
2	50	25	750	14	350	38	4500
3	75	26	800	15	375	39	5000
4	100	27	900	16	400	40	5500
5	125	28	1000	17	425	41	6000
6	150	29	1200	18	450	42	6500
7	175	30	1400	19	475	43	7000
8	200	31	1600	20	500	44	8000
9	225	32	1800	21	550	45	9000
10	250	33	2000	22	600		
11	275	34	2500	35	3000		

Kesit-3 dâhilinde bulunan 0+182,65- 0+200,00 metreler arasında, çevredeki risk unsuru binaların altından geçerek ilerlenmiştir. Çalışmanın, bu kısmında tünel tavanıyla yüzey arasındaki kalınlık 17 m. olarak hesaplanmıştır. Riskli olan bu noktalarda orta kesme bölgesi taban deliklerinin hemen üzerinde oluşturularak, risk noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe arttırılması amaçlanmıştır. Böylece orta kesme bölgesi ile risk noktası arasındaki mesafe ~22 metreye çıkartılmıştır. Ayrıca ilerleme boyu 1,8 m. ye düşürülerek ve orta çekme delikleri arasındaki mesafeler daraltılarak gecikme başına maksimum 1,6 kg şarj ile ilerleme sağlanmıştır. Böylece titreşim değerlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

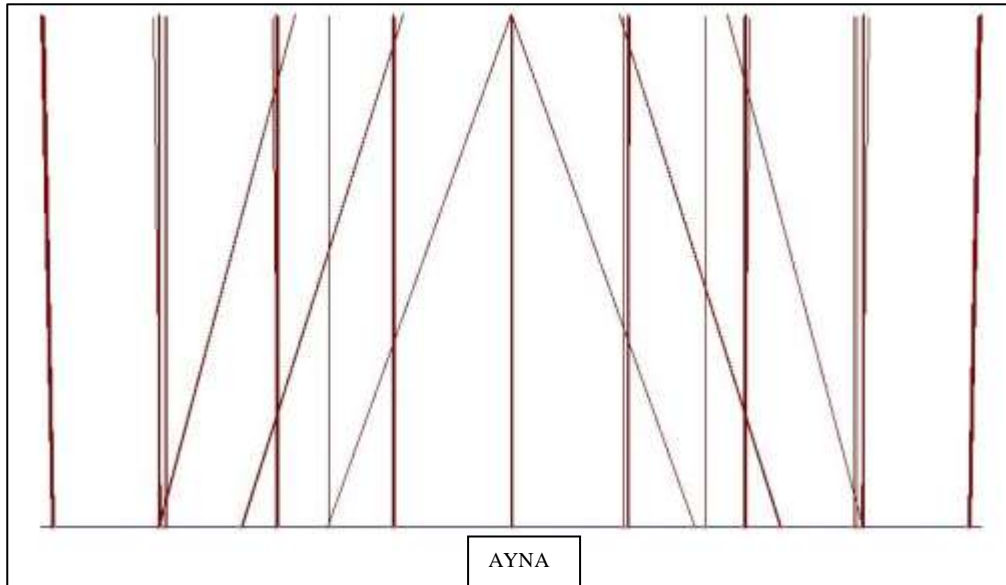
#### **4.4.4. Kesit 4 İçin Kullanılan Patlatma Modeli**

74,52 m<sup>2</sup> lik kesit alanına sahip bu kısım tünelin en büyük yüzey alanına sahip kesitidir. Peron tünellerinin oluşturulacağı kesimde yer alan bu kesit 0+207,65 ile 0+251,43 metreler arasında 43,78 m. lik uzunluğa sahiptir. Bu tünel kesitinde eğim söz konusu değildir. Bu kesit boyunca kaya birimi kireçtaşıdır. Ayrıca yer yer andezit ve diyabaz sokulumları da gözlemlenmiştir.

Kesit-4 de 77 delikten oluşan V- Kesme orta çektirmeli düzen kullanılmış olup, çektirme bölgesinde MS olarak adlandırılan milisaniye, kısa aralıklı gecikmelere sahip kapsüller, çektirme bölgesi dışındaki deliklerde ise LP olarak adlandırılan daha uzun gecikme aralıklarına sahip kapsüller kullanılmıştır. Bu kesit alanı için kullanılan genel tasarım Şekil 4.17. de verilmiştir. Şekil 4.17. de görüleceği üzere düşeyde 3, yatayda 6 sıradan oluşan 18 adet çektirme deliği yer almaktadır. Orta çektirme bölgesi aynanın kırılması en zor bölgesi olması sebebiyle bu delikler düşey eksene göre birbirleriyle karşılıklı olarak aynı gecikme numaralarına sahiptirler.



Şekil 4.17. Kesit-4 de Uygulanan Patlatma Tasarımı  
(C: V- kesme delikleri, L: taban delikleri, P: çevre delikleri, G: tarama delikleri)



Şekil 4.18. Kesit-4 de Uygulanan Patlatma Tasarımı Üstten Görünümü

Kullanılan elektriksiz kapsüllerde 46 farklı gecikmenin olması orta çekirme bölgesi dışındaki farklı deliklerinde aynı zamanda birden fazla ateşleme ihtiyacı doğurmuştur. Bu sebeple çevre deliklerinde Orica firmasına ait Trimex adı verilen 220 gr lık kartuşlar halinde  $1.1 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip kapsüle duyarlı emülsiyon tipi patlayıcılardan kullanılmıştır. Böylece orta kesme bölgesi dışında aynı anda birden fazla delik ateşlenmiş olmasına rağmen gecikme başına düşen maksimum patlayıcı miktarında bir artış olmamıştır.

Şekil 4.17. de gösterilen patlatma tasarımında deliklere yerleştirilen patlayıcı miktarları, Tablo 4.8. de verilmiştir. Ayrıca risk noktalarına fazla yaklaşılan durumlarda, gecikme başına en fazla patlayıcı yerleştirilen bölge olan orta çekirme bölgesi risk noktasından uzaklaştırılmak için taban deliklerinin üstünde yer alan tarama delikleri kaldırılarak orta çekirme bölgesi daha aşağıya kaydırılmıştır.

Tablo 4.8. Kesit-4 Patlatma Tasarımında Deliklere Yerleştirilen Patlayıcı Miktarları

Delik Adı	Konulan Maksimum Patlayıcı Miktar (kg)
V-Kesme Delikleri	1,3 (3 kartuş)
Tarama Delikleri	0,87 (2 kartuş)
Çevre Delikleri	0,44 (2 kartuş)
Taban Delikleri	1,3 (3 kartuş)

Şekil 4.17. de belirtilen gecikme numaralarının gecikme süreleri ise Tablo 4.9. da verilmiştir.

Kesit-4 dâhilinde bulunan 0+210,00- 0+230,00 metreler arasında, çevredeki risk unsuru binaların altından geçerek ilerlenmiştir. Çalışmanın, bu kısmında tünel tavanıyla yüzey arasındaki kalınlık 15 m. olarak hesaplanmıştır. Riskli olan bu noktalarda orta kesme bölgesi taban deliklerinin hemen üzerinde oluşturularak, risk noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe arttırılması amaçlanmıştır. Böylece orta kesme bölgesi ile risk noktası arasındaki mesafe ~23 metreye çıkartılmıştır. Ayrıca ilerleme boyu 1,8 m. ye

düşürülerek ve orta çekme delikleri arasındaki mesafeler daraltılarak gecikme başına maksimum 1,6 kg şarj ile ilerleme sağlanmıştır.

Tablo 4.9. Kesit-4 Patlatma Tasarımında Kullanılan Gecikme Numaralarının Süreleri (Orica Nitro)

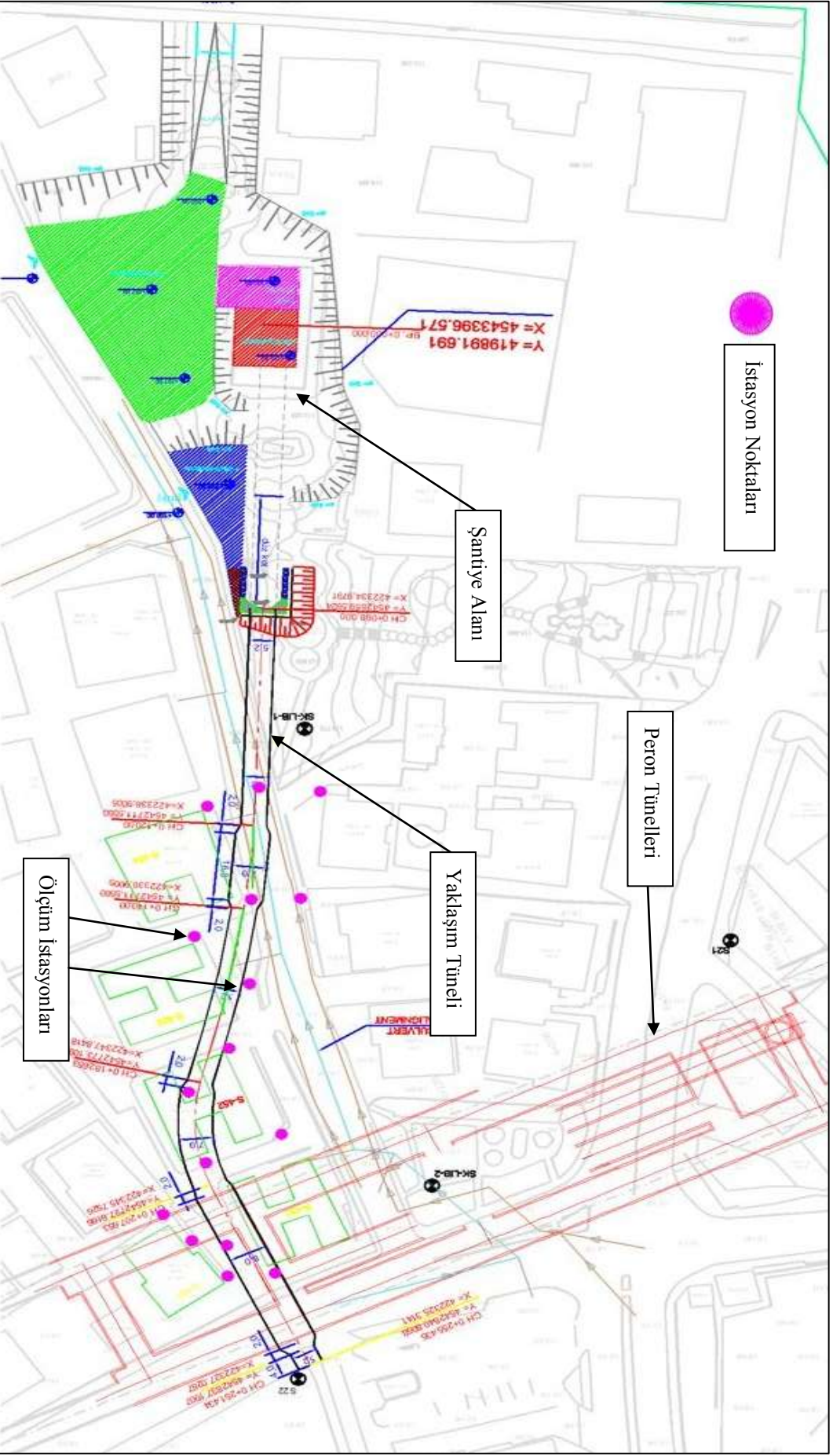
Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)	Numara	Gecikme Süresi (milisaniye)
0	0	23	650	12	300	36	3500
1	25	24	700	13	325	37	4000
2	50	25	750	14	350	38	4500
3	75	26	800	15	375	39	5000
4	100	27	900	16	400	40	5500
5	125	28	1000	17	425	41	6000
6	150	29	1200	18	450	42	6500
7	175	30	1400	19	475	43	7000
8	200	31	1600	20	500	44	8000
9	225	32	1800	21	550	45	9000
10	250	33	2000	22	600		
11	275	34	2500	35	3000		

#### 4.5. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Söz konusu sahada gerçekleştirilen patlatmalı tünel kazısı çalışmaları esnasında, değişik zamanlarda gerçekleştirilen 123 adet atıma ait 245 adet olayda, parçacık hızı bileşenleri ölçekli mesafe unsurlarıyla birlikte kayıt edilmiştir.

Tünel güzergahı boyunca, patlatma yapılan aynaya en yakın risk noktası yapının yanına oluşturulan istasyon noktalarından elde edilen titreşim verilerinin incelenerek, patlatmaların risk noktası yapılarada oluşturduğu etkinin belirlenmesi ve zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İzlenen 245 atımla ilgili, ölçüm istasyonları ve yerleşim birimlerine ait yapıların konumlarını gösteren plan Şekil 4.19. da verilmiştir. Söz konusu ölçüm istasyonunun koordinatları Tablo 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Bulgurlu İstasyonu Yaklaşım ve Peron Tünellerinin Konumu



Tablo 4.10. İstasyon Noktaları Koordinatları

No	Y	X	Z	İstasyon Noktalarının Yerleri
S-06-01	422339,5	4542707,1	112,9	Uzundere Sokağı Rögar Kapağı Yanı
S-06-02	422337,8	4542713,2	113,2	Uzundere Sokağı Yol Üstü
S-06-03	422327,4	4542737,2	114,3	Mavi Gök Sitesi 1-C Blok Köşesi
S-06-04	422341,2	4542765	115,5	Mavi Gök Sitesi 1-B Blok Giriş Köşesi
S-06-05	422350,1	4542737,9	113,3	Uzundere Sokağı Ali Bey Konakları Köşe
S-06-06	422338,2	4542728,9	113,3	Gök Mavi Sitesi 1-D Blok Yüksek Kot
S-06-07	422334,7	4542708,2	111,7	Gök Mavi Sitesi 1-D Blok Düşük Kot
S-06-08	422317,7	4542702,2	113,1	Ali Bey Konakları İçi
S-06-09	422350,8	4542776,78	116,2	Mavi Gök Sitesi 1-B Blok Ortası
S-06-10	422330,24	4542784,96	116,76	Mavi Gök Sitesi 1-B Blok Üst Köşesi
S-06-11	422346,93	4542792,6	116,77	Mavi Gök Sitesi 1-B Blok Arkası
S-06-12	422333,93	4542816,22	116,45	Mavi Gök Sitesi 1-A Blok Metro Turizm Ofisi Altı
S-06-13	422343,31	4542819,9	118,58	Alp Apartmanı Kuafor Yanı
S-06-14	422350,38	4542811,76	118,49	Alp Apartmanı Ortası
S-06-15	422355,31	4542800,69	118,2	Alp-Lale Apt. Arası
S-06-16	422361,61	4542811,6	118,2	Alp Apt. Yanı
S-06-17	422366,73	4542805,2	116,8	Lale Apt. Yanı
S-06-19	422330,11	4542798,88	115,95	Mavi Gök Sitesi 1-A Blok Orta Kısım

#### 4.6. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Söz konusu sahada değişik zamanlarda gerçekleştirilen 123 adet atıma ait 245 olay ölçekli mesafe unsurlarıyla birlikte kayıt edilmiştir. Atımların tamamı 2 ya da daha fazla Instantel ve White marka titreşim ölçer cihazlar ile risk unsuru yapılaraya göre oluşturulan istasyon noktalarında ölçülmüştür (Şekil 4.19.). Titreşim ölçer cihazlar her ne kadar toprak ya da kaya zemine yerleştirilmeye özen gösterilmiş olsa da, tünel güzergâhının yerleşimin yoğun olduğu bir bölgede yer alması cihazların beton yapılaraya açılan deliklere yerleştirilmesine sebep olmuştur. Fakat değerlendirilen ilk atımlarda, istasyon noktaları birbirlerine yakın olmasına rağmen cihazın kurulduğu noktaların zemin türüne göre farklılık oluştuğu görülmüştür. Bu sebeple istasyon noktalarının zemin türü özenle kayıt edilmiş ve genel değerlendirmede bu değişken göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 4.11. Zemin Türlerine Göre İstasyon Noktaları Ölçümleri

Tarih	Saat	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	İstasyon No	Cihaz No	Cihazın Yerleştirildiği Nokta Türü
07.12.2012	12:55	21,3	114	10,59	6,57	S-06-07	19013	Toprak Zemin
07.12.2012	12:55	14,1	49	11,49	7,13	S-06-01	19014	Asfalt Zemin
07.12.2012	12:55	8,25	146	21,79	13,51	S-06-08	19015	Beton Zemin

Tablo 4.11. de görülen aynı atımda benzer mesafelerdeki titreşim değerleri birbirlerinden oldukça farklı değerlerde kayıt edilmiştir. Bu nedenle kayıt değerleri buldukları zemine göre ayrılarak sonuca varmaya çalışılmıştır.

Çalışmada elde edilen bazı titreşim değerleri Tablo 4.12. de verilmiştir. Kayıt edilen değerlerden kaya yada toprak zeminde (doğal zemin) oluşturulan istasyonlarda ölçülenler EK-A da betonda (yapay zemin) oluşturulan istasyonlarda ölçülenler ise EK-B de verilmiştir.

Tablo 4.12. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları

Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	Yatay mesafe (m)
1	21,3	114	2,6	10,59	6,57	4,98
2	9,4	128	2,6	21,79	13,51	18,95
3	20,1	102	2,6	9,91	6,15	2,04
8	6,98	93	2,6	30,84	19,13	28,58
8	9,52	114	2,6	20,12	12,48	16,44
12	19,9	73	2,6	14,27	8,85	7,72
13	19,9	60	2,6	22,91	14,21	19,29
13	17,1	64	2,6	13,68	8,48	5,87
19	9,52	68	2,6	18,78	11,65	6,13
31	8,51	85	2,6	34,29	21,27	28,72
32	10,8	60	2,6	20,76	12,87	5,74
35	10	85	2,6	41,19	25,54	36,68
37	16,8	85	2,6	21,77	13,50	8,71
38	5,08	93	2,6	45,42	28,17	41,37
40	18,3	102	2,6	23,95	14,85	13,25

#### 4.7. ÖLÇÜMLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında 123 farklı atımda 245 adet olay kayıt edilmiştir. Tüm çalışma süresince her atımda en az 2 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz, atım noktası ile risk unsuru yapı arasına yerleştirilerek kayıt alınmıştır. Haberleşme sorunlarından kaynaklı birkaç atımda bazı titreşim ölçer cihazlar çalıştırılmaması sebebiyle söz konusu bu atımlarda tek cihaz ile kayıt alınmıştır.

Atımlar esnasında yapılan titreşim ölçümleri için oluşturulan istasyonlarının zemin türü değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle oluşturulan istasyon noktaları türlerine göre gruplandırılmıştır. İstasyon noktaları gruplandırıldığında 3 ana grup ortaya çıkmıştır. Bunlar; toprak yada kaya zemin, betonarme zemin ve asfalt zemindir. Asfalt zeminde oluşturulan istasyonlardan 4 adet titreşim kaydı alındığı için asfalt zemin betonarme zemine dahil edilerek yapay zemin olarak adlandırılmıştır. Oluşan titreşimlerin doğal zeminde ve yapay zeminlerde oluşturdukları etki ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte oluşan titreşimler; enine, boyuna ve düşey 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  $\beta$ , arazi sönümlenme katsayısı SPSS istatistik programı kullanılarak bulunmaya çalışılmıştır. İstatistik analizde %50 lik ortalama tahmin denklemi ile daha muhafazakar tahmin olanağı sağlayan %95 lik üst tahmin denklemleri belirlenmiştir.

##### 4.7.1. Doğal Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Çalışma kapsamında 123 atımda kayıt edilen 245 olayın 82 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.

Atımlar sonucu oluşan sismik dalgalar 3 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 K, arazi katsayısı ile  $\beta$ , arazi sönümlenme katsayısı tespit edilmiştir.

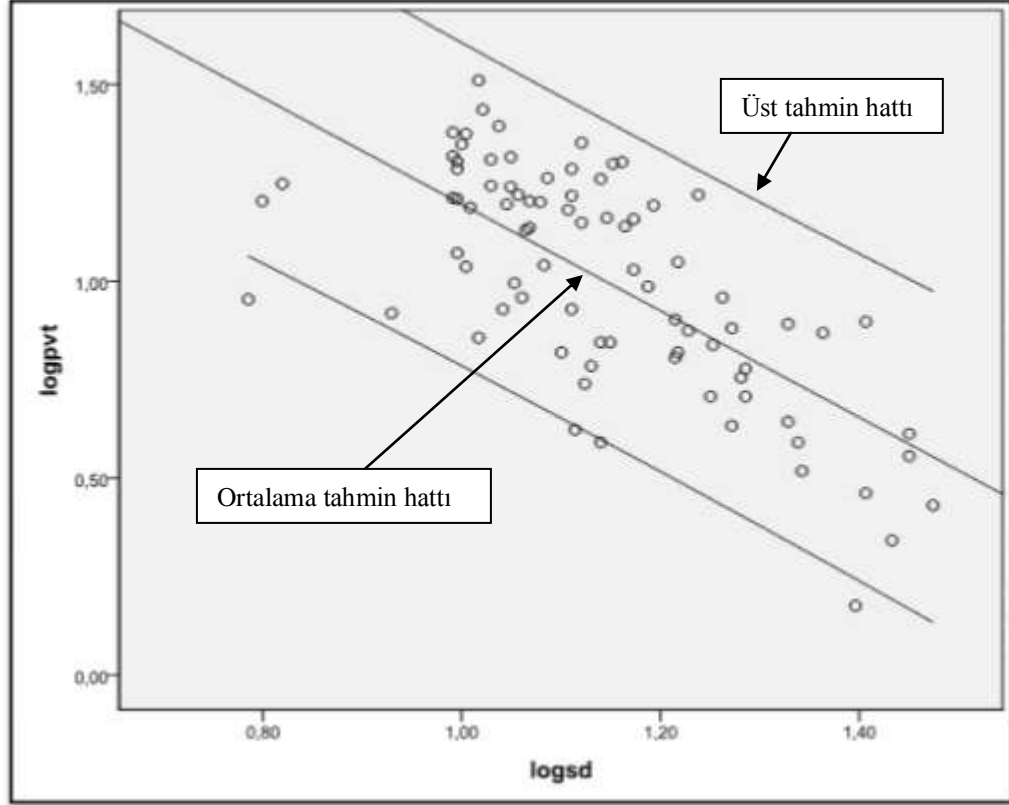
#### 4.7.1.1. Doğal Zeminde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 82 olayın enine dalgaların (Transverse) maksimum hızları (PVT) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVT = 354 \times SD^{-1,353} \quad (r = 0,7) \quad (4.1)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVT = 901,57 \times SD^{-1,353} \quad (r = 1) \quad (4.2)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %70 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Doğal Zeminde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

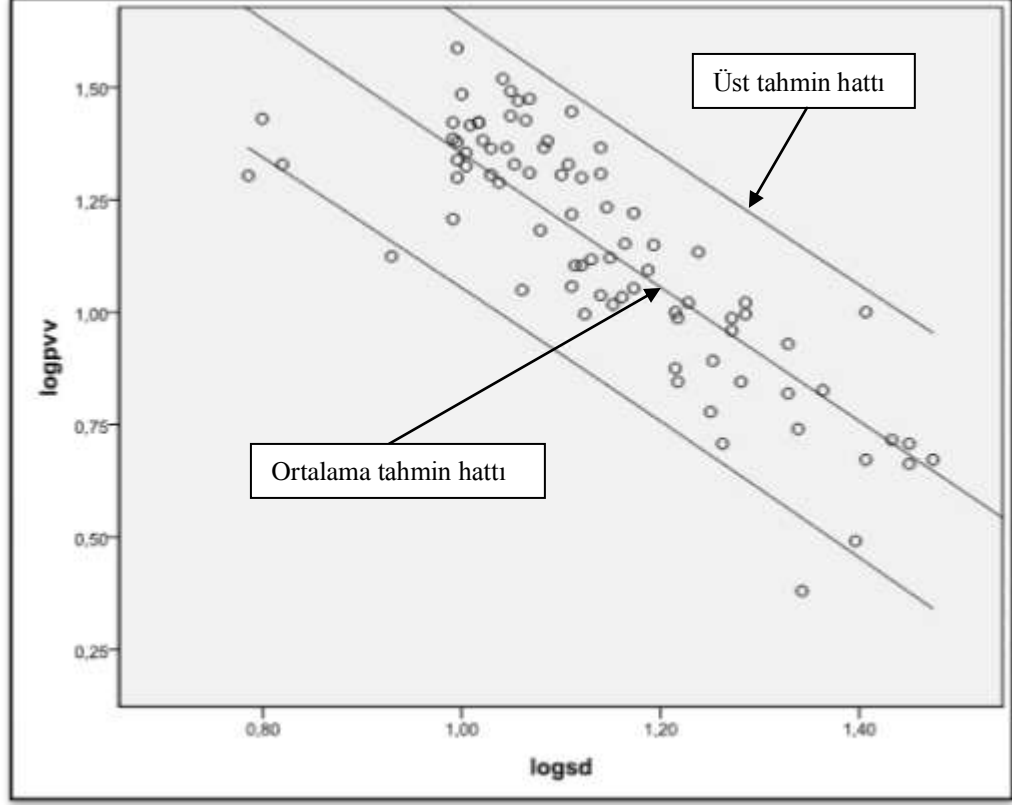
#### 4.7.1.2. Doğal Zeminde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Araştırma kapsamında doğal zeminde oluşturulan istasyonlardan elde edilen toplam 82 adet atımda kayıt edilen düşey dalgaların (vertical) maksimum hızları (PVV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVV = 695,02 \times SD^{-1,489} \quad (r = 0,83) \quad (4.3)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVV = 1374,04 \times SD^{-1,489} \quad (r = 1) \quad (4.4)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %83 lük korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Doğal Zeminde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

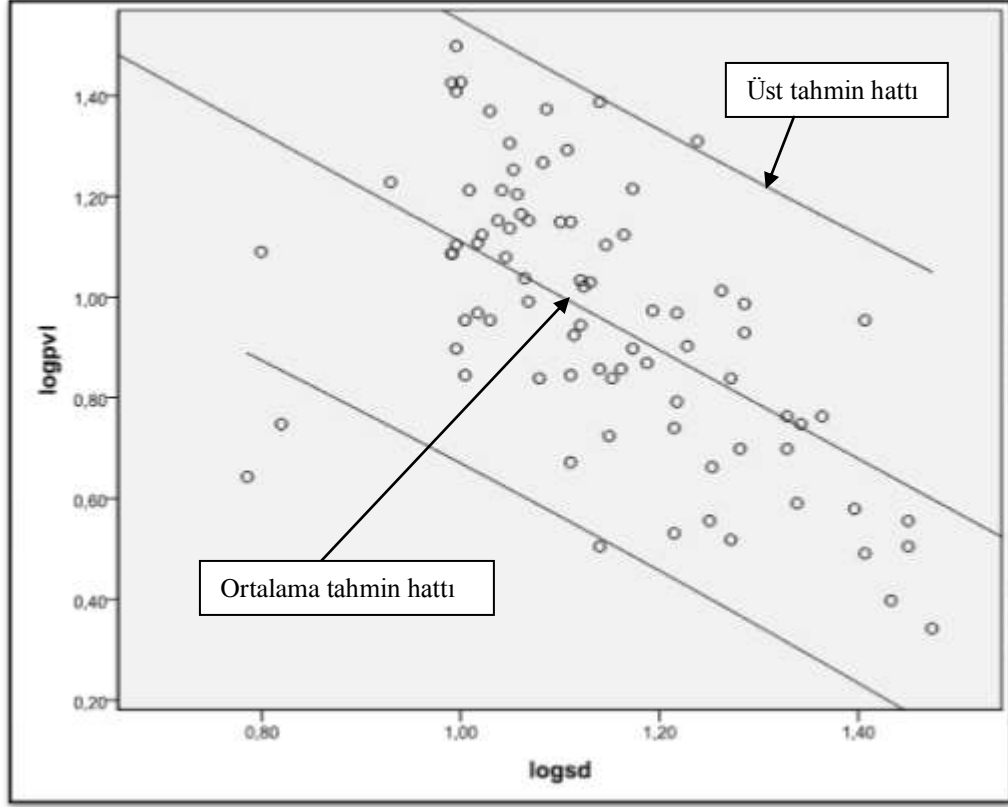
#### 4.7.1.3. Doğal Zeminde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 82 olayın boyuna dalgaların (Longitudinal) maksimum hızları (PVL) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVL = 153,46 \times SD^{-1,076} \quad (r = 0,59) \quad (4.5)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVL = 417,83 \times SD^{-1,076} \quad (r = 1) \quad (4.6)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %59 luk korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Doğal Zeminde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

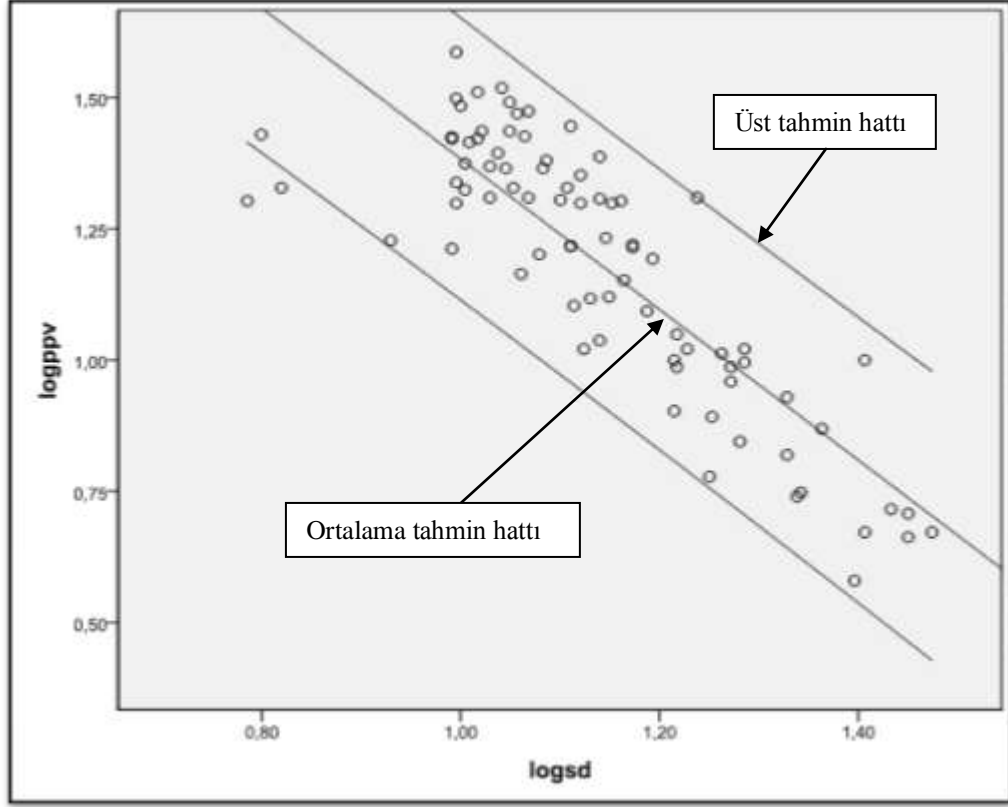
#### 4.7.1.4. Doğal Zeminde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi

Doğal zeminde kayıt edilen 82 olaya ait tüm dalga türlerinde elde edilen maksimum parçacık hızları (PPV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemini} \quad PPV = 657,66 \times SD^{-1,434} \quad (r = 0,85) \quad (4.7)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemini} \quad PPV = 1213,39 \times SD^{-1,434} \quad (r = 1) \quad (4.8)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %85 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.23.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. 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  $\beta$  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  $\beta$  zemin parametreleri tespit edilerek %50 lik ve %95 lik tahmin denklemleri sırasıyla 4.7 ve 4.8 nolu bağıntılarda verilmiştir.

#### 4.7.2.Yapay Zeminde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Çalışma kapsamında 123 atımda kayıt edilen 245 olayın 163 tanesi betonarme yapılara (kaldırım, bina içi vb.) yerleştirilmiş titreşim ölçer cihazlardan elde edilmiştir. Dolayısıyla bu cihazlardan elde edilen kayıtlar, patlatmalardan dolayı oluşan titreşimin betonarme yapılara olan etkisini belirtmektedir. Patlatmadan kaynaklı titreşimler betonarme yapılarda oluşturulan istasyonlarda 3 boyutta (enine- boyuna- düşey) kayıt

edilmiştir. Elde edilen veriler her dalga türü için ayrı ayrı değerlendirilerek her bir dalga türü için, kayıt edilen parçacık hızları ölçekli mesafe (SD) ile ilişkilendirilerek istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca tüm dalga türlerinde kayıt edilen hızlar değerlendirilerek maksimum parçacık hızları ile ölçekli mesafeler ilişkilendirilmiştir. Tüm dalga türleri ve maksimum parçacık hızı verilerine göre, betonarme yapılar için patlatmadan kaynaklı titreşim tahmin bağıntıları elde edilmiştir.

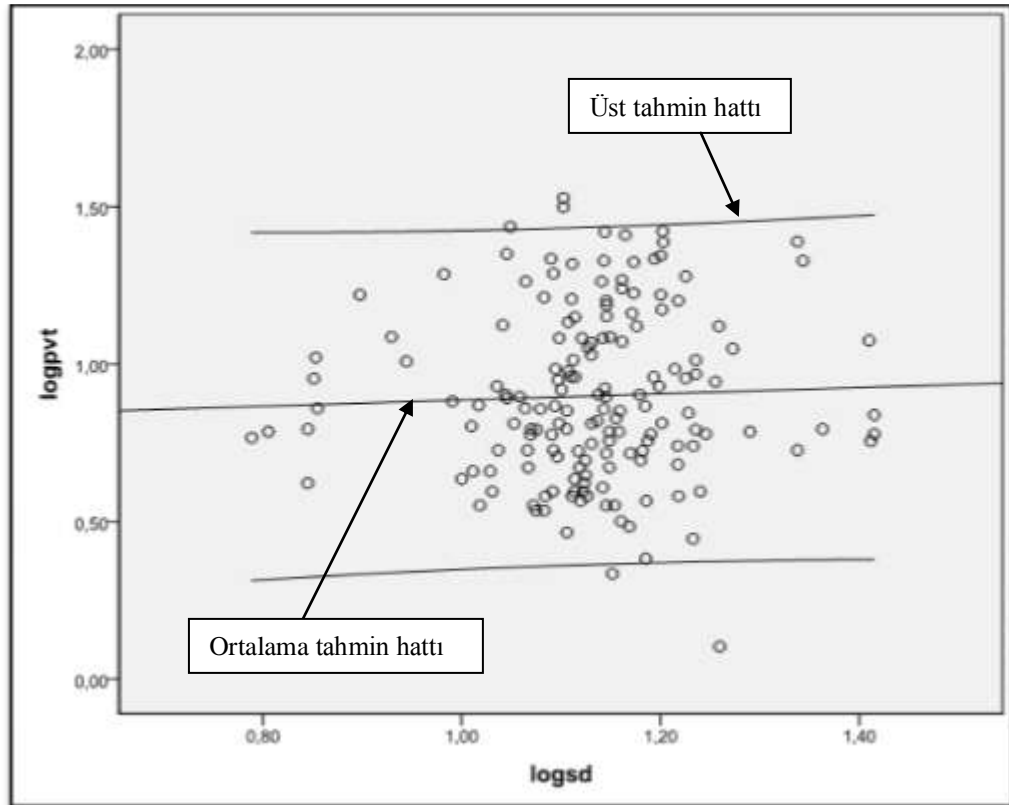
#### 4.7.2.1. Yapay Zeminlerde Ölçülen Enine Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Yapay zeminlerde kayıt edilen 163 olaya ait enine dalga (transverse) türünde elde edilen parçacık hızları (PVT) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemini} \quad PVT = 6,12 \times SD^{-0,099} \quad (r = 0,04) \quad (4.9)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemini} \quad PVT = 21,43 \times SD^{-0,099} \quad (r = 1) \quad (4.10)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %4 luk korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Yapay Zeminlerde PVT ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki



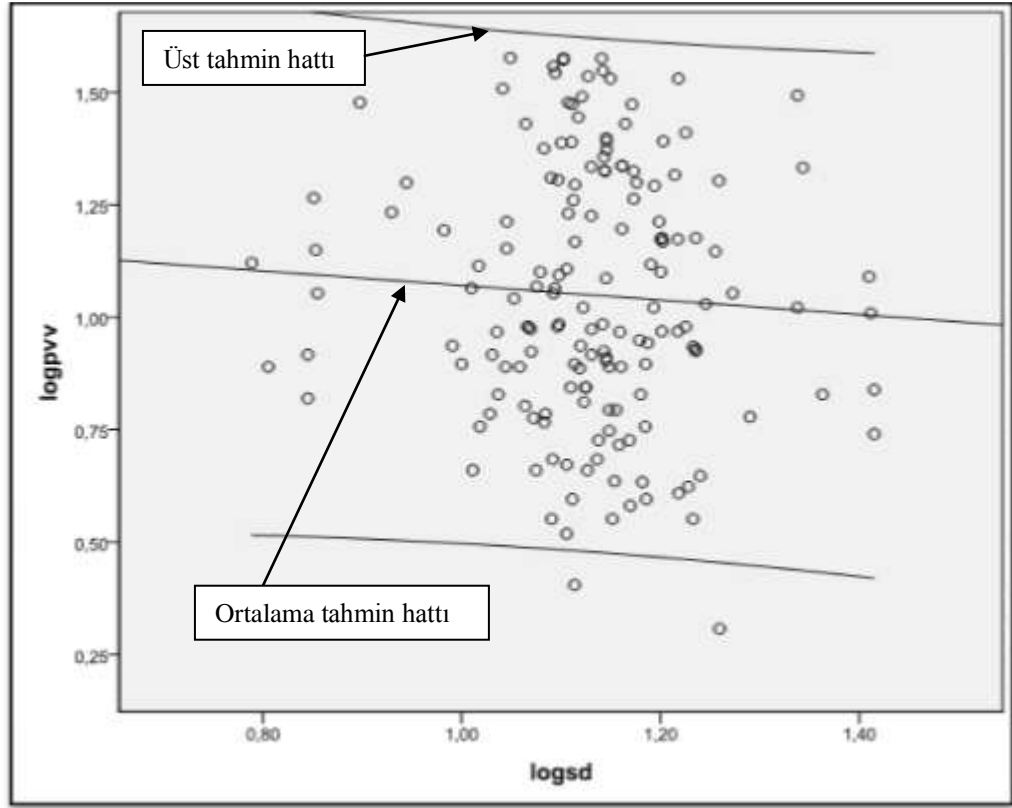
#### 4.7.2.2. Yapay Zeminlerde Ölçülen Düşey Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Yapay zeminlerde oluşturulan istasyonlardan düşey dalga (vertical) türünde elde edilen parçacık hızları (PVV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVV = 17,06 \times SD^{-0,161} \quad (r = 0,06) \quad (4.11)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVV = 64,71 \times SD^{-0,161} \quad (r = 1) \quad (4.12)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %6 lık korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Yapay Zeminlerde PVV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

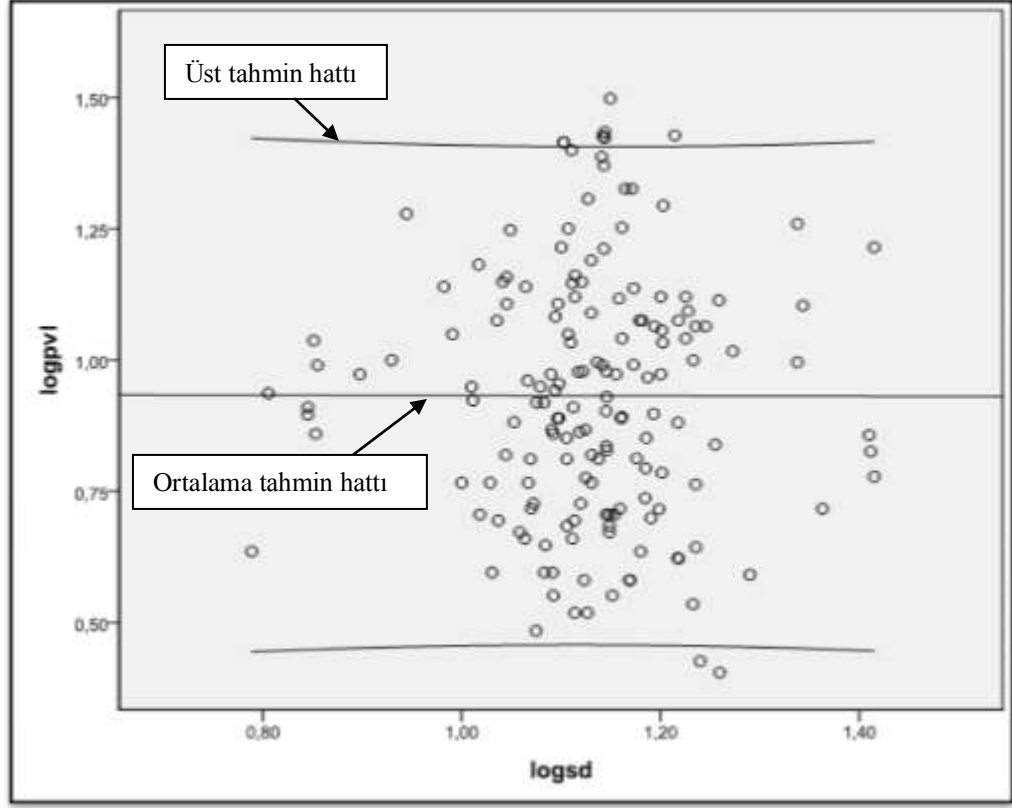
#### 4.7.2.3. Yapay Zeminlerde Ölçülen Boyuna Dalga Hızlarının İstatistiksel Analizi

Yapay zeminlerde oluşturulan istasyon noktalarından elde edilen boyuna dalgalar (Longitudinal) ile ölçekli mesafe (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PVL = 8,65 \times SD^{-0,004} \quad (r = 0,002) \quad (4.13)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PVL = 26,18 \times SD^{-0,004} \quad (r = 1) \quad (4.14)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %0,2 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.



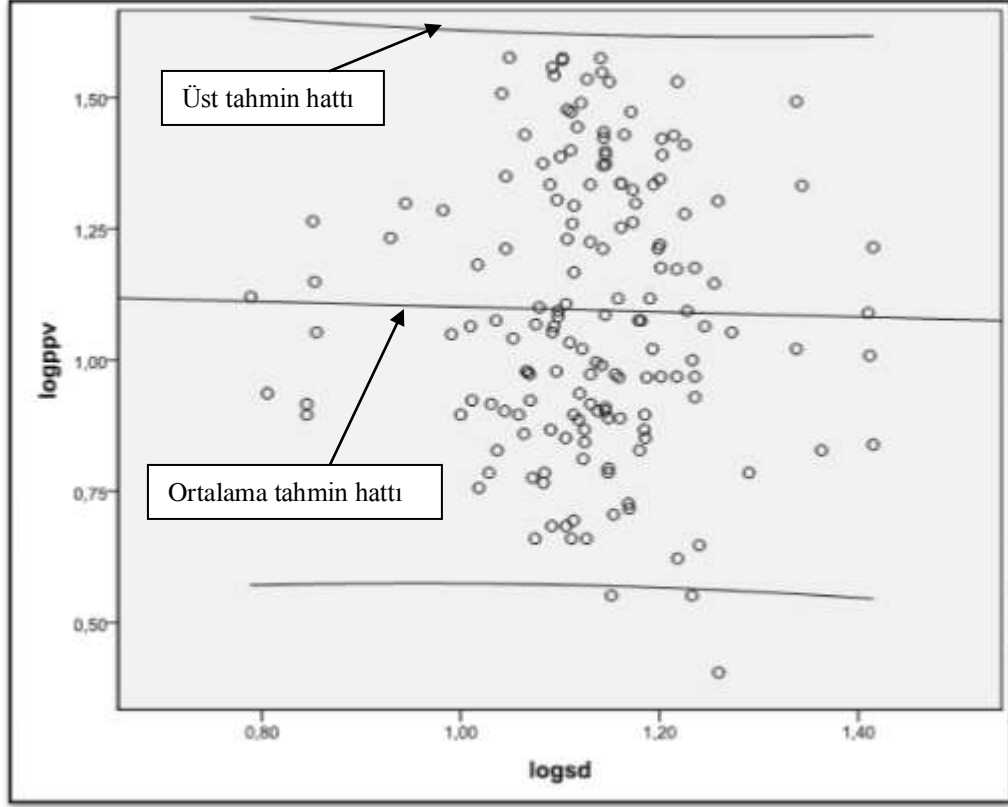
Şekil 4.26. Yapay Zeminlerde PVL ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

4.7.2.4. Yapay Zeminlerde Ölçülen Maksimum Parçacık Hızlarının İstatistiksel Analizi  
Yapay zeminlerde kayıt edilen 163 olaya ait tüm dalga türlerinde elde edilen maksimum parçacık hızları (PPV) ile ölçekli mesafeler (SD) ilişkilendirildiğinde;

$$\%50 \text{ ortalama tahmin denklemi} \quad PPV = 14,12 \times SD^{-0,048} \quad (r = 0,02) \quad (4.15)$$

$$\%95 \text{ üst tahmin denklemi} \quad PPV = 46,08 \times SD^{-0,048} \quad (r = 1) \quad (4.16)$$

şeklinde bağıntı elde edilmiştir. %2 lik korelasyon katsayısıyla elde edilen fonksiyonun grafiksel görünümü Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Yapay Zeminlerde PPV ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişki

Yapay 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  $\beta$  katsayıları tespit edilerek titreşim tahmin bağıntıları 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 de verilmiştir. Ayrıca tüm dalga türleri değerlendirilerek oluşan maksimum parçacık hızları değerlendirilerek, sahaya ait  $K$  ve  $\beta$  zemin parametreleri tespit edilerek %50 lik ve %90 lik tahmin denklemleri sırasıyla 4.15 ve 4.16 nolu bağıntıda verilmiştir.

Yapay zeminlerde yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin birbirleriyle olan ilişkilerinin zayıf olması, korelasyon katsayılarının literatüre göre oldukça düşük olması sonucu elde edilen tüm verilerin (doğal ve yapay zeminlerden elde edilen) istatistiksel analizinin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

### 4.7.3 Elde Edilen Tahmin Denklem Ve Yaklaşımları

Çalışma kapsamında 123 atımda kayıt edilen 245 olay; kayıt edildikleri istasyon noktasının türüne (doğal ve yapay zemin) ve dalga türlerine göre (enine, boyuna, düşey) ayrı ayrı değerlendirilerek Tablo 4.13 de ki değerler elde edilmiştir.

Tablo 4.13. İstatiksel Analizle Elde Edilen Arazi Katsayıları

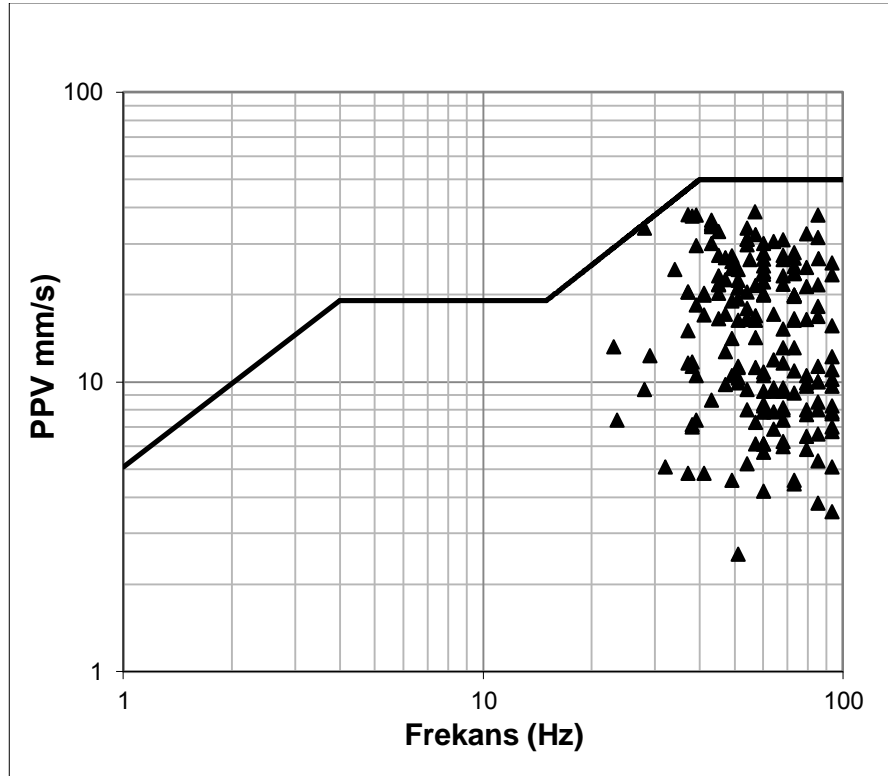
İstasyon Noktası Türü	Dalga Türü	Tahmin Hattı	K	$\beta$	Korelasyon Katsayısı (r)	
Doğal Zemin	Enine (PVT)	%50	354	-1,353	0,7	
		%95	901,57		1	
	Düşey (PVV)	%50	695,02	-1,489	0,83	
		%95	1374,04		1	
	Boyuna (PVL)	%50	153,46	-1,076	0,59	
		%95	417,83		1	
	Maksimum Parçacık Hızı (PPV)	%50	657,66	-1,434	0,85	
		%95	1213,39		1	
	Yapay Zemin	Enine (PVT)	%50	6,12	-0,099	0,04
			%95	21,43		1
Düşey (PVV)		%50	17,06	-0,161	0,06	
		%95	64,71		1	
Boyuna (PVL)		%50	8,65	-0,004	0,002	
		%95	26,18		1	
Maksimum Parçacık Hızı (PPV)		%50	14,12	-0,048	0,02	
		%95	48,08		1	

İncelenen tüm verilere göre elde edilen sonuçlar tablo 4.13 te verilmiştir. 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).

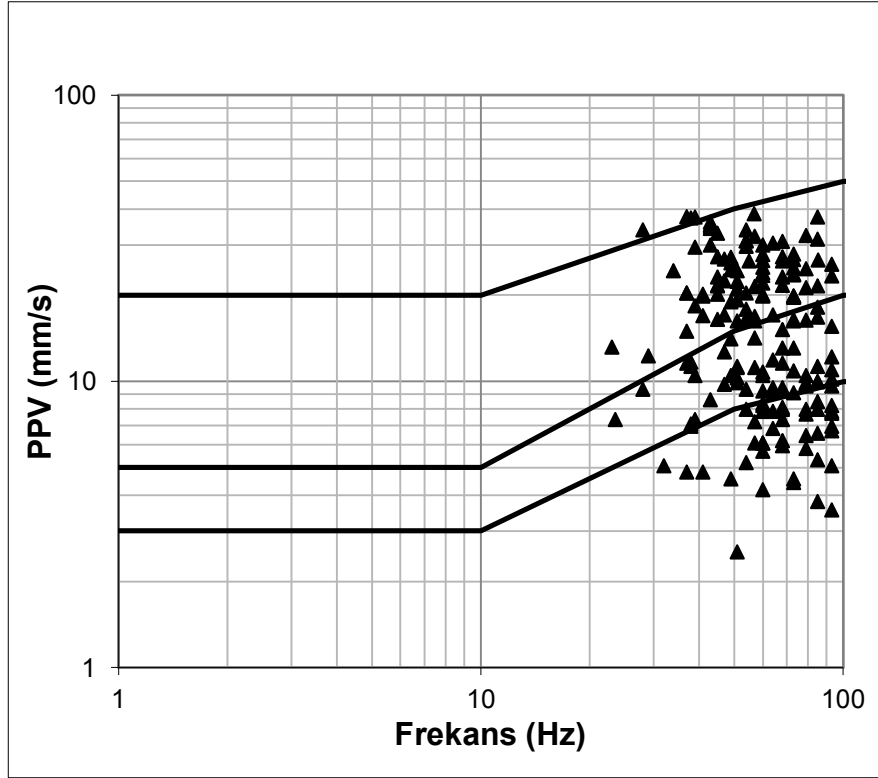
#### 4.7.4. Atımların Hasar Riski Değerlendirmesi

Cihazların kaydettiği yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının çevredeki yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla; parçacık hız bileşenleri, oluşum frekansları da dikkate alınarak, daha önce bahsedilen uluslararası USBM, Alman DIN 4150 ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normlarına göre değerlendirilmiştir.

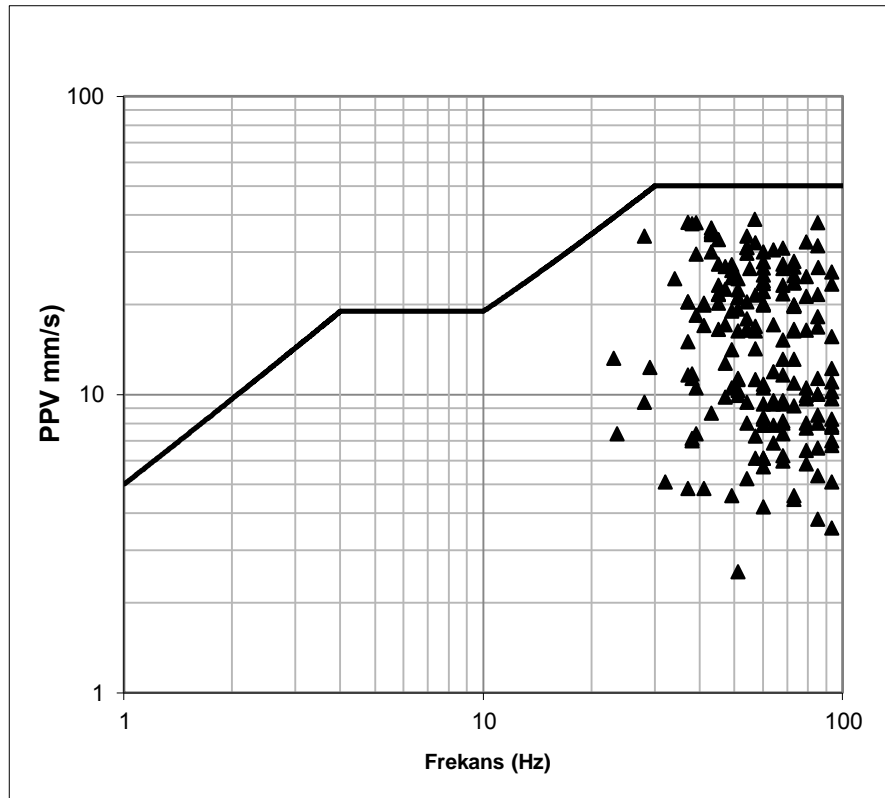
Kaydedilen tüm atımlarda ölçülen maksimum parçacık hızı ve karşılık gelen frekans değerleri, USBM, Alman DIN 4150 ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normları alternatif hasar kriterlerine göre mukayese edilmek üzere Şekil 4.28-29-30.'daki grafikler üzerinde topluca gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların USBM Normuna göre yorumu



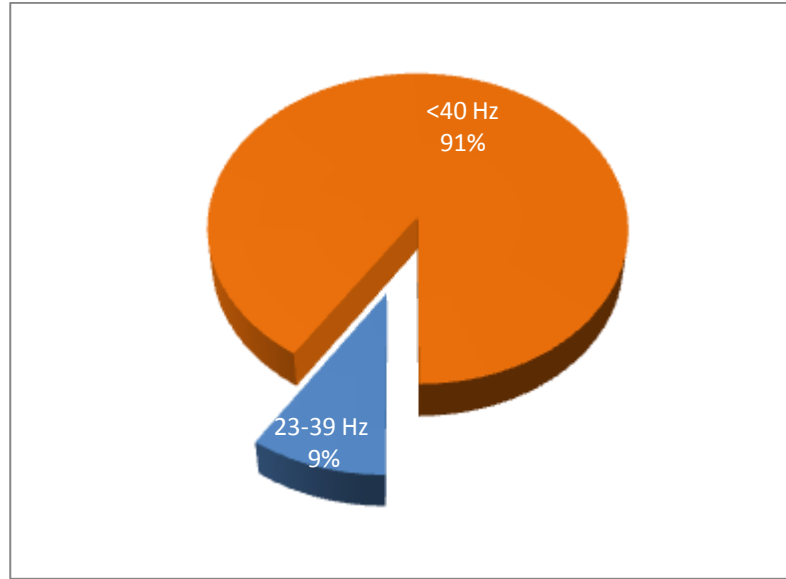
Şekil 4.29. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların Alman DIN 4150 Normuna göre yorumu



Şekil 4.30. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların Türk Normuna göre yorumu

Yapılan atımların farklı normlara göre değerlendirilerek hasar kriterleri değerlendirilmiştir. Buna göre, Şekil 4.28. ve Şekil 4.30 de görüleceği üzere, kaydedilen değerler, söz konusu normlara ait hasar limitlerinin altında olmuştur. Şekil 4.29'daki grafikte ise, yapılan atımlarda ölçülen bazı değerlerin, daha muhafazakar limitler içeren Alman DIN 4150 Normuna ait eşik hasar limitinin üzerinde çıkmıştır. Çalışma alanı çevresinde genellikle betonarme binalar yer almasına rağmen söz konusu Alman DIN 4150 normunda betonarme ve çelik yapılar için belirlenen limitin zaman zaman aşıldığı gözlemlenmiştir.

Gecikme başına düşen şarjın mevcut olanaklarla kısıtlanmaya çalışıldığı bu atımlarda; kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımları USBM normuna kısmen uyumlu olan Ülkemiz yönetmeliğine göre incelendiğinde, 1–11 Hz değer aralığında bir kayda rastlanmamış ve kaydedilen 51 olaya ait titreşim frekansları değerlerinin, % 100'ü ise 12 Hz'den yüksek olmuştur (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Kaydedilen Frekans değerlerinin dağılımı

Ölçülen titreşim frekanslarının yüksek olması, genel olarak 5–10 Hz. düzeyinde olan yapıların öz yapısal frekanslarıyla karşılaştırıldığında, rezonans riskinin minimum düzeyde olacağını göstermektedir. Ancak, söz konusu tünel inşaatının çok yakınında

yerleşim birimlerinin olmasından dolayı, bu değerlerin her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır.

#### **4.8. RİSK ANALİZİ**

Çalışma süresince elde edilen verilerle istatistiksel analizler yapılarak sahaya özgü dalga türlerine ve istasyon noktası zemin türüne göre arazi parametreleri elde edilmiştir (Tablo 4.13.). Bulunan ilişkilerin korelasyon katsayıları incelendiğinde en uyumlu verilerin doğal zeminlerde oluşturulan istasyon noktalarından elde edilen maksimum parçacık hızları (PPV) ile ölçekli mesafelerin (SD) ilişkilendirilmesiyle elde edilmiştir (4.8 ve 4.9 nolu denklem). Literatüre göre iyi bir korelasyon katsayısı ( $r= 0,85$ ) ile türetilen ortalama tahmin denklemi ve üst tahmin denklemi ile bu bölgede ileride yapılacak atımlarda titreşim ölçer cihaz kullanılmaması durumunda oluşacak titreşim değerleri tahmin edilebilecektir (kabul edilebilir limitlerdeki bir sapma ile). Bu tahmin denklemine göre, mesafeye bağlı kullanılacak patlayıcı miktarları Tablo 4.14. te Alman DIN 4150 hasar kriterlerine göre, Tablo 4.15. de ise birbiriyle benzer kriterleri olan USBM ve Türk Normuna göre verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda daha muhafazakar miktarlar öneren %95 lik üst tahmin denklemi kullanılmıştır.



Tablo 4.14. Alman DIN 4150 Normu Hasar Kriterlerine Göre Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarları

Mesafe (m)	Kullanılan Yaklaşım	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	PPV=657,66*SD <sup>-1,434</sup>	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
<b>10</b>		0,02	0,09	0,12	0,05	0,22	<b>0,33</b>	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
<b>23</b>	0,12	0,48	0,66	0,25	1,15	<b>1,72</b>	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	

Tablo 4.15. 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 Frekansa Sahip Hızlar İçin) (W) (kg)		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)	(50 mm/s)
5	PPV=657,66*SD <sup>-1,434</sup>	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
<b>10</b>		0,17	0,30	<b>1,17</b>
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
<b>23</b>	0,92	1,61	<b>6,19</b>	
25	1,08	1,90	7,31	
30	1,56	2,73	10,53	
35	2,12	3,72	14,34	

Yapılan risk analizine göre bu sahada yapılacak atımlarda titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda ya da ön tasarım planlaması aşamasında çevredeki yapıların dayanım ve malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenecek, 2.4.5.2. numaralı başlık altında belirtilen hasar kriterlerine uygun olarak Tablo 4.14. ve Tablo 4.15. de ki gecikme başına düşen patlayıcı miktarları kullanılabilir (kabul edilebilir sapma limitleri dâhilinde).

Çalışma yapılan çevrede yer alan yapı stoğu incelendiğinde genellikle 4-5 katlı betonarme binaların yer aldığı gözlemlenmiştir. Yaklaşım tüneli, ilerleme boyunca farklı noktalarda risk unsuru yapıların altından ya da yakınından geçmektedir. Yaklaşım tünelinin ortalama derinliği 15 m. olmasına karşın risk noktası yapılara en fazla yaklaşılacak mesafe 10 m. olarak tespit edilmiştir. Risk noktası yapılara olan ortalama uzaklık ise 23 m. dir. Ayrıca çalışma kapsamında yapılan patlatmalarda oluşan titreşimlerin frekansları şekil 4.28-29-30 da görüleceği üzere genellikle 50 Hz üzerinde ölçülmüştür.

Çalışma kapsamında gerçekleşen patlatmalardan elde edilen parçacık hızı verilerinin ölçekli mesafeler ile ilişkilendirilmesiyle elde edilen tahmin formülü elde edilmiş ve buna göre risk analizi yapılarak Tablo 4.14. de Alman DIN 4150 Normu hasar kriterlerine, Tablo 4.15 de ise USBM ve Türk Normu hasar kriterlerine göre kullanılacak patlayıcı madde miktarları belirtilmiştir. Çevredeki yapıların betonarme yapılar olması ve titreşimlerin frekanslarının yüksek olması sebebiyle 50 Hz üzeri betonarme yapılara uygun hasar riski limitleri dikkate alınmıştır.

Risk noktası yapılara hasar vermeden patlatmalı kazı yapabilmek için muhafazakâr hasar limitlerine sahip olan Alman DIN 4150 Normuna göre, tünel ilerlemesi boyunca risk noktalarına en çok yaklaşılacak mesafe olan 10 m de gecikme başına 0,33 kg patlayıcı madde kullanılabilir iken tünel güzergahının risk noktası yapılara olan ortalama uzaklığı olan 23 m. de ise gecikme başına 1,72 kg. patlayıcı madde kullanılabilir. Alman DIN 4150 Normuna nazaran daha rahat çalışma imkanı veren USBM ve Türk Normu hasar limitlerine göre ise 10 m. de gecikme başına 1,17 kg patlayıcı madde kullanılabilirken risk unsuru ortalama uzaklık olan 23 m de ise 6,19 kg patlayıcı madde kullanılabilir.

Çalışma kapsamında, yaklaşım tüneli patlatmalı kazısı süresince gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı 2,6 kg. dır. 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 4.16. da verilmiştir.

Tablo 4.16. Çalışmada kullanılan patlayıcı miktarına göre risk noktalarına yaklaşılabilir maksimum mesafeler

Patlayıcı Miktarı (kg)	Yaklaşılabilir Mesafe (m)		
	Alman DIN 4150 Normuna Göre (20 mm/s)	USBM Normuna Göre (50 mm/sn)	Türk Normuna Göre (50 mm/sn)
2,6	29	15	15

Tablo 4.16. dan anlaşılacağı üzere, gecikme başına 2,6 kg patlayıcı kullanılarak hasar oluşturmayacak şekilde en yakın risk noktası olan yapılara; Alman DIN 4150 Normuna göre 29 m., USBM ve Türk Normuna göre ise 15 m. mesafeye kadar yaklaşılabilir.

Yapılan risk analizine göre uygulamada kullanılan patlayıcı miktarı ile risk unsuru yapılara yaklaşılacak en yakın mesafe (10 m.) gerek USBM ve Türk Normu hasar başlangıç limitlerine göre gerekse de bu kriterlere nazaran daha muhafazakar limitlere sahip Alman DIN 4150 Normu kriterinin betonarme yapılar (50 Hz< titreşimler için) için belirttiği limit değerlere göre (20 mm/s) uygun değildir. USBM ve Türk Normlarına göre 15 m. den, Alman DIN 4150 Normuna göre ise risk noktası yapılara 29 m. den fazla yaklaşıldığı atımlarda yapılarda hasar gözlenebilir.

#### 4.9. TÜRETİLEN FORMULÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışma kapsamında türetilen, en iyi korelasyon katsayısına sahip ( $r=0,85$ ) verilerden türetilen tahmin formüllü (denklem 4.7) literatürde yer benzer formasyon ve birimlerden (Dolayoba Formasyonu) elde edilen formüllerle karşılaştırılmıştır. Literatürden, Dolayoba Formasyonu için sadece % 50 lik ortalama tahmine ulaşılabildiği için, sadece ortalama tahmin formülleri karşılaştırılmıştır. Tablo 4.17. de verilen karşılaştırmaya göre çalışmada elde edilen eşitliğin literatürdeki eşitliğe göre daha esnek limitlerde patlayıcı kullanımına olanak sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.17. Çalışmadan Türetilen Formülle Literatürde Yer Alan Formüllerin Karşılaştırılması

Mesafe (m)	Parçacık Hızı (mm/s)	Çalışma Kapsamında Elde Edilen Eşitliğe Göre Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarı (kg) $PPV = 657,66 * SD^{-1,434}$	Literatür Eşitliğine Göre Kullanılabilecek Patlayıcı Miktarı (kg) (Özer, 2007) $PPV = 1133,6 * SD^{-1,501}$
10	19	0,71	0,43
20		2,85	1,72
30		6,42	3,87
40		11,41	6,89
50		17,83	10,76

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında, “Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metrosu Tünelleri İnşaatı” sırasında patlatmalı kazı uygulanacak Bulgurlu İstasyonu yaklaşım tüneli patlatmalı kazısı esnasında 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.

Söz konusu sahada 123 atımda kaydedilen toplam 245 olay değerlendirilmiştir. Çalışma esnasında 3 boyutta (enine, boyuna, düşey) oluşan titreşimler her olay için kayıt edilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde titreşim ölçer cihaz kurulan zemin türünün titreşim değerlerini etkilediği görülmüştür. Bu nedenle istasyon noktalarının oluşturduğu zemin türlerine göre veriler ayrılmış ve ayrılan her istasyon türüne göre ayrı analizler yapılmıştır. Ayrıca istasyon türüne göre ayrılan veriler 3 boyutta ayrı ayrı incelenmiştir.

Her bir istasyon türü ve dalga türüne göre yapılan istatistiksel analizler neticesinde birbirleriyle en uyumlu olan ilişki doğal zeminlerde oluşturulan istasyon noktalarından elde edilen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) nin ilişkilendirilmesinde görülmüştür. Bu verilerin istatistiksel analizinde literatüre uygun iyi korelasyonlu ampirik bir ilişki ile ortalama tahmin denklemi ( $r=0,85$ ) ve üst tahmin denklemi elde edilmiştir. Söz konusu saha için daha muhafazakâr limitler sunan üst tahmin denklemi, tünel patlatmalarında titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda; herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşimin hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede önemli bir yaklaşım olarak rahatlıkla (kabul edilebilir limitlerdeki bir sapma ile) kullanılabilir.

Titreşim ölçerlerle kaydedilen maksimum parçacık hızları dikkate alınarak USBM, Alman DIN 4150 ve Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (Türk Normu) normlarına göre yapılan mukayesede atımların, USBM ve Türk Normu'na göre yüksek frekanslı hızlara sahip olmaları sebebiyle çevredeki bina ve tesislerde herhangi bir hasar yaratabilecek seviyelerde olmadığı anlaşılmaktadır. Fakat, Alman DIN 4150 Normuna göre ise oluşan titreşimlerin %65 ise eski yada tarihi yapılarda, %32 si dayanıklı yada yığma tuğla binalarda,%1 i ise tüm yapı türlerinde hasar başlangıç limitlerini aşmaktadır. Oluşan titreşimlerin % 35'i tüm yapı türleri için hasar oluşturmayacak düzeyde olarak tespit edilmiştir.

Kaydedilen olaylarda ortaya çıkan frekans değerleri USBM normuna kısmen uyumlu olan Ülkemiz yönetmeliğine göre incelendiğinde, kaydedilen 123 olaya ait titreşim frekansları değerlerinin %100'ü 12 Hz'in üzerinde olmuştur. Ölçülen titreşim frekanslarının yüksek olması, genel olarak 5–10 Hz. düzeyinde olan yapıların öz yapısal frekanslarıyla karşılaştırıldığında, rezonans riskinin minimum düzeyde olacağını göstermektedir.

Ayrıca Denklem 4.7. ve 4.8. de verilen literatüre göre iyi bir korelasyonla, doğal zeminlerden elde edilen ampirik ilişki ile risk analizi yapılmıştır. Risk analizinde, çalışma bölgesinde bulunan yapı stoğu ve patlatmadan oluşan titreşim özelliklerine bakılarak, Alman DIN 4150, USBM ve Türk Normları hasar limitleri dahilinde mesafeye göre kullanılabilir patlayıcı miktarları belirlenmiştir. Alman DIN 4150 Normu hasar kriterlerine göre mesafeye bağlı kullanılabilir gecikme başına düşen patlayıcı miktarları Tablo 4.14. de, USBM ve Türk Normuna göre mesafeye bağlı kullanılabilir gecikme başına düşen patlayıcı miktarları ise Tablo 4.15. de verilmiştir. Ayrıca uygulamada kullanılan gecikme başına düşen patlayıcı miktarına göre risk noktası yapılara yaklaşılabilir mesafeler Tablo 4.16. da verilmiştir. Titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda yada çalışma öncesi planlama aşamasında çevredeki yapıların durumuna göre tercih edilecek hasar kriterine uygun patlayıcı miktarları kullanılarak çevre yapılarda oluşacak hasarlar elemine edilebilecektir.

Çalışma kapsamında elde edilen formüller literatürde yer alan, çalışma sahası ile ilgili benzer formasyona sahip formüllerle karşılaştırılmış ve türetilen formülün literatürdeki

formüle oranla daha esnek limitler sunduğu görölmüştür.

Ancak, söz konusu tünel inşaatının çok yakınında yerleşim birimlerinin olmasından dolayı, bu değerlerin her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır.



## KAYNAKLAR

AEL TUNNEL, 2000 Blast Design Software Version 1.1

ANON, 1998, *Blasters' Handbook, 17 th Edition*, International Society Of Explosives Engineers Cleveland, Ohio. USA.

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.

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.

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.

ÇELTİKÇİ, A., 2013, *İstanbul Metrosu 4. Levent - Ayazağa Kesimi Depo Sahası Ve Bağlantı Hatları İnşaatı Kapsamında, Hacıosman İstasyonu Şaftları Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçümü Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.

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 22<sup>nd</sup> 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.

JOHNSTON, G.J., DURUCAN, Ş., 1994, The Numerical Prediction, Analysis and Modelling of Ground Vibration Induced by Blasting, *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 18-20 October, İstanbul.

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

KAHRİMAN, A., 2010, *İstanbul Metrosu 4 Levent - Ayazağa Kesimi Depo Sahası ve Bağlantı Hatları, Darülşafaka - Haciosman Arası Anahat Tünelleri ve Haciosman İstasyonu Şaftları Patlatmalı Kazı İnşaatı Ön Tasarımı*, Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Döner Sermaye Projesi, 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 Turkey, *The Twenty-Seventh Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, ISEE, Orlando, Florida, U.S.A., 351-361.

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.orica-nitro.com.tr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=58](http://www.orica-nitro.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=58)

Orica- Nitro Ürün Kataloğu, Exel Kapsül (13.09.2013) [http://www.orica-nitro.com.tr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8&Itemid=65](http://www.orica-nitro.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.

OZER, U., KAHRİMAN, A., ADIGÜZEL, D., KARADOGAN, A., AKSOY, M., 2007, The Analysis Of Ground Vibration Induced By Blasting At Different Rock Units On Istanbul Kadıköy-Kartal Subway Tunnel Route, 7th International Conference: Modern Management of Mine Producing Geology and Environment Protection, 11-15 June, Albena Resort, Varna, Bulgaria, 2007.

PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., et. al., 1986, Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü", ODTÜ, 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.

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

THOENEN, J.R., WTNDDES, S.L., 1942, *Seismic Effects on Quarry Blasting*, U.S. Bureau of Mines, Bulletin 442.

TÜRKAN, O., 2007, *Kağıthane-Piyalepaşa-Dolmabahçe Tünelleri İnşaatında Patlatmalı Kazıların Çevresindeki Yapılar Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Bitirme Ödevi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Raylı Sistem Hattı Jeolojik Etüdü Özet Raporu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü, Kasım 2010

Wikipedia, Bulgurlu, Üsküdar (06.10.2013)  
[http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulgurlu,\\_%C3%9Csk%C3%BCdar](http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulgurlu,_%C3%9Csk%C3%BCdar)

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

YURTTAŞ M., 2006. *Kadıköy-Kartal Metrosunda Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapılar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Bitirme Ödevi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

# **EKLER**

## 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) (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	Cihaz 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	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	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	80	2,6	13,7	8,5	S-06-07	19013	422337,2	4542717,0	101,5	9,15
12	28.12.2012	11:36	10,7	85,0	11,3	49,0	16,4	54,0	16,4	54,0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-11	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-06-12	19013	422342,4	4542807,9	101,0	11,87
61	15.02.2013	14:28	9,9	28,0	21,3	79,0	17,9	51,0	21,3	79,0	*	90	2,6	18,2	11,3	S-06-12	19013	422340,3	4542809,2	101,0	9,52
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-06-12	19013	422338,9	4542812,2	101,0	6,34
63	16.02.2013	16:01	4,2	85,0	12,7	47,0	8,4	37,0	12,7	47,0	*	90	2,6	21,0	13,0	S-06-14	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-06-12	1393	422337,9	4542814,2	101,0	4,46
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-06-12	1393	422337,6	4542815,2	101,0	3,84
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-06-12	1393	422337,1	4542817,2	101,0	3,30
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-06-12	1393	422336,5	4542819,2	101,0	3,93
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-06-12	19013	422333,0	4542824,5	101,0	8,33
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-06-12	19015	422332,7	4542825,2	101,0	9,03

73	23.02.2013	17:07	13,5	54,0	26,7	73,0	10,9	64,0	26,7	73,0	*	100	2,6	18,6	11,6	S-06-12	19015	422332,2	4542826,5	101,0	10,44
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-06-12	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-06-12	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-06-12	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-06-14	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-06-11	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-06-11	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-06-12	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-06-19	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-06-12	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-06-19	19014	422316,7	4542792,0	101,0	9,19
101	11.03.2013	16:10	20,4	37,0	20,2	41,0	9,0	102,0	20,4	37,0	*	90	2,6	17,3	10,7	S-06-16	19014	422360,2	4542812,6	101,0	1,74
102	12.03.2013	11:19	5,1	128,0	10,5	60,0	9,7	35,0	10,5	60,0	*	90	2,6	31,1	19,3	S-06-14	19015	422340,1	4542835,3	101,0	25,66
104	12.03.2013	16:32	8,5	39,0	33,0	45,0	16,3	37,0	33,0	45,0	*	90	2,6	17,8	11,0	S-06-19	19015	422313,1	4542790,3	101,0	11,98
105	12.03.2013	18:14	6,0	146,0	9,9	51,0	8,5	79,0	9,9	51,0	*	90	2,6	31,2	19,3	S-06-14	19015	422341,8	4542836,1	101,0	25,78
108	14.03.2013	12:58	13,7	102,0	29,8	128,0	14,2	128,0	29,8	128,0	*	90	2,6	18,9	11,7	S-06-19	19014	422311,3	4542789,4	101,0	13,60
110	15.03.2013	11:47	17,4	93,0	31,0	54,0	13,7	79,0	31,0	54,0	*	90	2,6	18,0	11,2	S-06-16	19014	422365,6	4542815,2	101,0	5,34
113	16.03.2013	12:01	3,9	43,0	5,5	114,0	3,9	73,0	5,5	114,0	*	90	2,6	35,2	21,8	S-06-16	19015	422346,7	4542838,4	101,0	30,67
116	18.03.2013	14:16	14,5	54,0	17,1	47,0	12,7	41,0	17,1	47,0	*	90	2,6	22,6	14,0	S-06-19	19015	422306,4	4542787,1	101,0	18,36
117	18.03.2013	14:21	14,1	33,0	19,9	41,0	10,8	45,0	19,9	41,0	*	90	2,6	21,3	13,2	S-06-12	19015	422326,2	4542828,7	101,0	14,66
118	18.03.2013	17:59	5,5	200,0	9,9	114,0	10,5	128,0	10,5	128,0	*	90	2,6	21,4	13,3	S-06-12	19015	422325,1	4542828,2	101,0	14,84
122	20.03.2013	11:56	1,5	128,0	3,1	79,0	3,8	85,0	3,8	85,0	*	90	2,6	40,2	24,9	S-06-19	19014	422302,8	4542785,4	101,0	37,64
123	20.03.2013	11:57	3,3	49,0	2,4	45,0	5,6	146,0	5,6	146,0	*	90	2,6	35,5	22,0	S-06-16	19015	422351,7	4542840,8	101,0	30,81



## BETON YAPILARA 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) (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		Cihaz No		Atım Noktasının Koordinatları			Yatay mesafe		
1	07.12.2012	12:55	10,5	43	14,1	49	7,24	43,00	14,10	49,00	*	40	2,6	11,49	7,13	S-06-01	19014	422336,6	4542703,6	102,35	4,55																	
			6,48	128	8,25	146	6,6	79,00	8,25	146,00	*	40	2,6	21,79	13,51	S-06-08	19015	422336,6	4542703,6	102,35	18,95																	
2	08.12.2012	11:57	9,0	47,0	18,4	39,0	10,9	37,0	18,4	39,0	*	40	2,6	11,5	7,1	S-06-01	19013	422336,6	4542703,6	102,35	4,55																	
			5,59	171	9,4	128	5,84	93,00	9,40	128,00	*	40	2,6	21,79	13,51	S-06-08	19015	422336,6	4542703,6	102,35	18,95																	
3	17.12.2012	13:33	4,7	114	6,22	68	4,83	128,00	6,22	68,00	*	40	2,6	22,71	14,08	S-06-08	19014	422336,7	4542707,8	102	19,81																	
			6,22	102	8,25	93	8,13	51,00	8,25	93,00	*	40	2,6	11,28	7,00	S-06-01	19015	422336,7	4542707,8	102	2,89																	
4	17.12.2012	14:57	5,84	35	13,2	23	4,32	73,00	13,20	23,00	*	30	2,6	9,91	6,15	S-06-02	19013	422336,7	4542707,8	102	2,04																	
			5,71	146	7,75	102	5,08	146,00	7,75	102,00	121,1	30	2,6	22,71	14,08	S-06-08	19014	422336,7	4542707,8	102	19,81																	
5	18.12.2012	14:04	4,19	68	6,6	79	7,87	60,00	7,87	60,00	119	30	2,6	11,28	7,00	S-06-01	19015	422336,7	4542707,8	102	2,89																	
			7,11	93	9,27	114	5,21	128,00	9,27	114,00	126,5	60	2,6	23,27	14,43	S-06-08	19014	422336,8	4542709,35	101,9	20,39																	
6	19.12.2012	13:37	7,24	73	11,3	85	9,78	64,00	11,30	85,00	125,1	60	2,6	11,55	7,16	S-06-01	19015	422336,8	4542709,35	101,9	3,51																	
			6,1	85	7,75	114	8,64	43,00	8,64	43,00	122,9	60	2,6	10,31	6,39	S-06-02	19013	422336,8	4542711	102	3,50																	
7	21.12.2012	12:04	3,05	171	5,33	85	3,81	128,00	5,33	85,00	125	60	2,6	23,78	14,75	S-06-08	19014	422336,8	4542711	102	21,03																	
			7,37	23,5	5,71	57	5,46	43,00	7,37	23,50	*	70	2,6	24,67	15,30	S-06-08	14577	422337	4542712,5	101,7	21,88																	
8	22.12.2012	11:09	6,1	85	7,75	114	8,64	43,00	8,64	43,00	122,9	60	2,6	10,31	6,39	S-06-02	19013	422336,8	4542711	102	3,50																	
			5,08	45	9,52	114	7,75	64,00	9,52	114,00	125,2	70	2,6	20,12	12,48	S-06-06	19014	422337	4542712,5	101,7	16,44																	
9	24.12.2012	12:52	6,48	79	11	93	7,62	73,00	11,00	93,00	125,4	70	2,6	18,2	11,29	S-06-06	19015	422337,2	4542715	101,6	13,94																	
			7,4	41,0	13,0	68,0	15,2	68,0	15,2	68,0	121,1	80	2,6	16,8	10,4	S-06-06	19014	422337,2	4542717	101,5	11,94																	
10	25.12.2012	14:17	26,4	55	14,7	47	10,8	85,00	26,40	55,00	*	80	2,6	25,69	15,93	S-06-08	14577	422337,4	4542719	101,4	22,77																	
			19,3	51,0	15,6	43,0	13,8	34,0	19,3	51,0	121,6	80	2,6	15,5	9,6	S-06-06	19014	422337,4	4542719	101,4	9,93																	
11	26.12.2012	12:41	26,4	55	14,7	47	10,8	85,00	26,40	55,00	*	80	2,6	25,69	15,93	S-06-08	14577	422337,4	4542719	101,4	22,77																	
			19,3	51,0	15,6	43,0	13,8	34,0	19,3	51,0	121,6	80	2,6	15,5	9,6	S-06-06	19014	422337,4	4542719	101,4	9,93																	
12	28.12.2012	11:36	10,2	51,0	19,9	73,0	19,0	60,0	19,9	73,0	122,8	80	2,6	14,3	8,8	S-06-06	19014	422337,63	4542721,2	101,3	7,72																	
			12,2	79,0	17,1	64,0	10,0	57,0	17,1	64,0	*	80	2,6	13,7	8,5	S-06-06	19015	422337,8	4542723,04	100,94	5,87																	
13	29.12.2012	11:26	16,6	41,0	30,0	60,0	9,4	43,0	30,0	60,0	121,3	80	2,6	12,8	7,9	S-06-06	19013	422338	4542724,89	101,2	4,01																	
			13,3	41,0	32,2	57,0	14,1	57,0	32,2	57,0	120,1	80	2,6	17,8	11,0	S-06-06	19015	422338,45	4542728,73	95,55	0,30																	
14	31.12.2012	13:04	22,4	51,0	14,2	114,0	14,4	73,0	22,4	51,0	120,8	80	2,6	17,8	11,1	S-06-06	19013	422338,674	4542730,47	95,55	1,64																	
			7,8	39,0	16,3	57,0	12,8	41,0	16,3	57,0	120,4	80	2,6	17,9	11,1	S-06-06	19013	422338,807	4542731,46	95,55	2,63																	



45	30.01.2013	10:04	19	49	9,52	85	11	79,00	19,00	49,00	88	80	2,6	27,09	16,80	S-06-04	19014	422348,869	4542781,65	95,55	18,33
			12,1	102	30,9	68	14,1	60,00	30,90	68,00	91,5	80	2,6	21,3	13,21	S-06-10	19015	422348,869	4542781,65	95,55	5,24
46	01.02.2013	10:51	7,37	79	11,6	68	8,76	64,00	11,60	68,00	88	60	2,6	20,01	12,41	S-06-10	19014	422348,779	4542784,85	98	8,32
			5,5	64,0	8,6	68,0	10,0	85,0	10,0	85,0	88,0	60	2,6	27,5	17,1	S-06-04	19013	422348,779	4542784,85	98	21,25
47	02.02.2013	10:26	3,81	171	4,57	73	3,3	146,00	4,57	73,00	88	80	2,6	21,57	13,38	S-06-10	19014	422348,422	4542788,11	98	11,58
48	02.02.2013	17:00	7,0	200,0	4,2	128,0	12,4	146,0	12,4	146,0	88,0	80	2,6	27,2	16,9	S-06-10	19014	422348,06	4542793,45	98	19,74
49	04.02.2013	10:36	5,3	200,0	4,3	68,0	11,9	171,0	11,9	171,0	88,0	80	2,6	24,6	15,2	S-06-10	19014	422347,53	4542792,4	101	18,82
50	04.02.2013	16:10	3,68	128	3,94	60	7,11	>200	7,11	>200	88	80	2,6	24,73	15,34	S-06-10	19014	422347,33	4542793,4	101	19,06
51	05.02.2013	16:45	6,73	68	6,22	45	9,4	28,00	9,40	28,00	91,5	80	2,6	23,05	14,30	S-06-10	19015	422347,163	4542794,74	101	17,55
52	06.02.2013	10:25	6,6	64	4,83	41	9,91	79,00	9,91	79,00	88	80	2,6	22,08	13,69	S-06-10	19013	422346,219	4542796,73	101	16,25
53	06.02.2013	16:04	19,4	39	36,1	43	7,24	51,00	36,10	43,00	88	80	2,6	19,94	12,37	S-06-15	19013	422345,9	4542797,07	101	10,08
54	08.02.2013	10:43	5,33	57	11,3	51	3,56	79,00	11,30	51,00	*	90	2,6	19,94	12,37	S-06-15	19013	422345,562	4542798,07	101	10,09
55	08.02.2013	16:31	9,65	25	34,9	43	12,1	49,00	34,90	43,00	*	90	2,6	20,02	12,42	S-06-15	19013	422345,3	4542798,5	101	10,25
56	11.02.2013	11:30	8,9	68,0	20,2	41,0	12,8	60,0	20,2	41,0	*	90	2,6	20,1	12,5	S-06-15	19013	422344,96	4542799,5	101	10,42
57	11.02.2013	18:04	8,3	93,0	24,4	51,0	16,4	45,0	24,4	51,0	*	90	2,6	20,3	12,6	S-06-15	19013	422344,6	4542801,1	101	10,72
58	12.02.2013	13:20	8	54	5,33	54	6,48	43,00	8,00	54,00	*	90	2,6	22,14	13,73	S-06-15	19013	422343,8	4542803,8	101	15,86
			5,21	54	3,81	47	3,81	38,00	5,21	54,00	*	90	2,6	23,84	14,78	S-06-15	19014	422343,8	4542803,8	101	16,11
59	12.02.2013	17:36	11,3	79	34,3	43	20,3	49,00	34,30	43,00	*	90	2,6	21,61	13,40	S-06-15	19013	422343,1	4542805,4	101	13,09
63	16.02.2013	16:00	3,94	93	10,5	49	9,52	38,00	10,50	49,00	*	90	2,6	21,36	13,25	S-06-15	19015	422338,2	4542813,24	101	12,27
64	18.02.2013	10:44	6,2	57,0	11,7	38,0	8,3	41,0	11,7	38,0	*	90	2,6	19,2	11,9	S-06-13	19015	422337,92	4542814,23	101	7,83
65	18.02.2013	16:42	5,97	171	9,4	54	6,48	38,00	9,40	54,00	*	90	2,6	18,92	11,73	S-06-13	19015	422337,36	4542816,21	101	7,00
66	19.02.2013	10:33	4,7	114	9,52	64	5,84	51,00	9,52	64,00	*	90	2,6	18,82	11,67	S-06-13	19015	422336,8	4542818,19	101	6,73
67	19.02.2013	16:52	6,22	114	8,38	60	5,21	128,00	8,38	60,00	*	90	2,6	18,95	11,75	S-06-13	19015	422336,24	4542820,17	101	7,08
68	20.02.2013	10:39	4,32	128	7,87	60	5,84	64,00	7,87	60,00	*	80	2,6	16,12	10,00	S-06-13	19013	422334,831	4542820,74	101	4,61
			16,3	60,0	23,7	73,0	8,3	102,0	23,7	73,0	*	80	2,6	19,5	12,1	S-06-13	19015	422334,831	4542820,74	101	8,52
69	20.02.2013	17:08	6,35	51	11,6	37	8,89	35,00	11,60	37,00	*	60	2,6	16,5	10,23	S-06-13	19013	422334,2	4542822,01	101	5,80
			21,6	45,0	20,4	57,0	9,4	85,0	21,6	45,0	*	60	2,6	19,9	12,3	S-06-13	19015	422334,2	4542822,01	101	9,35
70	22.02.2013	11:32	4,57	73	6,1	60	5,84	45,00	6,10	60,00	*	90	2,6	17,22	10,68	S-06-13	19013	422333,373	4542823,81	101	7,61
			13,6	73,0	17,0	41,0	11,2	64,0	17,0	41,0	*	90	2,6	20,6	12,8	S-06-13	19015	422333,373	4542823,81	101	10,68
71	22.02.2013	13:56	9,1	68,0	19,7	73,0	13,2	51,0	19,7	73,0	*	100	2,6	20,9	13,0	S-06-13	19015	422333	4542824,5	101	11,29
72	23.02.2013	10:20	4,7	64	7,7	79	7,3	43,00	7,70	79,00	*	90	2,6	21,18	13,14	S-06-13	19013	422332,729	4542825,17	101	11,82
73	23.02.2013	17:07	4,44	60	6,98	38	5,97	41,00	6,98	38,00	*	100	2,6	21,5	13,33	S-06-13	19013	422332,458	4542825,84	101	12,37
74	25.02.2013	11:59	3,56	49	5,97	68	5,33	49,00	5,97	68,00	*	90	2,6	19,05	11,81	S-06-13	19013	422331,916	4542827,18	101	11,14
			15,9	57	25	73	9,52	51,00	25,00	73,00	*	90	2,6	22,55	13,98	S-06-13	19015	422331,645	4542827,85	101	14,12



99	11.03.2013	11:14	6.1	171.0	5.2	47.0	13.1	200.0	13.1	200.0	*	90	2.6	23.3	14.4	S-06-13	19014	422336,634	4542833,62	101	15.26
			5.7	200.0	10.2	93.0	6.7	45.0	10.2	6.7	45.0	10.2	93.0	*	90	2.6	41.6	25.8	S-06-15	19015	422336,634
100	11.03.2013	16:08	6.1	60	5.59	79	4.7	79.00	6.10	60.00	*	90	2.6	22.7	14.08	S-06-10	19014	422314,905	4542791,11	101	17.08
			3.56	45	5.71	60	5.08	54.00	5.71	60.00	5.71	60.00	*	90	2.6	16.82	10.43	S-06-10	19015	422314,905	4542791,11
101	11.03.2013	16:10	4.95	43	6.98	102	7.37	68.00	7.37	68.00	*	90	2.6	21.47	13.32	S-06-15	19015	422360,172	4542812,58	101	12.84
102	12.03.2013	11:19	25.7	93	26.9	200	21.2	171.00	26.90	200.00	*	90	2.6	23.56	14.61	S-06-13	19013	422340,067	4542835,25	101	15.69
103	12.03.2013	16:31	7.87	64	7.75	79	4.7	79.00	7.87	64.00	*	90	2.6	18.44	11.44	S-06-17	19013	422361,979	4542813,44	101	9.51
			3.94	43	8.25	60	3.94	49.00	8.25	60.00	8.25	60.00	*	90	2.6	17.3	10.73	S-06-17	19015	422361,979	4542813,44
104	12.03.2013	16:32	18.5	34.0	21.7	45.0	11.0	128.0	21.7	45.0	*	90	2.6	23.3	14.5	S-06-10	19013	422313,098	4542790,25	101	17.88
105	12.03.2013	18:14	14.5	60	29.7	146	21.2	128.00	29.70	146.00	*	90	2.6	23.93	14.84	S-06-13	19013	422341,784	4542836,07	101	16.24
106	14.03.2013	10:48	5.33	79	6.73	93	4.95	68.00	6.73	93.00	*	90	2.6	17.55	10.88	S-06-17	19013	422363,786	4542814,29	101	3.46
			2.79	200	3.56	93	3.43	34.00	3.56	93.00	3.56	93.00	*	90	2.6	27.56	17.09	S-06-13	19014	422363,786	4542814,29
107	14.03.2013	10:49	21.3	93	21.5	57	12.7	39.00	21.50	57.00	*	90	2.6	35.55	22.05	S-06-17	19013	422343,41	4542836,84	101	31.11
			4.95	51	6.73	102	4.32	102.00	6.73	102.00	6.73	102.00	*	90	2.6	24.41	15.14	S-06-13	19014	422343,41	4542836,84
108	14.03.2013	12:58	7.87	171	12.2	93	8	93.00	12.20	93.00	*	90	2.6	22.53	13.97	S-06-10	19013	422311,291	4542789,4	101	16.81
109	15.03.2013	11:46	6.0	57.0	13.1	68.0	5.0	68.0	13.1	68.0	*	90	2.6	25.0	15.5	S-06-13	19014	422345,037	4542837,61	101	17.79
111	15.03.2013	16:29	10.7	146.0	21.6	200.0	15.5	146.0	21.6	200.0	*	90	2.6	21.8	13.5	S-06-10	19014	422309,394	4542788,5	101	15.87
112	16.03.2013	11:58	7.24	57	6.35	64	4.57	49.00	7.24	57.00	*	90	2.6	18.68	11.58	S-06-17	19014	422367,4	4542816,01	101	7.28
			3.43	54	4.57	114	3.05	45.00	4.57	114.00	4.57	114.00	*	90	2.6	19.15	11.88	S-06-17	19015	422367,4	4542816,01
113	16.03.2013	12:01	24.4	57	24.6	49	19.7	73.00	24.60	49.00	*	90	2.6	25.72	15.95	S-06-13	19014	422346,663	4542838,38	101	18.78
114	18.03.2013	11:17	3.43	51	5.84	79	3.94	37.00	5.84	79.00	*	90	2.6	19.53	12.11	S-06-17	19014	422369,208	4542816,86	101	9.24
			6.1	57.0	6.0	114.0	3.9	57.0	6.1	57.0	6.1	57.0	*	90	2.6	31.5	19.5	S-06-13	19015	422369,208	4542816,86
115	18.03.2013	11:21	5.33	128	10.5	39	9.91	29.00	10.50	39.00	*	90	2.6	35.1	21.77	S-06-17	19014	422348,47	4542839,24	101	30.60
			4.8	73.0	14.9	146.0	7.6	102.0	14.9	146.0	14.9	146.0	*	90	2.6	26.6	16.5	S-06-13	19015	422348,47	4542839,24
116	18.03.2013	14:16	5.3	102.0	27.8	60.0	9.5	41.0	27.8	60.0	*	90	2.6	21.1	13.1	S-06-10	19014	422306,412	4542787,08	101	14.88
117	18.03.2013	14:21	20.8	43	29.7	54	14	64.00	29.70	54.00	*	90	2.6	20.83	12.92	S-06-10	19014	422326,198	4542828,67	101	15.43
118	18.03.2013	17:59	7.11	37	12.8	>200	6.48	114.00	12.80	200	*	90	2.6	20.58	12.76	S-06-10	19013	422325,114	4542828,16	101	15.08
119	19.03.2013	11:14	24.5	79	31.1	54	18.2	51.00	31.10	54.00	*	90	2.6	35.1	21.77	S-06-17	19014	422348,47	4542839,24	101	30.60
			15.9	39	33.9	54	11.9	35.00	33.90	54.00	54.00	*	90	2.6	26.64	16.52	S-06-13	19015	422348,47	4542839,24	101
120	19.03.2013	14:25	2.92	64	4.7	128	4.83	37.00	4.83	37.00	*	90	2.6	20.58	12.76	S-06-10	19014	422325,114	4542828,16	101	15.08
			4.19	60	6.48	79	3.81	68.00	6.48	79.00	79.00	*	90	2.6	21.42	13.28	S-06-13	19015	422325,114	4542828,16	101
121	19.03.2013	18:35	4.32	73	7.87	114	3.3	73.00	7.87	114.00	*	90	2.6	20.94	12.99	S-06-10	19014	422304,605	4542786,23	101	14.62
			3.94	35	2.54	34	4.95	102.00	4.95	102.00	102.00	*	90	2.6	20.95	12.99	S-06-10	19015	422302,798	4542785,37	101
122	20.03.2013	11:56	6.0	102.0	10.7	51.0	11.6	102.0	11.6	102.0	*	90	2.6	28.3	17.6	S-06-13	19014	422351,723	4542840,78	101	22.51

**EK- C**  
**Çalışma İle İlgili Fotoğraflar**













## **ÖZGEÇMİŞ**

Sadettin BAĞDATLI 1987 yılında Aydın'da doğdu. İlköğretimine Aydın- Çine Atatürk Öğretim Okulu'nda başlayıp, Muğla- Bodrum Merkez Turgutreis İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. Ortaöğretimini 2005 yılında Bodrum Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden mezun olarak aynı yıl Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Patlayıcı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Jeofizik alanında çeşitli kuruluşlarda iş tecrübesine sahip olup 2012 yılından bu yana Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Öğrenci Asistan olarak görev yapmaktadır.