

146045

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR KALKER OCAĞINDA PATLATMALI KAZILARDAN KAYNAKLANAN  
YER TİTREŞİMİ VE HAVA ŞOKU ETKİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Müh. Ferdi CİHANGİR**

**OCAK 2006**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**




**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR KALKER OCAĞINDA PATLATMALI KAZILARDAN KAYNAKLANAN  
YER TİTREŞİMİ VE HAVA ŞOKU ETKİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

**Maden Müh. Ferdi CİHANGİR**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Maden Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.01.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 02.02.2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL**   
**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ**   
**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali Osman YILMAZ** 

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT** 

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Trabzon İli, Araklı İlçesi'ne bağlı Taşönü Köyü'nde bulunan Trabzon Çimento Sanayii'ne ait kalker ocağının işletilmesi esnasında ortaya çıkan patlatma kaynaklı çevresel problemlerin elimine edilmesi ve yeni patlatma tasarımlarının geliştirilmesini amaçlayan çalışma, "Karadeniz Teknik Üniversitesi Döner Sermaye Projesi Fonu" kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Danışmanlığımı üstlenerek tez çalışmamı yönlendiren ve çalışmalarım sırasında değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca verilerin yorumlanmasında ve tezin çeşitli aşamalarında gösterdikleri yardım ve yapıcı eleştirilerinden dolayı Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ'e, Öğr. Gör. Bayram ERÇIKDI'ya, Maden Yüksek Mühendisi Oktay DURMUŞ'a ve Maden Mühendisi Enver ÇAPA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Çalışma boyunca desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR'a, Yrd. Doç. Dr. Ali Osman YILMAZ'a, Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER'e, Yrd. Doç. Dr. Hacı DEVECİ'ye, Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP'e, Yrd. Doç. Dr. Cengiz DEMİR'e, Yrd. Doç. Dr. Tuncay USLU'ya, değerli çalışma arkadaşlarım Araş. Gör. Ersin Yener YAZICI'ya, Araş. Gör. Oktay CELEP'e, Araş. Gör. Tuğba YILMAZ'a, Araş. Gör. İzzet KARAKURT'a, Araş. Gör. İlker ERKAN'a, Maden Yüksek Mühendisi İbrahim ÇAVUŞOĞLU'na ve Maden Mühendisi Ercan ŞAHİNOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca arazi çalışmaları sırasında bana her türlü imkanı sağlayan Trabzon Çimento Sanayii adına Trabzon Çimento Sanayii Müdürü Levent ULUÇAY ve Trabzon Çimento Sanayii Ticaret Müdürü Abdurrezzak ÇOBAN'a, kalker ocağı çalışanlarına, değerli fikir ve önerilerinden yararlandığım Jeoloji Mühendisi Mehmet AYTEKİN'e ve Maden Mühendisi Muhammed KARA'ya ayrı ayrı teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ferdi CİHANGİR  
Trabzon 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Patlatma Gereksinimi.....	2
1.3. Parçalanma Mekanizması.....	3
1.3.1. Birincil Parçalanma Mekanizması.....	3
1.3.2. İkincil Parçalanma Mekanizması.....	5
1.4. Çevresel Etkiler.....	6
1.4.1. Yer Titreşimleri ve Özellikleri.....	6
1.4.1.1. Yer Titreşimlerinin Ölçümü ve İlgili Terimler.....	10
1.4.1.2. Ölçekli Mesafe Kavramı.....	11
1.4.1.3. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini.....	13
1.4.1.4. Parçacık Hızının Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler.....	14
1.4.1.5. Yersarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemleri.....	15
1.4.1.6. Patlatma Kaynaklı Yer Titreşimlerinin Yapılar Üzerindeki Etkileri.....	15
1.4.1.7. Yer Titreşimlerinin Yapılar Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesinde Etkin Olan Parametreler.....	16
1.4.1.7.1. Frekansın Etkisi ve Hasar Kriterleri.....	16
1.4.1.7.2. Jeolojik Faktörler ve Titreşim Kaynaklı Parçacık Yer Değiştirmesi (Deplasman).....	20
1.4.1.7.3. Binalarda Özyapısal Frekansları Tahmin Etme ve Dinamik Büyütme Faktörü.....	21
1.4.1.8. Yer Titreşimlerine İnsanların Tepkileri.....	24
1.4.2. Hava Şoku ve gürültü.....	26
1.4.2.1. Basınç Dalgalarının Ölçülmesi.....	27
1.4.2.2. Patlatma Tasarımının Hava Şoku Üzerindeki Etkisi.....	27

1.4.2.3.	Topografyanın Etkisi.....	28
1.4.2.4.	Meteorolojik Etkenlerin Hava Basıncı Üzerindeki Etkisi.....	29
1.4.2.5.	Hava Şoku ve Gürültüye İnsan Tepkileri ve Yapılar Üzerindeki Etkiler.....	30
1.4.3.	Toz.....	31
1.4.4.	Kaya Fırlamaları.....	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	34
2.1.	Giriş.....	34
2.2.	Bölgenin Coğrafi Yapısı ve Jeolojisi.....	37
2.3.	Ocak Çevresinde Yapılaşma Durumu.....	38
2.4.	Kalker Ocağına Ait Genel Bilgiler.....	39
2.5.	Kalker Ocağının Mevcut Durumdaki Üretim Sistemi.....	40
2.5.1.	Ocakta Kullanılan Ateşleme Sistemi.....	42
2.5.2.	Ocakta Kullanılan Patlayıcıların Özellikleri.....	43
2.6.	Çalışmada İzlenen Yöntem.....	45
2.7.	Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirme.....	46
2.7.1.	Ölçüm Sonuçları.....	46
2.7.2.	Ölçülen PPV Değerlerinin İstatistiksel Analizi ve Genel Değerlendirmesi.....	51
2.7.2.1.	PPV-İvme Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi.....	54
2.7.2.2.	PPV-Yer Değiştirme Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi.....	55
2.7.2.3.	Frekans-Maksimum Parçacık Hızı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.....	56
2.7.2.4.	Uzaklık-PPV Arasındaki İlişki.....	58
2.7.2.5.	PPV Ölçüm Sonuçlarının İstasyonlar Bazında (Yönlere Göre) Değerlendirilmesi.....	58
2.7.3.	Elde Edilen Hava Şoku Ölçüm Değerlerinin İstatistiksel Analizi ve Genel Değerlendirmesi.....	61
2.7.4.	Kaya Fırlamaları Hususu ve Maksimum Kaya Fırlama Mesafesinin Belirlenmesi.....	62
3.	SONUÇLAR.....	63
4.	ÖNERİLER.....	67
5.	KAYNAKLAR.....	68

## ÖZET

Bu çalışmada, bir kalker ocağında yapılan üretim patlatmalarından kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi patlatma sonrasında ortaya çıkan çevresel unsurların, ruhsat sınırları çevresindeki okul, cami, tarihi eser ve evlere olan etkileri araştırılmış ve bu etkileri ortadan kaldıracak yada en aza indirecek patlatma dizaynının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle kalker ocağında ve çevresinde inceleme ve gözlemler yapılmış, ocak çevresindeki yapılaşma durumu ile yapıların ocak sınırına olan uzaklıkları belirlenmiştir. Kalker ocağında yapılan patlatmaların oluşturduğu titreşim ve hava şokunun etkilerini belirlemek ve değerlendirmek amacıyla bu çalışma boyunca 12.05.2003-14.09.2005 tarihleri arasında ocak çevresinde belirlenen 11 istasyonda nezaret edilen patlatmaların ölçümü gerçekleştirilmiştir. Patlatma parametrelerinin ölçümü Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait olan Instantel Minimate marka titreşim ölçer cihazları ile eşlik edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları bilgisayar destekli data değerlendirme ünitesine aktarılmış ve veriler yönler bazında gruplandırılmıştır. Yönler bazında gruplandırılan verilerin birbiri arasındaki ilişki 0.05 anlamlılık düzeyinde test edilmiş ve sonuçta her bir yön için ayrıntılı istatistiksel analizlerin yapılmasına karar verilerek, ocakta daha hassas ve kontrollü atımları gerçekleştirmek için gerekli eşitlikler elde edilmiştir.

Ölçülen 73 veriye ait parçacık hızı, ölçekli mesafe, titreşim frekansları, öz yapısal frekanslar, ivme ve yer değiştirme parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak hasar normları içindeki yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca patlatmaların hava şoku unsurlarının da ayrıntılı analizi yapılmış ve sonuçları sınıflandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Patlatma, Yer titreşimi, Parçacık hızı, Ölçekli mesafe, Yer değiştirme, Titreşim frekansları, Öz yapısal frekanslar, İvme, Hava şoku

## SUMMARY

### **Statistical Analyses of Ground Vibrations and Over-air Pressure Impacts Induced by Blasting at a Limestone Quarry**

In this study, the effects of the ground vibrations and over-air pressure induced by blasting operations performed at a limestone quarry were searched in terms of the potential impacts on the school, mosque, historic place and village houses and aimed to improve a blast design to minimize or eliminate these effects.

In the scope of the study, the distances of the buildings nearby the limestone quarry were determined and measurement results were taken to determine the degree of the effects of the ground vibrations and over-air pressure on structures. Measurement results were taken by InstanTEL minimate plus belonging to Mining Engineering Department. The data of the shots were evaluated by the use of data software computer programme. In order to decrease these impacts, a statistical analyze was carried out to obtain PPV and scaled distance (SD) parameters for a whole mine shot direction. So a multi variate analyses of variance was performed to investigate if the measurements were similar for all directions or not. At the consequence of this analyze, it is determined that minimum one group is different for 0.05 significance level. So the data were determined to be evaluated in the bases of shot directions to carry out more sensitive and controlled blast events.

The relationship between vibration frequencies, peak particle velocity, structural frequencies, scaled distance, peak acceleration and peak displacement parameters of the shots were investigated and their environmental effects were evaluated and compared with international standards. In addition to these, over-air pressure values were analyzed and classified.

**Keywords:** Blasting, ground, Ground vibrations, Peak particle velocity, Scaled distance, Vibration frequencies, Structural frequencies, Peak acceleration, Peak displacement, Over-air pressure

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Patlatma sonucu kayada parçalanma olayı [1 no'lu kaynaktan alıntı].....	3
Şekil 2. Radyal ve ışınsal dalgaların şematik gösterimi ve parçalanma mekanizması.....	4
Şekil 3. Uzayan çatlakların gaz basıncı ile açılması ve kaya kütlelerinin ötelenmesi [1 no'lu kaynaktan alıntı].....	5
Şekil 4: Sismik dalgalar ve yayılma karakteristikleri.....	8
Şekil 5. P dalgası ve yayılma karakteristiği.....	8
Şekil 6. S dalgaları ve hareket şekilleri.....	9
Şekil 7. Rayleigh dalgalarının iki ve üç boyutlu gösterimi.....	9
Şekil 8. Love dalgalarının iki ve üç boyutlu gösterimi.....	10
Şekil 9. Sönümün 0.25 ve 0.5 olduğu durumlarda DBF.....	23
Şekil 10. Madencilik çalışmaları sonucu oluşan ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasında bariyer vazifesi gören şev yüzeyi.....	29
Şekil 11. Yerleşim birimlerinin son durum itibarı ile ocağa olan mesafelerinin plan görünüşü.....	35
Şekil 12. Trabzon Çimento Sanayii T.A.Ş.'ye ait kalker sahası.....	35
Şekil 13. Kalker sahası sınırına yaklaşık 66 m mesafede bulunan tarihi Hacı Molla Konağı.....	36
Şekil 14. Instantel Minimate Plus Model titreşim ölçer cihazı ve donanımı.....	36
Şekil 15. Çalışmanın gerçekleştirildiği Taşözü köyünün coğrafi konumu.....	37
Şekil 16. Ocak çevresinde bulunan yığma temelli, ahşap ev.....	38
Şekil 17. İkamet edilen bir evin balkonundaki çatlak.....	39
Şekil 18. Blok taşı duvarda zamanla meydana gelen deformasyon.....	40
Şekil 19. Ocakta yapılan ilk 25 atıma ait patlatma paterni.....	41
Şekil 20. Ocakta ilk 25 atımdan sonra geliştirilen atım paterni.....	41
Şekil 21. 6.5 metre boyundaki bir patlatma deliğine ait genel veriler.....	42
Şekil 22. Kalker sahasında yapılan atımların yerleri ve ölçüm istasyonlarının görünüşü.....	46
Şekil 23. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişki.....	54
Şekil 24. Maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki ilişki.....	55
Şekil 25. Maksimum parçacık hızı ile yer değiştirme arasındaki ilişki.....	55
Şekil 26. Parçacık yer değiştirmesinin limit değere göre dağılımı.....	56
Şekil 27. Alman DIN 4150 normuna göre frekans dağılım yüzdesi .....	57
Şekil 28. Sahada ölçülen hava şoku değerlerinin % dağılımı.....	61



## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Patlatmanın neden olduğu çevresel sorunlar ve özellikleri.....	6
Tablo 2. Patlatmalardan kaynaklanan yapısal hasarların sınıflandırması.....	16
Tablo 3. USBM standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri .....	18
Tablo 4. OSMRE standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri.....	18
Tablo 5. Alman DIN 4150 normuna göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri.....	19
Tablo 6. CMRI tarafından izin verilen PPV değerleri.....	19
Tablo 7. İngiliz standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı sınır değerleri.....	19
Tablo 8. Avustralya standartlarına (AS 2187) göre izin verilen maksimum parçacık hızları..	20
Tablo 9. Yapılaşma durumuna göre yer değiştirme limit değerleri.....	21
Tablo 10. Araştırmacıların belirlediği değişik yapı tiplerine ait olan tipik özyapısal frekanslar.....	22
Tablo 11. Central Mining Research Institute (CMRI) tarafından belirlenen değişik yapı tiplerine ait doğal frekans aralıkları.....	22
Tablo 12. İnsanların yersarsıntısını algılama şekilleri.....	25
Tablo 13. Patlatma etkilerini insanların algılama seviyeleri ve tepkileri.....	26
Tablo 14. Patlatmaya bağlı şikayetler ve nedenleri.....	26
Tablo 15. Hava basınç dalgalarının neden olabileceği sınır değerler.....	31
Tablo 16. Günlük olaylardaki ses basınç değerleri.....	31
Tablo 17. Kalker ocağında bulunan formasyonlara ait özgül ağırlık değerleri.....	38
Tablo 18. Ölçüm alınan istasyonlardaki yapıların genel özellikleri.....	39
Tablo 19. 30 ms gecikme aralıklı elektrikli kapsüllere ait teknik bilgiler.....	43
Tablo 20. Emulite-100 teknik özellikleri.....	44
Tablo 21. Kullanım durumuna göre Emulite-100 boyut ve ağırlıkları.....	44
Tablo 22. Jelatinit Dinamite ait Teknik Özellikler.....	44
Tablo 23. ANFO teknik özellikleri.....	45
Tablo 24. Yapılan atımlara ait ölçüm sonuçları.....	47
Tablo 25. 12.05.2003-14.09.2005 tarihleri arasında ölçümü yapılan atımların dizayn parametreleri ve atımlara ait diğer bilgiler.....	49
Tablo 26. Yönler bazında ölçülen parçacık hızı unsurları ve varyans analizinde kullanılacak hesaplamalar.....	51
Tablo 27. Varyans analizi hesaplamalarında kullanılacak ana formüller tablosu.....	52

Tablo 28. Varyans analizi hesap tablosu.....	52
Tablo 29. Regresyon analizi yapılan atım grupları için parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çiftleri arasındaki ilişkiler.....	53
Tablo 30. İstasyon no 1 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.....	59
Tablo 31. İstasyon no 2 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.....	59
Tablo 32. İstasyon no 3 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.....	60
Tablo 33. Ocakta yapılan atımlardan kaynaklanan hava şoku etkilerine insanların tepkileri..	62



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Madencilik, tünelticilik, baraj, otoyol, inşaat vb. sektörlerde hammadde hazırlanmasına yönelik mekanik olarak kazıcı ekipmanlarla kazılamayacak derecede sert olan yada ön gevşetme gerektiren bazı formasyonlarda patlayıcı madde kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Dolayısıyla önceden yerleşim merkezlerinin dışında kurulmuş birçok maden işletmesi, taş ocağı, çimento fabrikası vb. kuruluş, düzensiz yapılaşma nedeniyle yaşam merkezlerine çok yaklaşmış, hatta bazıları iç içedir. Dolayısıyla bu tür ocaklarda yapılan patlatmalar saha sınırlarının çevresinde olumsuz çevresel etkilere neden olabilmektedir. Bunlar genel olarak yer sarsıntısı, hava şoku, gürültü, toz ve kaya fırlamaları olarak sıralanabilir. Bu etkiler çalışma sahalarının hemen çevresinde ikamet edenler tarafından hissedildiğinde, zamanla can ve mallarına zarar geleceği korkusuna kapılan halk ile kamu görevlileri arasında çoğu zaman uzlaşmaz problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu durum ekonomik ve belki de stratejik öneme sahip bazı maden kaynaklarının zor şartlar altında üretilmesine ya da zamanında değerlendirilememesine neden olabilmektedir.

Maden ve inşaat sektörlerine ait işletmelerin yerleşim yerlerine olan yakınlığı, hem çevre halkın hem de işletme yöneticilerinin bu konuya daha çok önem vermelerini sağlamıştır. Özellikle de maddi hasar oluşumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda, çok büyük öneme sahip olabilecek maden yataklarının patlatmalı kazı ile üretilmesi kısıtlanabilmekte, bazı durumlarda engellenebilmektedir. Bununla birlikte çoğu işletme sahibinin patlatmalara giderek artan bir önem vermesiyle birlikte, patlatma işlemlerini ya bu konuda uzman olan kurum veya kuruluşlara yaptırarak hizmet satın almakta yada sektörde faaliyet gösteren firmalardan veya ülkemizin belli başlı üniversitelerinde patlatma ve çevresel etkileri konularında sürekli çalışma yapan bilim adamlarından danışmanlık almak suretiyle olası çevresel rahatsızlıkların maksimum düzeyde önüne geçilmektedirler. Bu şekilde programlanmış sistemlerle patlatma zamanları kontrol altına alınabilir, yer titreşimleri izin verilen limitlere çekilebilir, hava şoku, toz ve gürültü kontrol edilebilir ve patlatmalı kazıların sürekli ölçümü sağlanarak hassas patlatmalı kazı çalışmaları ile madencilik çalışmaları sürdürülebilir hale getirilebilir. Bu tür önceden programlanmış kontrollü çalışmalar, çevre yerleşimcilerin artık olumsuz etkilere maruz kalmayacaklarını

hissetmeleri açısından çok büyük önem taşımaktadır. Ancak bu tür kontrollü çalışmalar çevresel rahatsızlık doğurmayacak bölgelerde makul sınırlar içinde kalmak koşuluyla, işletme maliyetlerini de göz önünde bulunduracak şekilde aşırı kısıtlayıcı niteliklere sahip olmayacak derecede olmalıdır.

## 1.2. Patlatma Gereksinimi

Patlatmalarda amaç patlayıcının sahip olduğu enerjiyi kayaya iletmek ve kayayı kırarak ötelemektir. Patlayıcı maddenin enerjisinin bir kısmı kayayı kırma ve ötelemede kullanılırken bir kısmı da ses ve sismik enerji şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Patlatma, madencilik çalışmalarında her zaman için ana unsur değildir, sadece sert kaya ortamlarında ve açık kömür ocaklarında zemin gevşetme çalışmalarında gereklidir. Ancak işletmeciler patlatmayı, bu tür sahalardaki hammaddeyi ekonomik olarak çıkarmak için vazgeçilmez bir unsur olarak düşünürler. Kum, çakıl ve turba gibi maddelerin kazısında ise genellikle patlatmaya ihtiyaç duyulmaz. Patlatma, sert kaya ortamlarında ve açık kömür ocaklarında zemin gevşetme çalışmalarının yanı sıra, kaya yüzeylerinde uzun vadeli stabil ayna yüzeyleri (şev) oluşturmak ya da gevşek zeminlerde emniyet açısından kabul edilebilir yüzeyler oluşturmak gibi rehabilitasyon çalışmalarının bir unsuru olarak kullanılabilir. Patlatma, madencilik çalışmalarında her zaman için ana unsur değildir, sadece sert kaya ortamlarında ve açık kömür ocaklarında zemin gevşetme çalışmalarında gereklidir.

Hem ekonomik olarak hem de teknik olarak kazıcı ekipmanlarla kazılamayacak derecede sert olan metal madenlerin kazanılmasında patlatma kaçınılmaz hale gelmektedir. Kazı işlemi için patlatmanın gerekli olup olmadığı konusundaki belirleyici unsurlar kaya yapısının sertliği ve kazı işlemi için uygun makine tipidir. Özellikle kömür üretim çalışmalarında patlatma işlemi kömür kazısı için değil, kömür damarlarının aralarında yada üzerinde bulunan dekapaj yada kaya tabakalarının kazısı için uygulanır. Kömürü kazanmak için kömür üzerindeki dekapaj malzemesinin kazıcı ekskavatörlerle kolay bir şekilde kazılabilmesi için önceden patlayıcılarla gevşetilmesi gerekir. Dekapaj kalınlıkları arttıkça kumtaşı daha az zayıf zonlar içermekte ve bu durum patlatmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Eğer patlatmanın gerekip gerekmediği konusunda bir belirsizlik varsa patlatma kazısından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Ancak işletmeciler her zaman için patlatmalı kazıya, kolaylık açısından öncelik vermektedirler.

Patlatma yolu ile kaya kazısı nispeten pahalıdır. Patlatma maliyetleri ve işletme dışı ekstra maliyetler arasında bir denge olmalıdır ve patlatma sonrası yükleme ya da kırma

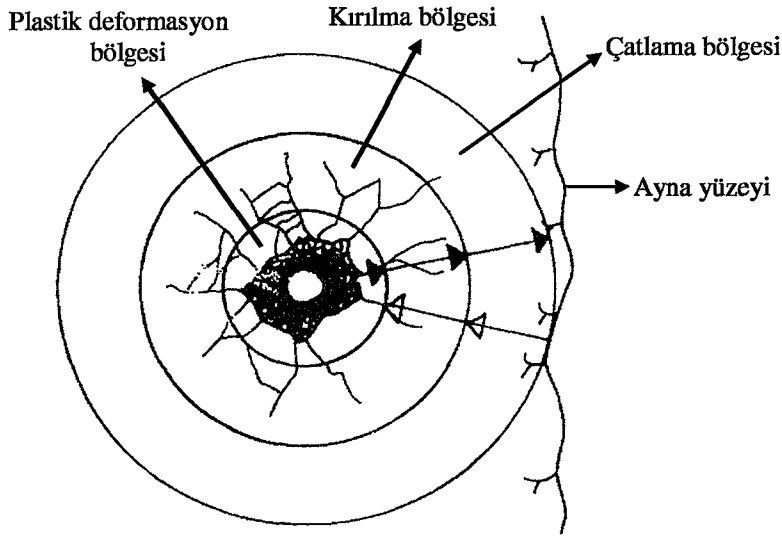
işlemlerinin kolay uygulanabilir olması için patlatma, belli derecede parçalama etkisine sahip olmalıdır. Patlatma işlemi hem ocak çalışanları hem de saha çevresinde yaşayanların güvenliği açısından olumsuz etkilere sahip olabileceğinden, jeolojik koşulların uygun olmadığı durumlarda ve ekonomik olmayacak kazı şartlarında düşünülmemelidir.

### 1.3. Parçalanma Mekanizması

Delik içinde bir patlayıcı faaliyete geçtiğinde, bir saniyeden çok daha kısa sürede gerçekleşen termodinamik reaksiyon sonucu patlayıcı enerjisi çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu enerji deliği çevreleyen kayaya darbe etkisi yapmakta ve böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok yüksek basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına neden olmaktadır [1].

#### 1.3.1. Birincil Parçalanma Mekanizması

Bir delik içine yerleştirilen patlayıcı faaliyete geçtiğinde delik cidarı darbenin etkisi ile plastik deformasyona uğrar. Plastik deformasyon bölgesi genellikle kaya özelliklerine göre bir veya birkaç milimetre genişliğindedir [1]. Patlama ve plastik deformasyon bölgesini parçalanma bölgesi çevrelemekte ve iki alt bölgeden oluşmaktadır (Şekil 1). İç taraf kırılma bölgesi, dış taraf ise çatlama bölgesidir.

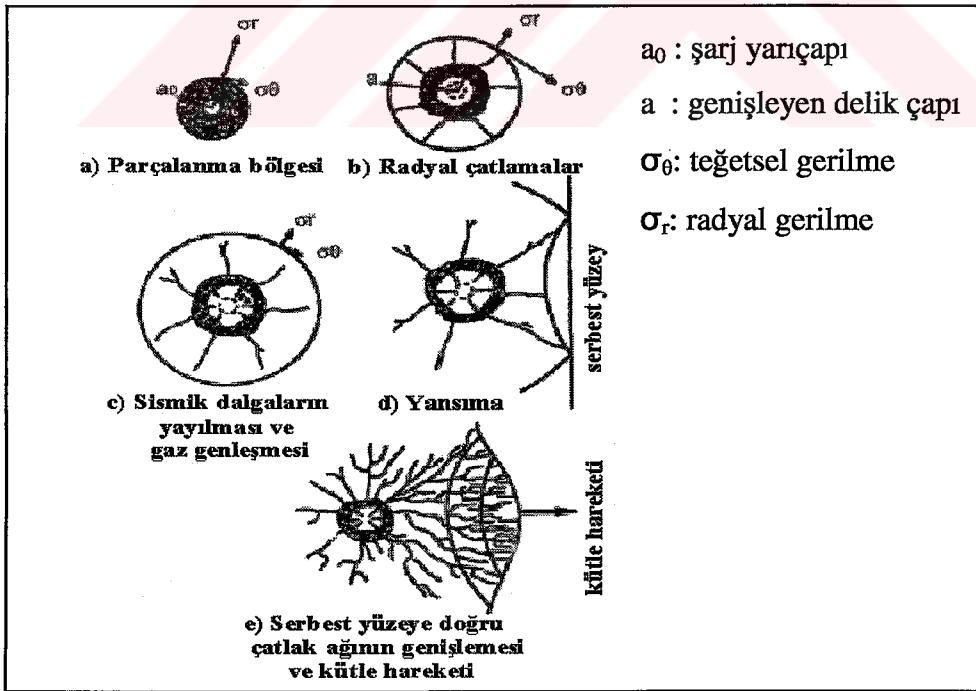


Şekil 1. Patlatma sonucu kayada parçalanma olayı [1].

Kırılma bölgesinde kaya tamamen parçalanmış olup parçalanma işlemi darbe sonucu oluşan basınç birim deformasyon dalgasının, kayanın dinamik basınç birim deformasyon limitinden fazla olması nedeni ile oluşur [1].

Kırılma bölgesinin genişliği genellikle delik çapının iki katından küçük olmakla birlikte bazı durumlarda gözenekli kayalarda güçlü patlayıcılarla delik çapının 7.5 katına çıktığı görülmektedir [1]. Kırılma olayını gerçekleştiren basınç birim deformasyon dalgasının şiddeti gittikçe azalır, ancak yoğun ışımsal basınç (yarıçap yönünde) sonucu dalga cephesine teğet yönde dinamik çekme birim deformasyon dalgaları oluşur (Şekil 2). Çekme birim deformasyon dalgaları kayanın dinamik çekme birim deformasyon limitini aştığı sürece ışımsal çatlamlar devam eder [2].

Hem ışımsal hem de teğetsel çatlakların olduğu çatlama bölgesi ışımsal çatlakların ucu ile sınırlıdır. Bölgenin genişliği delik çapının 10 ila 25 katına kadar ulaşmaktadır [1]. Patlatmanın yarattığı basınç dalgası, parçalanma bölgesindeki kırılma ve çatlama olaylarında enerjisinin bir kısmını harcadığından şiddetinin düşmesi sonucu ve yakında serbest yüzey bulunmadığından elastik titreşim dalgası olarak sonsuz kaya ortamı içinde dağılır ve gider. Titreşimlerin olduğu bu bölgeye sismik bölge adı verilir [1].



Şekil 2. Radyal ve ışımsal dalgaların şematik gösterimi ve parçalanma mekanizması.

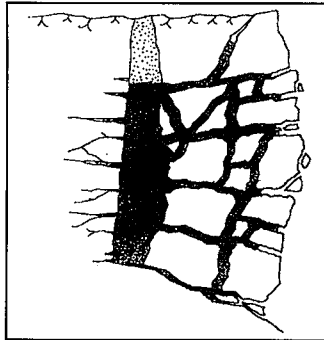
Eğer yakında basamak aynası yada açık fay, açık eklem gibi süreksizlikler varsa bunlar birer serbest yüzey gibi davranırlar. Sismik bölgede titreşimlere neden olan basınç birim deformasyon dalgaları bu yüzeylere geldiğinde hava boşluğuna geçemeyerek yansır ve çekme birim deformasyon dalgalarına dönüşür. Bu yansıyan dalga yeterli şiddette ise genellikle kayaların çekme dayanımları çok düşük olduğu için kaya yaprak gibi parçalanır [1].

### 1.3.2. İkincil Parçalanma Mekanizması

Birbiri ardına gelen basınç birim deformasyon dalgaları çekme birim deformasyon dalgalarına dönüştükçe dilim dilim koparıma olayı devam eder. Dilimlenme olayı ikincil parçalanma mekanizmalarının ilk aşamasıdır.

İkincil parçalanma mekanizmasının ikinci aşaması ise formasyon kontak ve dokanaklarında görülür. İki ayrı cins kayanın deformasyon modülleri arasındaki fark arttıkça gelen basınç birim deformasyon dalgasının bu formasyonlarda yarattığı deformasyonlar da farklı olur. Birim deformasyon farklılığının büyüklüğü, tabakaların farklı hareketi sonucu makaslama çatlakları yaratır [1].

İkincil parçalanma mekanizmasının üçüncü aşaması, çatlakların gaz basıncı etkisi ile uzamasıdır (Şekil 3). Patlama sonucu oluşan basınç altındaki gaz hem doğal hem de patlama sonucu oluşan çatlaklara girerek onları yarar ve kama etkisi yaparak çatlakların uzamasına yol açar. Hem deliği çevreleyen çatlakların uzaması hem de serbest yüzeyden deliğe doğru dilim dilim parçalanma sonucu arada çok dar bir kaya bölümü parçalanmamış olarak kalır. Bu kısım ise deliği çevreleyen çatlakları dolduran gaz basıncı tarafından ileri doğru püskürtülerek parçalanır [1].



Şekil 3. Uzayan çatlakların gaz basıncı ile açılması ve kaya kütlelerinin ötelenmesi [1].

İkincil parçalanmanın dördüncü aşamasında ise gaz basıncının püskürtülmesi sonucu parçalanma ile delik grubunun yer aldığı basamak bölümü tamamen parçalanmış ve bir miktar da kabarak öne doğru ötelenmiş olur.

#### 1.4. Çevresel Etkiler

Açık ocaklarda yapılan patlatmalar sonucu oluşan çevresel etkiler kaya fırlamaları, yer sarsıntısı, toz emisyonu, hava şoku ve gürültü olarak sıralanabilir. Kaya fırlamaları, hava şoku ile gürültü ve toz emisyonu işletmelere yakın yerlerde etkin olurken, yer sarsıntısı çok uzaklarda bile etkisini gösterebilmektedir. Dolayısıyla patlatmadan kaynaklanabilecek çevresel rahatsızlıklardan en önemlisi, yer titreşimleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşağıda Tablo 1’de patlatma kaynaklı çevresel etkiler ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Patlatmanın neden olduğu çevresel sorunlar ve özellikleri [3].

Etki	Nicelik	Birim	Sembol	Hasar Potansiyeli	Tahmin Değerlendirmesi
Yersarsıntısı	Maksimum parçacık hızı	mm/sn	PPV	Yapısal ve kişisel tepkiler/rahatsızlıklar	Ölçekli mesafe, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı
Hava şoku	Yüksek basınç	Pa	P	Yapısal ve kişisel tepkiler/rahatsızlıklar	Ölçekli mesafe, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı
Gürültü	Yüksek ses	dB	-	Rahatsızlık	Gürültü seviyesi
Taş fırlaması	Fırlama ve parça boyutu	m, kg	-	Yaralanma ve ölümcül kazalar, ekipmanlara zarar, maden etrafında güvenli yaşam unsurunun azalması	Parçacığın başlangıç hızı
Toz ve zehirli gazlar	Havanın birim hacmindeki parçacıklar	ppm	-	Sağlığa zararlı	Havada asılı bulunan tanecikler ve zehirli dumanlar

##### 1.4.1. Yer Titreşimleri ve Özellikleri

Patlatmalı kazı çalışmalarının amacı, mekanize kazının yapılamadığı formasyonlarda kayanın patlayıcı enerjisi ile kırılması ve gevşetilerek ötelenmesidir. Kazı çalışmalarında kullanılan patlayıcı madde enerjisinin bütünü kırma işinde kullanılamaz. Çeşitli bilim



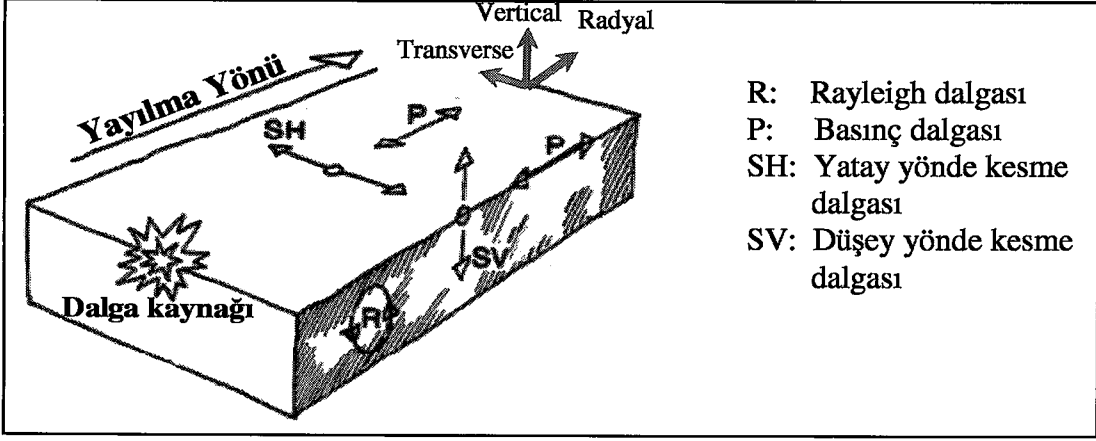
adamları yaptıkları çalışmalarda patlatmalı kazı sırasında patlayıcı madde enerjisinin sadece %20 ila 30'unun verimli bir şekilde kaya kütlelerini kırmada kullanıldığını belirtmektedirler [4]. Patlayıcı enerjisinin geri kalan kısmı ise buldukları çatlak ve boşluklardan ya direkt olarak havaya yayılır veya kaya ortamında titreşim dalgaları olarak yayılır ve yer titreşimlerinin patlatma sahasından çok uzak noktalara ulaşmasına neden olur. Uzaklığın artması ile birlikte titreşim etkisi azalır.

Patlayıcı maddenin infilakı ile birlikte, patlayıcıyı çevreleyen kaya kısımlarında ani çatlamlar, yırtılmalar ve yapısal bozulmalar meydana gelir. Çatlama ve yırtılmaların hemen çevresinde kalıcı deformasyonlar meydana gelmez, bunun yerine etkisi hızla azalan basınç dalgaları çevre yapının elastik özellik göstermesine neden olur ve bu sayede kaya partikülleri basınç dalgası geçtikten sonra eski orijinal pozisyonlarına dönerler.

Patlatma olaylarında zemin titreşimlerini ve hava şoku etkilerini minimuma indirecek her özel patlatma tasarımı hem patlatmayı daha verimli kılar hem de patlatma maliyetlerini düşürür. Buna rağmen en iyi dizayna sahip kontrollü bir patlatma bile, patlatma noktasından çok uzak noktalara yayılan ve yer titreşim dalgaları formuna dönüşen istenilmeyen enerji seviyeleri oluşturabilmektedir.

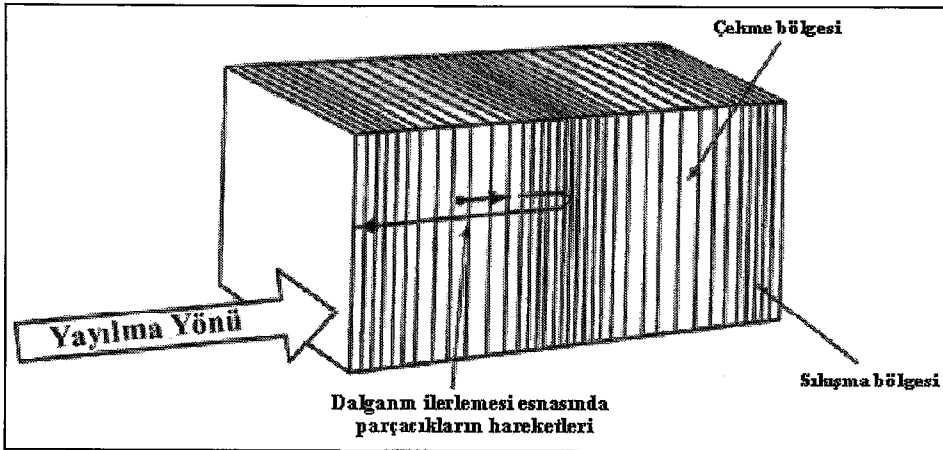
Kaya içerisindeki patlayıcının yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan diğer noktaya enerji transferini temsil eder. Oluşan bu sismik dalgalar enerjilerini tüketinceye kadar yayılmaya devam eder ve sonsuzda sönümlenirler. Sönme, genel olarak dalganın yayıldığı ortamın jeolojik ve fiziksel özellikleri dolayısıyla gösterdiği direnç ve dalganın giderek kaynağından uzaklaşması nedeniyle geometrik olarak çok büyük alana yayılmasından kaynaklanmaktadır. Dalga hareketi esnasında maddenin taşınması söz konusu değildir. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonunda salınım ve dönme hareketi yaparlar. Ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme söz konusu değildir [1].

Patlatma kaynaklı yer titreşimleri incelenirken anlaşılması gereken en önemli husus zeminde ilerleyen titreşim dalgalarının türleridir. Çünkü farklı dalga türleri farklı kuvvetlerle etkili olurlar ve farklı türde hasar oluştururlar. Jeolojik bir ortamda bir kaynaktan yayılan dalgalar yansıma, kırılma ve serbest yüzeye ulaşma gibi nedenlerden dolayı kayıt istasyonuna yüzey dalgaları yada gövde dalgaları formunda ulaşırlar. Aşağıda Şekil 4'te bir atımdan kaynaklanabilecek dalga türleri verilmiştir.



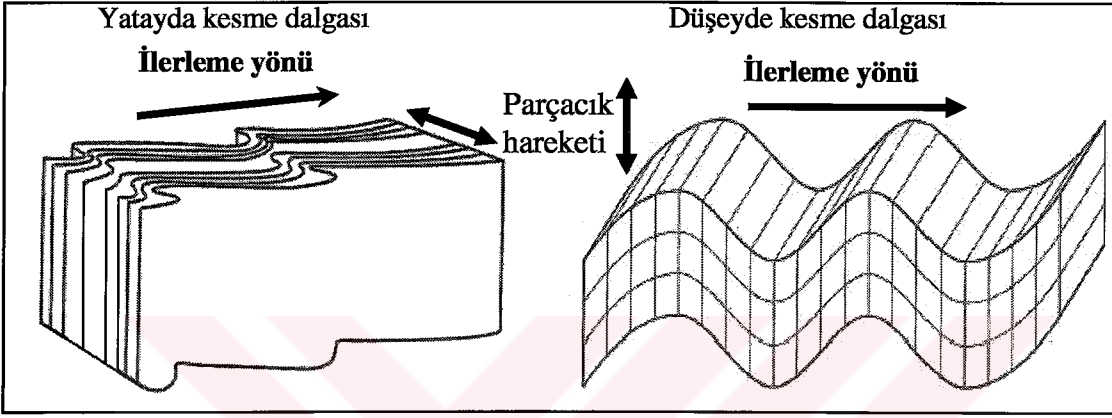
Şekil 4: Sismik dalgalar ve yayılma karakteristikleri [5].

Gövde dalgaları kayıt noktasına ilk ulaşan dalgalardır. Birincil (P) ve ikincil (S) dalgalar olarak adlandırılırlar. Bunlardan P dalgaları basınç (basma ve çekme) dalgalarıdır. Dolayısıyla P dalgaları olduğu durumda parçacıklar dalga yayılım yönünde basınç ve gerilme dalgaları şeklinde radyal olarak hareket ederler (Şekil 5). Gövde dalgaları arasında en hızlı hareket eden dalgalar P dalgalarıdır. Bu yüzden P dalgalarına boyuna dalgalar (Longitudinal) da denir ve en hızlı yayılan dalgalardır. Sonik veya ses dalgası olarak da adlandırılan P dalgaları, sesin su veya hava içerisindeki hareketiyle aynı karaktere sahiptirler ve su içerisinde yaklaşık 1490 m/sn, havada 340 m/sn ve farklı tip kayalar içerisinde ise 1830 m/sn'den 6100 m/s'ye kadar değişen hızlarda hareket etmektedirler. P dalgaları çok yüksek frekansa sahiptir ve genlikleri en az olan dalga türüdür. Dolayısıyla minimum yer değiştirmeye neden olur [6].



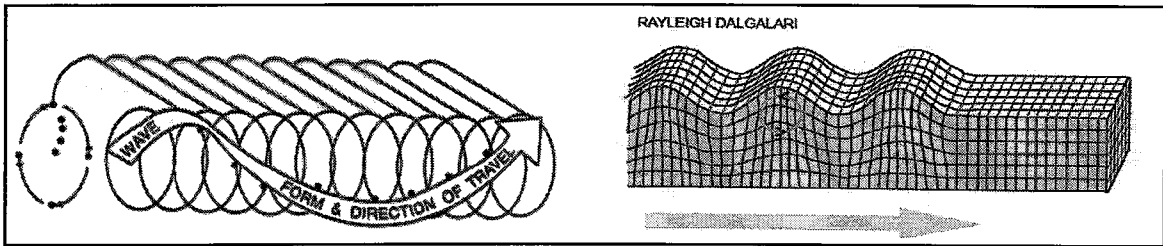
Şekil 5. P dalgası ve yayılma karakteristiği [5].

P dalgalarını takiben S dalgaları (ikincil dalgalar) yada kesme dalgaları oluşmaktadır (Şekil 6). S dalgaları titreşimin ilerleme yönüne, hem yatayda hem de düşeyde, dik bir şekilde harekete ve makaslama şeklinde gerilime neden olurlar. S dalgalarının hızı, P dalgalarının hızının yaklaşık  $3/5$ 'i kadar bir hızla hareket etmektedirler [6]. Dolayısıyla herhangi bir noktaya P dalgalarından sonra ulaşırlar. S dalgaları genellikle P dalgalarından daha düşük frekansa ve daha büyük genliğe sahiptirler. Sadece katı ortamda yayılırlar.

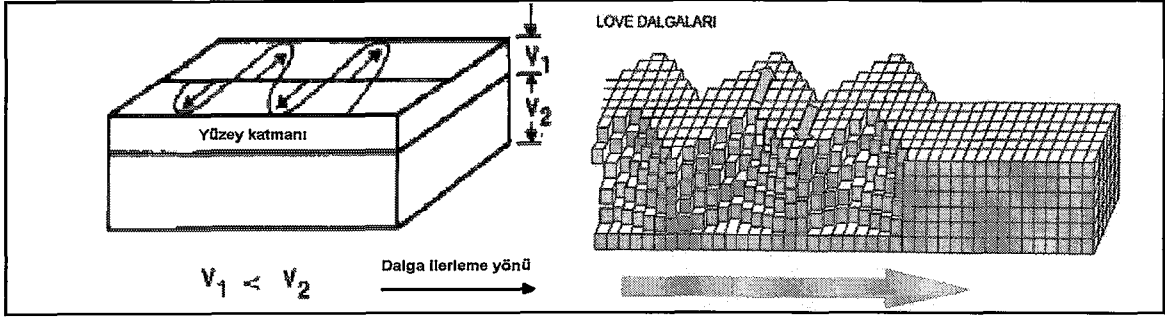


Şekil 6. S dalgaları ve hareket şekilleri [5, 7].

Yüzey dalgaları ise gövde dalgalarından daha sonra etkili olmalarına karşın yarattıkları hareketin yüzeyde yoğunlaşması ve ilerlemesi, binalar üzerindeki hasar oluşma riskini artırmaktadır. En önemli yüzey dalgaları Love dalgaları ve Rayleigh dalgalarıdır. Bu dalga türlerinin zemindeki hareket özellikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8). Rayleigh dalgaları, bu dalga formunu matematiksel olarak ilk kez ifade eden Lord Rayleigh'in adı ile anılmaktadır ve R ile gösterilir. Rayleigh dalgaları, kesme (S) dalgalarının hızının yaklaşık  $0.9$ 'u ile hareket etmektedirler [6].



Şekil 7. Rayleigh dalgalarının iki ve üç boyutlu gösterimi [5, 8]



Şekil 8. Love dalgalarının iki ve üç boyutlu gösterimi [8, 9]

Gerek gövde gerekse yüzey dalgaları arasında hasar potansiyeli en yüksek olan dalga türü eliptik bir hareketle ilerleyen Rayleigh dalgası olarak kabul edilmektedir ve birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalara göre Rayleigh dalgaları toplam sarsıntı enerjisinin yaklaşık %70-80'ini oluşturmaktadır [8]. Patlatmalardan kaynaklanan titreşim dalgaları standart birkaç birimle ifade edilir ve bu dalgaların enerji düzeyleri ölçülerek hasara neden olup olmayacağı anlaşılabilir.

#### 1.4.1.1. Yer Titreşimlerinin Ölçümü ve İlgili Terimler

Yer titreşimlerinin ölçümü, daha çok insanlar üzerindeki psikolojik etkilerini ve yapılar üzerindeki olumsuz etkilerinin boyutunu araştırmaya yöneliktir. Atım sonucu oluşan yer titreşimleri belli bir enerji seviyesine ve o ölçüde de çevresel etkiye sahiptirler. Yer titreşimlerinin enerji seviyeleri ve neden olabilecekleri etkiler genel itibari ile parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi ( $\text{mm/s}^2$ ), parçacık yer değiştirmesi (deplasman-mm) ve titreşim frekansı (Hz) ile ölçülür [10].

Parçacık hızı; titreşim hareketi nedeniyle yerin bir parçacığının birim zamandaki yer değiştirmesidir. Birimi mm/s'dir. Parçacık hızı sıfırdan başlayarak en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Parçacık hızı yer titreşim analizlerinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir.

Parçacık yer değiştirmesi; titreşime maruz kalan bir parçacık yada noktanın başlangıç pozisyonuna olan mesafesidir. Birimi mm'dir.

Parçacık ivmesi; birim zamanda parçacık hızında meydana gelen değişimdir. Birimi  $\text{mm/s}^2$  yada yerçekimi ivmesinden dolayı g'dir.

Frekans; birim zamandaki parçacık hareketidir ve analizlerde 1 saniyedeki salınım sayısı olarak alınmaktadır. Birimi hertz (Hz)'dir. Yer sarsıntısının frekansı da çevresel

etkilerin değerlendirilmesinde en az parçacık hızı kadar önemli bir parametredir. Yer titreşimlerinin büyüklüğünde en etkili faktör gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarıdır ve atım noktasına olan mesafe ile birlikte parçacık hızı tahmininin temelini oluşturur [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Bütün yer titreşimi ölçümlerinde en çok tercih edilen parametre parçacık hızıdır. Titreşim dalgaları tarafından harekete maruz bırakılan parçacığın, üç boyutta salınım özelliği gösterebileceğinden birbirine dik üç yönde ölçümü yapılır. Bunlar; boyuna (uzunlamasına), düşey ve çaprazlamasınadır.

-Boyuna; titreşim dalgasının ilerlemesi esnasında yer parçacığının dalga ile aynı yönde ileri-geri hareketinin ölçüsüdür.

-Düşey; titreşim dalgasının hareket yönüne dik, parçacığın aşağı yukarı hareketinin ölçüsüdür.

-Enine; yer parçacığının titreşim dalgasının hareket yönüne dik yönde sağa ve sola hareketinin ölçüsüdür.

Ancak patlatma noktasından uzaklarda, titreşim özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir. Dolayısıyla patlatmanın yapıldığı ve dalganın yayıldığı araziye temsil eden arazi katsayıları ile atımın titreşim frekansı hasar oluşumunda ve patlatma analizlerinde rol oynayan önemli faktörlerdir.

Patlatma sonuçları çevresel etkiler yönünden çeşitli yönetmelikler ve yasal hükümler gereği değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme; yalnızca patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerinin hasar oluşturmayacak düzeylere çekilmesi için değil, aynı zamanda patlatma sonucu ortaya çıkan enerjinin maksimum miktarının parçalanma ve ötelenme işlemlerinde kullanılmasını (yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel problemleri yaratan enerjinin minimuma çekilmesi), sağlamak amacıyla da yapılmaktadır.

#### **1.4.1.2. Ölçekli Mesafe Kavramı**

Çeşitli madencilik çalışmalarında kaya bloklarını kırarak ötelemek amacıyla gerçekleştirilen patlatmalardan kaynaklanan yer titreşimlerinin en iyi tahmini, her bir atımın tasarım özellikleri ile atım sonucu oluşan yer titreşimlerinin değişik jeolojik

ortamlardaki hareketlerinin gözlenmesi neticesinde mümkündür [24]. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş araştırmalar yapmış [10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] ve maksimum parçacık hızının (PPV) ölçekli mesafeye (SD) bağlı tahmini literatürün çoğunda kabul görmüştür. Ölçekli mesafe; sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Üretim yapılan çalışma sahalarında maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ( $\geq 30$  atımla) ilişkilendirilmesi gerekir ve istatistiksel analiz sonucunda kararlılık katsayısı ( $r^2$ ) değeri en az 0.7 olmalıdır [32].

Ölçekli mesafe; patlatmalı kazı için kullanılan patlayıcıdan çıkan enerjisinin bir kısmının buldukları çatlak ve boşluklardan yada direkt olarak havaya yayılması neticesinde ortaya çıkan veya kaya ortamına titreşim dalgaları olarak yayılan sismik dalgaların boyutunu etkileyen patlayıcı madde miktarı ile bu dalgaların değişik mesafelerdeki seviyelerini ortaya koyan birimsiz bir kavramdır. Patlatma sonrasında ortaya çıkan sismik dalgaların boyutu, bir seferde faaliyete geçen patlayıcı miktarına bağlıdır. Özetle ölçekli mesafe; gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ile patlatma ve ölçüm noktaları arasındaki mesafenin kombinasyonundan türetilmektedir.

Ölçekli mesafe hem hesaplarda kolaylık sağlanması, hem de ölçüm sonuçların grafiksel gösterimlerinde tek bir sayı ile temsili için, patlayıcı madde ve atım-ölçüm noktaları arasındaki mesafenin birleştirilmesinden elde edilen eşitlikle ifade edilir. Mesafe ve patlayıcı enerjisini birleştirmenin en yaygın yolu, gerçek mesafeyi her bir gecikmedeki maksimum şarj ağırlığının kareköküne yada küpköküne bölmektir ve bu şekilde “ölçekli mesafe” denilen sayı elde edilir. En genel şekli ile ölçekli mesafe formülü;

$$SD = R/W^{1/m} \quad (1)$$

dir. Burada;

SD : Ölçekli mesafe

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı (kg)

m : sabit

Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde genel olarak karekök ve küpkök ölçekleme formülleri kullanılmaktadır. Patlatmaların çevresel etkilerinin

değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapan araştırmacılar, silindirik şarjın (şarj boyu-delik çapı oranı  $\geq 6$  ise silindirik şarj) uygulandığı durumlarda karekök ölçekleme formülünün, küresel şarjın (şarj boyu-delik çapı oranı  $< 6$  ise küresel şarj) uygulandığı durumlarda ise küpkök ölçekleme formülünün kullanılması gerektiğini kabul etmektedirler [29].

$$SD_1 = R/W^{0.5} \quad (\text{Karekök ölçekleme}) \quad (2)$$

$$SD_2 = R/W^{0.33} \quad (\text{Küpkök ölçekleme}) \quad (3)$$

### 1.4.1.3. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının önceden tahmin edilmesine yönelik çalışma yapan bütün araştırmacılar, ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyi ampirik yaklaşım olduğunu kabul etmektedirler. Patlatmanın çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriter olan maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen ampirik bağıntı aşağıda verilmiştir [26, 33, 34, 35, 36, 37].

$$PPV = K \times (SD)^{-\beta} \quad (4)$$

Burada PPV : Maksimum parçacık hızı, (mm/s),

SD : Ölçekli mesafe,

K : Ölçümlerin yapıldığı formasyonun titreşimleri iletme katsayısı

$\beta$  : Ölçümlerin gerçekleştirildiği formasyonun titreşimi söndürme katsayısı

Çalışma yapılan sahanın sabitleri olarak ifade edilen K ve  $\beta$  sabitleri; patlatma çalışmaları sırasında her bir atım için en fazla patlayıcının kullanıldığı gecikme sırasındaki şarj miktarının ve atım noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığın sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ile istatistiksel açıdan sağlıklı değerlendirmeler yapılabilmesi için minimum 30 atımın ölçümünün alınması ve ölçülen maksimum parçacık hızları ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkiden ortaya çıkacak üssel fonksiyon eşitliğinden hesaplanabilir [10, 12, 13, 15, 19, 22, 23, 25, 28].

Dolayısıyla saha sabitlerinin belirlenmesi oldukça zor ve masraflı bir çalışmayı gerektirmektedir. Çünkü hassas bir şekilde elde edilecek en az 30 adet (mümkünse daha da fazla) veri, yapılacak regresyon analizinin sıhhati bakımından çok önemlidir. Hesaplanan

bu değerler sarsıntı ölçüm cihazının olmadığı durumda kontrollü patlatmaların yapılabilmesi için, uygulamaya yönelik birtakım pratik tabloların hazırlanması suretiyle saha çalışanlarına büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Saha sabitleri olarak tanımlanan  $k$  ve  $\beta$  sabitleri değişen zemin koşullarına göre farklı değerler alabilmektedir. Bu sabitlerin değişmesi muhtemelen jeolojik süreksizlikler, patlayıcı özellikleri ve miktarı, ateşleme yönü, patlatma geometrisi ve gecikme aralığından kaynaklanmaktadır.

#### 1.4.1.4. Parçacık Hızının Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Kontrollü patlatma tekniklerinin oluşturulmasına yönelik araştırma çalışmalarının yapıldığı sahada ölçekli mesafeye karşılık gelecek parçacık hızı tahmini için; sahadan sağlanan titreşim veri çiftlerinin istatistiksel analizi sonucunda, saha spesifik hız yaklaşımını veren azalan bir eğri denkleminin bulunması gerekir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla kullanılan istatistiksel analiz teknikleri en küçük kareler metodu üzerine kurulmakta ve basit korelasyon katsayısı saptamaları, regresyon denkleminin uyum iyiliği için ayrıntılı F testi gibi analizleri içermektedir [38]. Yapılan bu tür istatistiksel değerlendirmelerde elde edilen, yer sarsıntılarının tahmininde kullanılan parçacık hızı tahmin modelinin doğruluğu, standart hata 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 yaygın yöntemlerdir.

Parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen en yüksek 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 kararlılık katsayısı ( $r^2$ ) değerinin 0.7'den büyük olması gereklidir [29]. Ayrıca güven aralığının doğruluğunun ortaya konulmasında kullanılan standart sapma değerinin mümkün olduğu kadar sıfır değerine yakın olması önemli bir göstergedir. Kararlılık katsayısı değerinin ( $r^2$ ) 0.7'den daha düşük bir değere sahip olması durumu ise sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın ya da tasarım ile ilgili problemin var olduğunun işaretidir [29, 32].



Yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılacak istatistiksel değerlendirmelerde böyle bir durumla karşılaşıldığında sahadan sağlanan veriler tekrar gözden geçirilmeli, daha dikkatli bir şekilde ek atımlar izlenmeli ve eşitlik daha yüksek korelasyon değeri verecek şekilde yeniden oluşturulmalıdır.

Herhangi bir saha için kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, gerçek atımların yerinde izlenmesi neticesinde elde edilecek veri çiftlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu geliştirilecek parçacık hızı tahmin denkleminin kullanılmasıyla bazı pratik tablolar hazırlanabilir ve ölçüm cihazının olmadığı durumlarda saha çalışanlarına büyük kolaylıklar sağlanabilir.

#### **1.4.1.5. Yersarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemleri**

Günümüzde patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ve hava şoku ölçümleri için değişik firmalar tarafından geliştirilen birçok izleme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır [12, 13, 15, 18, 27]. İdeal bir yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemi aşağıdaki 5 temel bileşeni içermektedir.

1. Jeofon: Parçacık hızı bileşenlerini (enine, düşey, boyuna) zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde almak için, mikrofon: hava şoku ve gürültü değerlerini zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde almak için
2. Bağlantı kabloları: Mikrofon ve jeofondan gelen elektrik sinyallerini yükselticiye iletmek için
3. Yükseltici ve sinyal düzenleyici: Mikrofon ve jeofondan gelen elektrik sinyallerini yükseltmek ve analog verileri sayısal verilere çevirmek için
4. Disk: Sayısal verileri kaydetmek için
5. Yazıcı

#### **1.4.1.6. Patlatma Kaynaklı Yer Titreşimlerinin Yapılar Üzerindeki Etkileri**

Genel itibari ile yapılarda; üzerinde oturdukları zeminde ve civarında zamanla meydana gelen oturmalar, zemin rutubetindeki mevsimsel ve kalıcı değişimler, yağmur, sıcaklık ve rüzgarın hızı gibi doğal nedenler ve binaların yapım tekniği dolayısıyla değişik boyutlarda çatlaklar meydana gelebilir ve devamında kalıcı deformasyonlar oluşabilir [4]. Patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılar üzerinde oluşturduğu hasar ile doğal etki kaynaklı

yapısal hasarların birbirinden ayırt edilmesi son derece zordur. Bu nedenle eğer bir ocakta patlatma ile kazı yapılacak ise kazı çalışmalarına başlamadan önce, çevre yapılarda daha önce oluşmuş yapısal hasarların tespiti için çok titiz bir çalışmanın yapılması gerekmektedir. Çünkü patlatma sonrasında bir yapıda oluşabilecek ilk çatlaklar daha önce değişik doğal nedenlerden dolayı oluşmuş çatlakların uzantısıdır ve titreşim seviyesi ne kadar yüksek ise bina da o denli yüksek şiddette titreşime maruz kalır, patlatma sayısının artmasıyla birlikte de bu çatlaklar genişler, uzar ve sonunda kalıcı hasarlara neden olabilirler. Binalarda oluşabilecek hasar boyutu, yer titreşimlerinin enerji seviyesinin yanında binaların yapım tekniği, boyutları ve üzerine oturdukları zemin özelliklerine bağlıdır [36].

Yerleşim birimleri üzerindeki hasarı belirlemede genel itibari ile aşağıdaki birleştirilmiş tabloda (Tablo 2) verilen sınıflama kullanılmaktadır [12, 36, 39].

Tablo 2. Patlatmalardan kaynaklanan yapısal hasarların sınıflandırması

Sınıflandırma	Hasarın Tanımı	Niteliği
Eşik Hasar	Kolon ve kirişlerin birleşim yerlerinde boya ve sıvada kılcal çatlakların oluşması ve eski çatlakların uzaması,	Görüntü bozucu.
Hafif Hasar	Sıvanın gevşemesi ve düşmesi, kapı, pencere gibi açıklıkların etrafındaki duvarda çatlaklar, 3 mm genişliğe kadar çatlakların oluşması,	Rahatsız edici, yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez.
Esaslı Hasar	Duvarlarda geniş ve büyük çatlakların oluşması, duvar ve bacalardan taş ve tuğla düşmesi sonucu yapılarda kalıcı deformasyonlar ve hasarların oluşması,	Aşırı derecede rahatsız edici, yapıların yük taşıyıcı elemanlarının kabiliyetini düşürerek dayanımını etkiler.

#### 1.4.1.7. Yer Titreşimlerinin Yapılar Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesinde Etkin Olan Parametreler

Yapısal hasarın değerlendirilmesinde etkili olan en önemli parametreler; frekans, büyütme faktörü, ivmenin ölçülmesi, yerleşim yerinin jeolojisi ve yapılaşma durumudur.

##### 1.4.1.7.1. Frekansın Etkisi ve Hasar Kriterleri

Yer titreşimlerinin frekans özellikleri başlıca birkaç unsurdan etkilenir. Bunlar; titreşim dalgalarının yayıldığı jeolojik ortamın özellikleri, gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığı, atım noktasına olan mesafe, patlatma dizaynı ve delik geometrisidir [26,

40]. Düşük frekanslı dalgalar insanlar tarafından doğaları gereği kolayca hissedilirken, yüksek frekanslı dalgaları insanların algılamaları zordur. Dolayısıyla insanlar bu durumda herhangi bir endişeye kapılmazlar.

Titreşim dalgalarının yayıldığı ortamın iletim yeteneği, formasyonun homojenliği, sağlamlığı ve katılığının artması ölçüsünde artar ve bu durumda oluşan titreşimler patlatma noktalarına yakın mesafelerde nispeten yüksek frekans oranlarında gerçekleşir [40]. Yer titreşim frekansları patlatma noktasından çok uzak mesafelerde ölçüm alındığı durumlarda ya da kil yada toprak gibi zeminlere sahip iletim ortamlarının olduğu durumlarda nispeten düşük yada düşük olabilir.

Açık maden ocaklarında yapılan üretim amaçlı patlatmaların titreşim frekansları genel itibari ile 5-40 Hz arasında değişmektedir. Sert ve sağlam kayaların bulunduğu ortamlarda ağırlıklı olarak 20-30 Hz arasında, iletim faktörünün düşük olduğu zayıf ortamlara sahip ocaklarda ise 5-15 Hz arasında değişmektedir [40]. Titreşim frekansları ve dolayısıyla pik parçacık hızı, ivme ve yer değiştirme genlikleri titreşim dalgalarının yayıldığı ortam özelliklerine bağlıdır. Örneğin hem örtü tabakasının kalın olduğu hem de uzaklığın arttığı durumlarda düşük frekanslı ve uzun süreli titreşim dalgaları oluşmakta ve durum çevre yapılarda hasar potansiyelini artırmaktadır [36]. Dolayısıyla dalga iletim yeteneği zayıf olan ortamlarda hareket eden titreşim dalgaları, binalarda rezonansa (yer titreşim dalgasının frekansı ile bina öz yapısal frekansının çakıştığı durumda, titreşim dalgası geçip gitse bile binanın sallanmaya devam etmesi durumu) neden olabilecek büyütme etkisine maruz kalabilir.

Ülkemizde patlatmalardan kaynaklanan yer titreşimleri ve hasar kriterlerini saptamak ve denetlemek için halihazırda yönetmelik ve standartlar yoktur. Dolayısıyla şu an itibari ile yapılan değerlendirmelerde diğer ülkelerdeki standartlar kullanılmakta ve elde edilen sonuçlar bu standartlara göre yorumlanmaktadır.

Değişik ülkelerde patlatma ve çevresel etkilerine yönelik değişik yaklaşımlar sergileyen değişik standartlar bulunmaktadır. Kimi standartlar sınır değerlerin belirlenmesinde sadece parçacık hızlarını göz önüne alırken, kimileri frekans etkisini de dikkate almaktadır. Bazı standartlar sadece yerleşime ait meskenleri (evler) dikkate almakta, bazı standartlar meskenlere tarihi eser ve hassas binaları da göz önüne almakta, bazıları ise bunların yanında insan faktörünü de göz önünde bulundurmaktadır.

Bu konuda yapılan ve araştırmacıların geneli tarafından kabul edilen standartlardan ikisi A.B.D. Maden Dairesi (USBM) ve Amerika Açık Ocak Maden Bürosu (OSMRE)'nun

hazırlamış olduğu standartlardır. Her iki standart da Amerika'da birçok maden ve ocakta yerinde yapılan inceleme ve ölçümler sonucunda oluşturulmuş olup oldukça geniş bir deneyim ve gözleme dayanmaktadırlar. Bu standartlar iki katlı ve inşaat yapım tekniklerine uygun olan binalar için ve titreşim seviyeleri 1-2 saniyeden uzun olmayan titreşimler için geçerlidir. Dolayısıyla herhangi bir titreşim değerlendirme çalışması yapılmadan titreşime maruz kalan yapının uzmanlarca incelenmesi gerekmektedir.

USBM'in geliştirdiği standartlar pik (maksimum) parçacık hızının yanında frekansı da göz önünde bulundurmaktadır. Dolayısıyla rezonans ve büyütme faktörlerinin de değerlendirmeye katılmasına imkan verir. Aşağıda Tablo 3'te USBM'in geliştirdiği titreşim standartları verilmiştir [8].

Tablo 3. USBM standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri

Yapı Türü	İzin verilen Pik Parçacık Hızı, (mm/sn)	
	< 40 Hz	> 40 Hz
Modern evler	19.0	50.8
Eski binalar, ahşap yapılar	12.7	50.8

Ancak 1980 yılında belirlenen bu standartların aşırı tutucu olduğunu ve çalışma imkanlarını aşırı kısıtladığını belirten Amerika Açık Ocak Maden Bürosu, 1983 yılında Tablo 4'te verilen ölçekli mesafeye bağlı yeni standartları yayınlamıştır [8].

Tablo 4. OSMRE standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri

Patlatma yerinden uzaklık, (m)	İzin verilen Pik Parçacık Hızı, (mm/sn)	Ölçüm yapılmadığı durumlarda izin verilen ölçekli mesafe
0-90	31.75	22.6
91-1500	25.4	24.9
1501-yukarısı	19.05	29.4

Yaygın olarak kullanılan bu iki standardın haricinde İsveç, Almanya, Avustralya, İngiltere, Rusya, Hindistan vb. birçok ülkede kullanılan farklı standartlar vardır.

Bunlardan Alman DIN 4150 Normu temel olarak tarihi eser ve anıtların dahi zarar görmeyeceği ve insanların bile rahatsız olmayacakları sarsıntı seviyelerini belirlemeye çalışır. Aşağıda Tablo 5'te değişik yapı türü ve frekans aralıklarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri verilmiştir [41].

Tablo 5. Alman DIN 4150 normuna göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri

Yapı Türü	İzin verilen pik parçacık hızı değeri, (mm/sn)		
	Titreşim frekansı 0-10 Hz	Titreşim frekansı 10-50 Hz	Titreşim frekansı 50-100 Hz
Korunmaya muhtaç eski bina, tarihi eserler, anıtlar, zayıf derecede yapılar	3	3-8	8-10
Dayamlı bina, yığma tuğla ve benzer yapıda apartman türleri	5	5-15	15-20
Donatılı beton (betonarme), çelik konstrüksiyonlu ticari ve endüstriyel yapılar	20	20-40	40-50

Central Mining Research Institute (CMRI)'ün bilim adamları tarafından oluşturulan ve aşağıda Tablo 6'da verilen titreşim standartları Hindistan'da bulunan kömür ocakları ve çoğu maden ocaklarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [42].

Tablo 6. CMRI tarafından izin verilen PPV değerleri [42].

Yapı tipleri	PPV sınır değeri (mm/sn)	
	≤ 24 Hz	> 24 Hz
Tarihi öneme sahip >50 yaşa sahip duyarlı yapılar, dayanıksız ve restore edilmemiş zayıf binalar,	2	5
Evler, alçı ve sıva duvarlar, köprüler	5	10
Çelik yada donatılı beton yapılar, endüstriyel binalar,	12.5	25

İngiliz standartları yapılar üzerinde oluşabilecek hasarları, eşik hasar (kılcal çatlaklar), hafif hasar (uzayan ve genişleyen çatlaklar) ve esaslı hasar (taşıyıcı elemanların hasar görmesi) olarak sınıflandırmıştır. Geliştirilen İngiliz standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı sınır değerleri Tablo 7'de verilmiştir [5].

Tablo 7. İngiliz standartlarına göre izin verilen maksimum parçacık hızı sınır değerleri

Satır	Yapı tipi	İzin verilen Pik Parçacık Hızı, (mm/sn)	
		4-15 Hz	>15 Hz
1*	Güçlendirilmiş, çelik donatılı ve endüstriyel binalar	50	50
2*	Dayamlı evler, düşük kalitede inşa edilmiş yerleşimler ve ticari binalar	15-20	20 mm/sn (15 Hz) 50 mm/sn (>40 Hz)

NOT 1\*: Değerler binalar için geçerlidir.  
NOT 2\*: 4 Hz'den düşük frekansa sahip titreşimlerde yer değiştirme sınırı maksimum 0.6 mm olmalıdır.

Yer titreşimlerinin değerlendirilmesine yönelik maksimum parçacık hızına izin veren Avustralya standartları ise Tablo 8’de verilmiştir [41].

Tablo 8. Avustralya standartlarına (AS 2187) göre izin verilen maksimum parçacık hızları

Yapı türü	İzin verilen maksimum parçacık hızı, (mm/sn)
Tarihi yapılar, anıtlar, özel değeri olan yapılar	2
Dayanıklı evler, düşük kalitede inşa edilmiş yerleşimler ve ticari binalar	10
Yüksek kalitede inşa edilmiş ticari ve endüstriyel binalar, donatılı beton veya çelik konstrüksiyonlu yapılar	25

#### 1.4.1.7.2. Jeolojik Faktörler ve Titreşim Kaynaklı Parçacık Yer Değiştirmesi (Deplasman)

Jeoloji, patlatma işleminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli bütün ön hazırlıkların yapılmasını ve patlatmaların çevresel açıdan etkilerini belirleyen en önemli unsurdur. Özellikle kaya dayanımı, yoğunluğu, kaya yapısı (yataklanma düzlemleri, eklem ve kırıkların yönelim ve sıklığı vs.) ve kayada dalganın ilerleme hızı patlatmayı etkileyen en önemli faktörlerdir. Patlatmalı kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve kaya jeomekaniği, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Homojen ve izotrop bir kaya ortamında yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde aynı derecede yayılırken, heterojen ve anizotrop özellik gösteren karmaşık jeolojik ortamlarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı yönle değişebilmekte ve farklı yayılım özellikleri göstermektedir [43].

Patlatma yapılan ortamın sağlamlığı, yoğunluğu, gözenekliliği vb. dalgaların yayılım hızını önemli bir şekilde etkiler [7]. Kaya ne kadar sertse frekans da o derece yüksek olur. Patlatma sahasından uzaklaştıkça başlangıçta yüksek olan frekanslar düşme eğilimine başlamaktadır.

Patlatma çevresindeki jeolojik ortam sert ve sağlam ise ve üzeri ince toprak örtüsü ile kaplıysa, titreşimler genellikle yüksek frekanslı ve düşük yer değiştirmelidir. Toprak örtüsü fazla ise titreşimler genellikle düşük frekanslı ve yüksek yer değiştirmelidir [44]. 10 Hz değerinin altındaki frekansa sahip titreşim dalgaları zeminde büyük yer değişimlerine (deplasman) neden olur ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır [36].

Atımın yapıldığı bölgede evlerin yapılaşma durumu (formasyon üzerinde atılan temel) göz önüne alındığında yer değiştirme değerinin belirli bir sınırı olması gerektiği ve bu değeri aşmaması istendiği bilinmelidir. Bu aşılmaması gereken yer değiştirme sınır değerleri her bir yapı için Tablo 9’da özetlenmiştir [16, 45].

Tablo 9. Yapılaşma durumuna göre yer değiştirme limit değerleri

Yapı Tipi	Yer değiştirme Limiti, (mm)
Manevi ve yüksek değerde yapılar, Maden kuyuları, Zayıf şartlardaki evler, Tarihi yapılar (eserler)	0,10
Birbirine çok yakın olan evler	0,20
Tek başına ev	0,40
Çelik konstrüksiyonlu yapılar	0,76

#### 1.4.1.7.3. Binalarda Özyapısal Frekansları Tahmin Etme ve Dinamik Büyütme Faktörü

Açık işletmelerde üretim amaçlı yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin ölçümü genel itibari ile ya çalışmaların daha önceden yapılmış olan üretim planlamalarına uygun bir şekilde sürüp sürmediğini ya da şayet varsa patlatma kaynaklı çevresel olumsuz etkileri ortadan kaldırmak amaçlı yapılır. Genel olarak insanlar, yapıların öz yapısal frekansları ile titreşim frekansları arasındaki ilişkisinden kaynaklanan nedenlerden ötürü konutlarında titreşim etkilerini daha çok hissederler. Aynı büyüklükte fakat farklı frekans değerlerine sahip titreşim dalgaları hem insanlar hem de binalar üzerinde farklı sonuçlar doğurabilmektedir.

Bir sismik dalga bir yapıya ulaştığı zaman enerjisini sahip olduğu frekansla birlikte binaya geçer ve bina titreşime zorlanır. Titreşim dalgası geçip gittikten ve zorlama bittikten sonra bina kendi yapısal frekansı ile sallanmaya başlar. Newmark ve Hall yaptıkları çalışmada herhangi bir yükseklikteki ve genişlikteki bir yapının özyapısal frekansını tahmin etmeye yönelik basit bir yaklaşım geliştirmişlerdir [46].

$$p = 2\pi \sqrt{\frac{L}{0.05xh}} \quad (5)$$

Burada;

p: yapının öz yapısal frekansını

L: yapının eni

h: yapının yüksekliğini ifade etmektedir.

Aşağıdaki bazı kuruluş ve araştırmacıların oluşturduğu değişik yapı türlerine ait özyapısal frekans değerlerini içeren tablolar verilmiştir (Tablo 10, Tablo 11).

Tablo 10. Araştırmacıların belirlediği değişik yapı tiplerine ait olan tipik özyapısal frekanslar [14, 47].

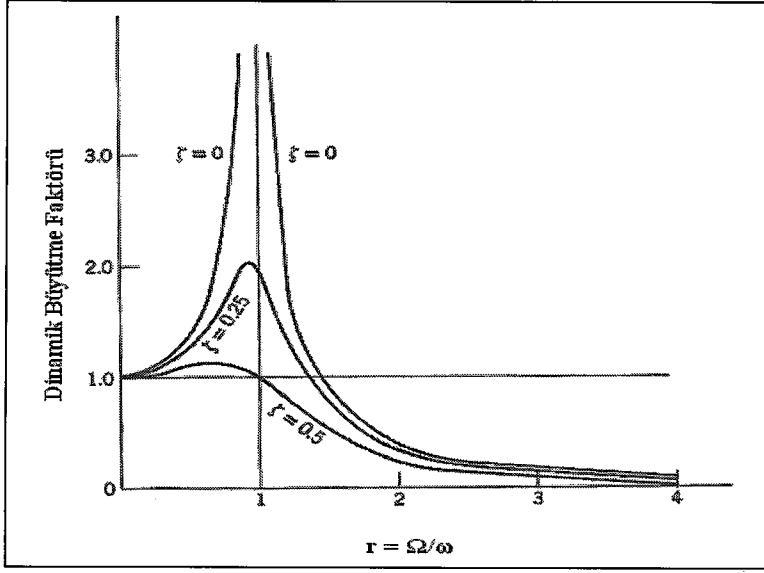
Yapı türleri	Doğal Frekans, Hz
Çok katlı binalar	$f=0,1xN$ , N: Kat sayısı
Kömür siloları ( $\approx 60$ m)	0.6
Petrol arıtma kulesi ( $\approx 20$ m)	1.2
Radyo vericisi ( $\approx 30$ m)	3.8
Ahşap binalar (1 ve 2 katlı)	7
Betonarme/dayanıklı binalar	4-12
Bina duvarları	12-20

Tablo 11. Central Mining Research Institute (CMRI) tarafından belirlenen değişik yapı tiplerine ait doğal frekans aralıkları.

Yapı Türü	Doğal Frekans (Hz)
Tek katlı tuğla yapı	12-14
Çift katlı tuğla yapı	8-10
Betonarme yapılar	9-16

Herhangi bir patlatma sonucu oluşacak yer titreşimleri bir yapıya ulaştığında, titreşim frekansı ile yapının frekansının örtüşmesi yada birbirine çok yakın olması durumunda binalar rezonansa girmekte ve zeminde ölçülen titreşim değerinden daha büyük bir değerde ve daha uzun süre sarsılmaktadır. Burada herhangi bir yapı sistemine etki eden dinamik büyütme faktörünün sonsuza yaklaşması ile yapı stabilitesini kaybeder ve göçer [48]. Dinamik büyütme faktörü (DBF) binaların sönümlenme özelliklerine ve yapı ile zeminin frekans oranına bağlıdır. Aşağıda Şekil 9'da herhangi bir yapı için değişik sönüm oranlarında DBF ve titreşim frekansı-yapı frekansı arasındaki orana bağlı grafik verilmiştir.





Şekil 9. Sönümün 0.25 ve 0.5 olduğu durumlarda DBF [49].

Dinamik büyütme faktörü;

$$DBF = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (6)$$

$$x(t) = X * e^{-\xi\omega t} * \sin(\omega_d t + \phi) + \frac{x_0}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} * \sin(\Omega t - \psi) \quad (7)$$

$$r = \frac{\Omega}{\omega} \quad (8)$$

formülleri ile ele alınır [48]. Burada;

DBF: dinamik büyütme faktörü,

r: zemin (titreşim) ile yapıların frekanslarının oranı,

ξ: sönüm oranı,

x(t): zamana bağlı yer değiştirme,

X: serbest titreşimdeki genlik,

x<sub>0</sub>: başlangıç yer değiştirme değeri,

ω: yapının doğal açısal frekansı (öz yapısal frekans),

ω<sub>d</sub>: sönümlü sistemin açısal frekans,

Φ: serbest titreşimin faz açısı

Ω: titreşim frekansı,

Ψ: zorlanmış titreşimin faz açısıdır.

Burada “r” zemin frekansının yapı frekansına oranını ifade etmektedir. Bu oran 1 olduğunda ve sönümün sıfıra yakın değerleri için dinamik büyütme faktörünün Şekil 9’ dan da görüleceği gibi sonsuza gittiği görülmektedir. Sönüm oranı arttığı zaman ise DBF küçülecektir. Bir sistem için sönüm oranı ne kadar büyükse binalar için güvenlik katsayıları da o denli yüksektir.

DBF’nün küçülmesi demek yukarıdaki formülasyondan da anlaşılabilceği üzere, yer değiştirmenin de küçülmesi demektir. DBF’nün büyümesi durumunda ise yer değiştirme de artacaktır. DBF’nün sonsuza yaklaşması durumunda  $x(t)$  de sonsuza giderek yapının çok büyük yer değiştirmelere maruz kalmasına ve böylece stabilitesini kaybederek göçmesine neden olacağı yine yukarıdaki Şekil 9’ dan görülmektedir.

Dolayısıyla saha çevresinde yaşayanlardan, mülkleri üzerinde herhangi bir maddi zararın olduğuna dair şikayetlerin geldiği durumlarda titreşim ölçümü, bu mülklerin hemen civarında seçilecek olan sağlam bir zeminde yada uygun olması durumunda yapının taşıyıcı elemanları üzerine kurulacak ölçüm istasyonlarında gerçekleştirilir. Bu sayede evin üzerinde bulunduğu zeminde alınan ölçümlerle konut içerisinde alınan ölçüm sonuçları karşılaştırılarak herhangi bir büyütme etkisi olup olmadığı belirlenebilir. Büyütme faktörü daha çok titreşim frekansına, patlatma süresine, binanın yapısal elemanlarının bileşimine ve teknik yapım özelliklerinden etkilenir [40, 50].

#### **1.4.1.8. Yer Titreşimlerine İnsanların Tepkileri**

Patlatma kaynaklı yer titreşimlerine insanların tepkileri karmaşık bir olgudur. Titreşim büyüklüğü ne kadar küçük olursa olsun insan vücudunun çok duyarlı olduğu en çok kabul gören gerçektir. Bireyler arasında titreşimlere karşı duyarlılık önemli oranda farklılık göstermesine rağmen, insanlar genellikle 1.5 mm/s civarında değere sahip olan yer titreşimlerinden rahatsız olmaktadır ve bazı durumlarda 0.5 mm/s’den düşük seviyelerdeki yer titreşimlerine bile duyarlı hale gelmektedirler [40].

İnsanların evlerinde uyurken, TV seyredirken, okurken, yemek yerken, vb. durumlarda rahatsız olacak şekilde yer sarsıntısına maruz kalması onları etkiler ve rahatsızlık duyarlar. Evdeki insanlar için en ciddi yer sarsıntısı problemi evde hasar olması korkusu veya yaralanmadır [31, 36]. Henüz insanların yaşamış oldukları çevrede hangi titreşim seviyelerine kadar tolerans gösterecekleri kesin bir şekilde anlaşılamamıştır. Ancak konu ile ilgili araştırmalar ve kişisel tecrübeler göstermiştir ki, patlatma kaynaklı bir

titreşime maruz kalındığında titreşim değeri olduğundan çok daha fazla hissedilmektedir [35]. Değişik araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalara göre değişik titreşim seviyelerini insanların algılama şekilleri aşağıda Tablo 12’de verilmiştir [4, 51].

Tablo 12. İnsanların yersarsıntısını algılama şekilleri

Titreşim seviyesi (mm/sn)	Algılama derecesi
0,10	Hissedilmez
0,15	Algılama başlangıcı
0,35	Güçlkle hissedilir
1,00	Hissedilir
2,20	Kolaylıkla hissedilir
6,00	Kuvvetli bir şekilde hissedilir
14,0	Çok kuvvetli bir şekilde hissedilir

Bir titreşim değeri, bir defaya mahsus bile olsa kişinin algı seviyesinin üzerine çıkarsa, o kişinin o andan itibaren patlatmaya karşı duyarlılığı artar. Sadece endişe bile, titreşimlerin insanların mülklerine zarar vermesi bakımından sürekli bir potansiyel kaynak oluşturacağı duygusu için yeterlidir. Endişeler bununla da kalmayıp, zaman içerisinde zemin oturmalarından yada binaların yapım tekniklerinden dolayı doğal olarak oluşan kılcal çatlak gibi küçük boyutlu zararların da patlatma sonucu oluşan titreşimlerden kaynaklandığı düşüncelerini doğurabilir. Genel itibari ile endişeler, titreşimlerin ileride de sürmesi neticesinde insanların mülklerine zarar geleceğine dair korkulardan kaynaklanmaktadır.

Endişe seviyesi ve şikayetlere yol açıp açmayacağı birçok faktöre bağlıdır. Belki de en önemlisi titreşimin büyüklüğü, süresi ve frekansıdır. Ancak titreşim büyüklüğü, şikayetlerin olduğu bölgelerde sahadan sahaya değişir.

İnsanların duyarlılıkları yaş, sağlık ve daha önce benzer titreşimlere maruz kalmaları durumuna göre kişiden kişiye çok büyük farklılıklar gösterir. Patlatma sahası çevresinde yaşayanlar titreşimlere alışmış ise olumsuz tepkiler az olur. Bu tür durumlarda işletmecinin saha çevresinde yaşayanlara sahada patlatmaya neden ihtiyaç duyulduğuna ve sakinler tarafından algılanan titreşim seviyelerinin etki boyutuna dair açıklamaları, onlara karşı yaklaşım ve tavrı çok büyük önem arz eder. Eğer bu tür bir iletişim yok ise ocak çevresinde yaşayan insanların tepkileri farklı olabilir. Aşağıda Tablo 13’de patlatmadan kaynaklanan etkilere yer titreşimlerinin yanında, gürültünün ve insanların psikolojilerinin göz önüne alındığı durumlarda tepkiler ve dereceleri verilmiştir.

Tablo 13. Patlatma etkilerini insanların algılama seviyeleri ve tepkileri [52].

Maksimum parçacık hızı, (mm/sn)	Gürültü etkisi olmadığı durumda yer titreşimlerine olan tepkiler (tarafsız gözlemci)	Gürültü etkisi olduğu durumda yer titreşimlerine olan tepkiler (önyargılı gözlemci)
0-0.05	Hissedilmez	Hissedilmez
0.05-0.15	Hissedilmez	Hissedilir, şikayet mümkün
0.15-0.51	Hissedilir	Hissedilir, şikayet mümkün
0.51-1.0	Hissedilir	Aşırı derecede şikayetler mümkün
1.0-3.0	Rahatsız edici	Aşırı derecede şikayetler mümkün
3.0-5.1	Şiddetli rahatsızlık	Aşırı derecede şikayetler mümkün

Dünyada ve ülkemizde artan nüfusa paralel olarak hammadde, konut ve ulaşım ihtiyacına karşılık vermek amacıyla madencilik, inşaat, tünelticilik ve yol çalışmaları hız kazanmış ve çoğu durumda özellikle madencilik çalışmalarında ve sert kaya ortamlarının geçilmesi sırasında patlatmalı kazılar zorunluluk arz etmiştir. Sonuçta patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntıları yönelik şikayetlerin oluşması da kaçınılmaz hale gelmiştir. Aşağıdaki Tablo 14'te bu tür şikayetlerin genel olarak kaynaklarının neler olabileceği verilmiştir [25].

Tablo 14. Patlatmaya bağlı şikayetler ve nedenleri

Gerçek nedenlere bağlı şikayetler	Konu ile ilgili abartılı ve bilinçsiz şikayetler	Çıkar sağlamaya yönelik şikayetler
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mevcut çatlakların büyümesi</li> <li>• Yeni çatlakların oluşumu</li> <li>• Siva düşmeleri</li> <li>• Tuğla kesmeleri</li> <li>• Kolon ve kirişlerde kesmeler</li> <li>• Cam şingirdaması, kırılması</li> <li>• Korku ve panik</li> <li>• Uyumakta olan bebeklerin ve/veya kişilerin uyanması</li> <li>• Mutfak raflarındaki tabak vb. dökülmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belli belirsiz sarsıntı hisseden kişilerin mallarına hasar gelecek korkusu ile şikayet etmesi</li> <li>• Konutlarında mevcut olan çatlakları patlatmaya bağlamaları</li> <li>• Binaların rezonansa girmesi sonucu daha uzun süreli sarsıntının olması.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İşten çıkartma veya işe alınmama,</li> <li>• Yeni başlanan bir inşaat, okul, cami, muhtar odası, sağlık ocağı, köy yolu yapımı veya onarımı için yapılan talebin geri çevrilmesi,</li> </ul>

#### 1.4.2. Hava Şoku ve gürültü

Patlatma ile kaya kütlelerinin parçalanması esnasında bir miktar patlayıcı enerjisinin atmosfere iletilmesinin yanında, kırılan kaya kütlelerinin ötelenmesi sırasında ötelenen kütlelerin etkisi ile havada basınç dalgaları meydana gelir. Bu şekilde havaya yayılan basınç dalgaları birkaç salınımdan sonra belli bir değere ulaşır ve daha sonra yine havada ilerlemesine devam eder, bir süre sonra da sönümlenir.

Basınç dalgaları, duyulabilen ve insanlar tarafından gürültü olarak da algılanılabilen çok geniş aralıklı frekansa sahip bir enerjiden oluşmaktadır. dB cinsinden ölçülen ve gürültüye sebep olan basınç dalgalarının frekansları genel olarak 20 Hz'den büyüktür. Gürültü belli seviyelerden sonra hava şokuna dönüşebilmektedir. 20 Hz'nin altında frekansa sahip şok dalgaları ise camlarda şingirdamalara ve evlerdeki eşyaların yerinden oynamalarına neden olarak insanlar tarafından sarsıntı olarak algılanır [40].

#### **1.4.2.1. Basınç Dalgalarının Ölçülmesi**

Hava basınç dalgaları, hem düşük hem de yüksek frekanslı basınç dalgalarını ölçme yeteneğine sahip olan cihazlarla ölçülmelidir. Havanın rüzgarlı olduğu durumlarda rüzgarın kendisi de basınca sahip olduğu için patlatmadan kaynaklanan hava dalgalarının şiddetini kamufle edebilir ve neticede problemlere yol açabilir.

Hava koşullarındaki kontrol ve tahmin edilemeyen yaygın durumlardan dolayı, hava şokundan etkilenebilecek herhangi bir nokta önceden belli bir doğrulukta tahmin edilemez. Bu yüzden herhangi bir patlatma işlemi için hem patlamanın gerçekleşme şekli hem de hava koşulları dikkate alındığında belli bir bölge için belli hava basıncı sınır değerine uyma gibi bir durum pratikte kolay değildir [40].

Patlatma sonucu oluşan basınç dalgalarının ölçümünün yer titreşimlerinin ölçümü ile birlikte yapılması, ocak çevresinde yaşayanlarla ocak çalışanları arasındaki ikili ilişkiler ve uygulamadan kaynaklanabilecek herhangi bir çevresel problemin varlığının tespiti açısından çok önemlidir.

#### **1.4.2.2. Patlatma Tasarımının Hava Şoku Üzerindeki Etkisi**

Açık işletmelerde yapılan patlatmalardan kaynaklanan hava şokunun genel olarak beş ana kaynağı vardır [40]. Bunlar:

1. Yüksek detonasyon hızına sahip infilaklı fitil (detonating cord) kullanımı havada işitilebilir ses dalgaları meydana getirebilir.
2. Sıkılamanın yapılmaması yada iyi yapılamaması enerjinin deliklerden havaya boşalmasına neden olmakta ve dolayısıyla yüksek basınçlı hava dalgaları (hava şoku) oluşabilmektedir.

3. Çok fazla miktarlarda patlayıcının kullanılması durumunda dilim kalınlığı da yetersiz ise çatlaklardan kaçan çok büyük miktarda enerjinin atmosfere boşalması neticesinde yüksek frekanslı basınç dalgaları oluşabilmektedir.

4. Basınç dalgalarının ayna yüzeylerinden kırılmadan yansması şok dalgaları oluşturabilmektedir.

5. Kırılan kayanın kütle halinde ötelenmesi yada patlatmanın sıkışması nedeniyle yerinde bir müddet salınım yapması, havada düşük yada yüksek frekanslı basınç dalgaları oluşturabilir.

İnfilaklı fitilin yeryüzünde kalmış çok az bir kısmı bile havada yüksek frekanslı işitilebilir basınç dalgalarının oluşmasına neden olabilir. Bu yüzden infilaklı fitil kullanılacaksa yeryüzü bağlantılarında mümkün olduğunca kısa tutulmaya çalışılmalıdır ve açıkta kalan kısımların üzeri örtülmelidir.

Sıkılama ise delik içerisinden çıkan uygun malzemeyle yapılmalı ve patlatma teknikleri ile kontrol edilmelidir. Delikten çıkan malzeme eğer çok ince (toz) ve aynı zamanda kuru ise sıkılama için uygun değildir. Bunun yerine küçük köşeli kırıntılar tercih edilmelidir.

Bu şekilde patlatma yapılmadan önce infilaklı fitil ve sıkılama ile ilgili gerekli bütün önlemlerin alındığı konusunda emin olunmalıdır.

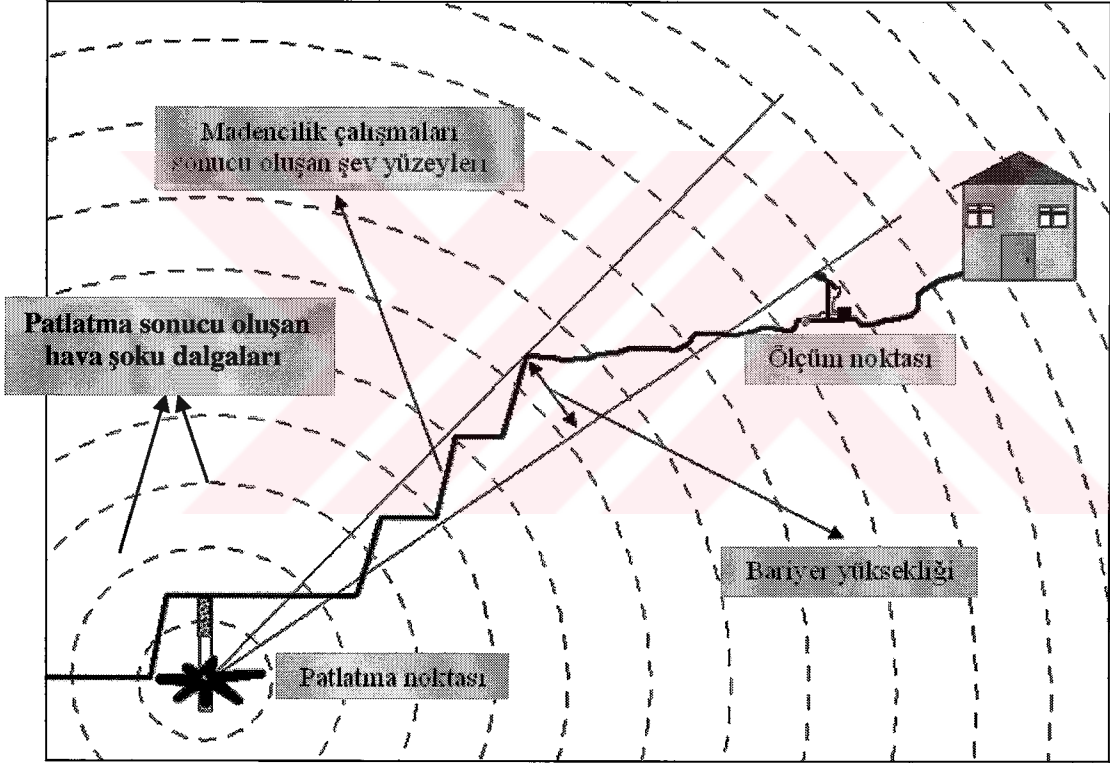
Yetersiz dilim kalınlığı ve delikler arası mesafenin kullanılması durumunda aşırı miktarda patlayıcı kullanımı hem atmosfere gaz boşalımı nedeniyle hava şokuna hem de aşırı miktarda kaya fırlamalarına neden olabilir.

Her bakımdan güvenli, çevreye duyarlı ve ekonomik bir patlatma, patlatma yapılacak basamak ile ayna yüzeyinde iyi bir inceleme yapılmasına ve bunun neticesinde deliklerin uygun bölgelere yerleştirilmesi, deliklerin yine bu bölgedeki kaya yapısına uygun bir şekilde şarj edilmesi ile mümkün olabilir.

#### **1.4.2.3. Topografyanın Etkisi**

Dalga boyunda frekans aralıklarından dolayı meydana gelen değişimler nedeniyle gürültüye nazaran hava şokunun biraz daha belirgin şekilde hissedilmesi, muhtemelen topografik etkenlerden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla patlatma noktası ile yerleşim birimleri yada ölçüm istasyonu arasında bulunan bir topografik engel, gürültü için bir bariyer görevi görmekte fakat hava sarsıntısı üzerinde nispeten daha az etki yapmaktadır

(Şekil 10). Fakat burada önemli olan husus, bariyer vazifesi gören engelin doğal olarak oluşmuş olmasıdır. Çünkü üretim sahasının hemen çevresinde kurulan insan yapımı perde yada akustik tahta perdeler, diğer kaynaklardan gelen seslere karşı bir set vazifesi görerek onların şiddetini azaltıp insanlar için bir bakıma faydalı olduğu halde patlatma kaynaklı hava basıncı etkileri üzerinde önemli bir şiddet azaltıcı etkiye sahip değildir. Ocağın dip kısımlarında yapılan patlatmalarda sabit ve sağlam olan ayna yüzeyleri gürültü niteliğindeki hava basıncı etkilerini azaltıcı yönde etki yapabilmektedir [40]. Aşağıda Şekil 10'da madencilik çalışmaları sonucu oluşan ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasında bariyer vazifesi gören şev yüzeyi görülmektedir.



Şekil 10. Madencilik çalışmaları sonucu oluşan ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasında bariyer vazifesi gören şev yüzeyi.

#### 1.4.2.4. Meteorolojik Etkenlerin Hava Basıncı Üzerindeki Etkisi

Basıncı dalgaları atmosferde yayıldığı için rüzgar, rüzgarın yönü, şiddeti, sıcaklık, nem ve bulut kütlesi, patlatma sahası çevresindeki basınç dalgalarının şiddetini önemli derecede etkilemektedir. Eğer hava çok aşırı durgun ise patlatma ile oluşan basınç

dalgalarının şiddeti büyük ölçüde azalır ve etkisi daha az hissedilir [40] yada rüzgarın yönü ölçüm noktasının tam tersi istikamette ise yine ölçüm noktasındaki etki minimum olur.

Hava koşullarının patlatma yapılacak bölgeye has olması gerekir ve patlatmanın hava basınç etkilerini minimuma indirmek için tam kontrollü patlatma çalışmalarında hava koşulları da kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 1.4.2.5. Hava Şoku ve Gürültüye İnsan Tepkileri ve Yapılar Üzerindeki Etkiler

Patlatma operasyonlarının yapıldığı bölgelerde, 20 Hz'den büyük frekansa sahip olan gürültü yada belli bir değerden sonra hava şokuna dönüşen basınç dalgaları ile, 20 Hz'nin altında frekansa sahip ve camlarda şingirdamalara ve evlerdeki eşyaların yerinden oynamalarına neden olan sarsıntı niteliğindeki hava şoku dalgalarına insanların tepkileri değişkenlik arz etmektedir. Hava şoku etkisinin uzaklıkla azaldığı da bilinmektedir.

Sıradan patlatma operasyonlarından kaynaklanan ve hemen ocak çevresindeki yerleşim birimlerine yakın mesafelerde ölçülen hava basıncı değeri genel olarak 120 dB civarlarında gerçekleşmektedir. 130 dB'lik hava basıncı en az 8 m/sn'lik hızın şiddetine eşit iken, 120 dB'lik hava basıncı değeri de yine saniyedeki hızı 5 m/sn olan sabit bir rüzgar hızı tarafından oluşturulabilmektedir [40].

Genel itibari ile hava titreşimleri ve gürültüye olan insan tepkileri yer titreşimlerine karşı oluşan tepkilerle aynı orjinlidir ve burada önemli olan husus; işletmecilerin çevre sakinleri ile iyi ikili ilişkiler kurması, onları düzenli bir şekilde bilgilendirmesi ve kontrollü bir şekilde patlatma ile kazı çalışmalarını yürütmeleridir.

140 dB'in altındaki ses basınç seviyesinin tipik yapılara etkisi, genellikle pencerelerde, kapılarda ve raflarda duran eşyalarda işitilebilir derecede tıkrıtı oluşturabilmektedir. Havadaki basınç dalgalarının yapılarda değişik hasarlara neden olması için en az 150 dB seviyesine ulaşması gerekmektedir. Genliğin yükselmesi ile 150 dB'de pencereler çatlamaya-kırılmaya başlar. Bir bölgede bulunan yapılara ait pencerelerin çoğu ise 160 dB'deki genlikte kırılacaktır. Binalarda yapısal hasarlar ise 180 dB ve üzerinde oluşmaktadır [13].

Hava basınç dalgalarının ölçüm sonuçları hasar oluşumunun değerlendirilmesi açısından tam bir gösterge olmamakla birlikte [3], aşağıda Tablo 15'te hava basınç dalgaları için sınır değerler yer almaktadır [51].



Tablo 15. Hava basınç dalgalarının neden olabileceği sınır değerler

Hava şoku değeri (dB)	Hasar oluşma olasılığı (%)	Hava şoku etkisi
140	0,01	Hasar oluşmaz-Camlarda tıkrıtı
150	0,5	Çok nadiren hasar oluşumu
160	20	Çoğunlukla hasar oluşumu
180	95	Kesinlikle hasar oluşumu

Gürültüden kaynaklanan problemler kişisel rahatsızlıklar ve diğer psikolojik şikayetler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Sürekli olan bir gürültünün verdiği rahatsızlık ile aniden oluşan bir gürültünün verdiği rahatsızlık aynı değildir. Günlük olaylardaki ses basınç değerleri Tablo 16’da verilmiştir [51].

Tablo 16. Günlük olaylardaki ses basınç değerleri

Ses basınç düzeyi (dB)	Sesin kaynağı	Sesin algılanma düzeyi
130	Rahatsızlık başlangıcı	Tahammül edilemez, son derece yüksek
120	Rock konseri	
110	Çelik fabrikası	
100	Yüksek sesli araç kornası(3m)	Çok gürültülü
90	Delicilerin kullanıldığı inşaat alanı	
80	Cadde trafiği	Gürültülü
70	Yüksek sesli radyo veya televizyon	
60	Alışveriş merkezi	Makul seviye, sakin, dingin
50	Mağaza, dükkan	
40	Özel ofis	
30	Yatak odası	Çok sessiz, sakin
20	Boş ses kayıt stüdyosu	

### 1.4.3. Toz

Açık ocak madenciliğinde toz kaynakları genel olarak; cevherin üzerindeki organik toprak ve dekapajın kazısı ve stoklanması sırasındaki çalışmalar, delik delme işlemi ve patlatma işlemleri, dozer ile kazı çalışmaları, yükleme ve boşaltma bölgeleri, cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri öncesinde kırma ve stoklama, saha içinde ve dışında bant konveyör yada kamyon, skreyper, loader vb. taşıyıcı ekipmanlarla cevher yada dekapaj malzemesi taşınması ve rehabilitasyon çalışmaları için örtü malzemesinin tekrar yerleştirilmesi olarak sıralanabilir. Delme ve patlatma işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonunu minimum seviyeye çekmek için [40];

1. Deliklerin gerekli basamak ve ayna incelemelerinden sonra yerleştirilmesi, patlayıcının bu doğrultuda şarj edilmesi,

2. Sıkılamanın yeterli düzeyde ve dikkatli bir şekilde yapılması, böylelikle atmosfere yüksek hızda gaz boşalmasını engellemek,
3. Patlayıcı maddeyi etkileyerek atımın kırma verimini düşürmeyecek ve yüzey bağlantılarında sorun oluşturarak patlatma işlemi için engel teşkil etmeyecek şekilde, patlatma bölgesinin atım öncesinde sulanması,
4. Uygun malzemenin patlatılması durumunda özel olarak dokunmuş hasırların (kenevir veya jüt) patlatma sahası üzerine serilmesi,
5. Toza hassas bölgelerde delici ekipmandan çıkan tozun fiskiyelele bastırılması işlemleri yapılabilir.

#### **1.4.4. Kaya Fırlamaları**

Kaya fırlamaları yada taş savrulması, patlayıcı madde enerjisinin etkisiyle parçalanmış kaya kütlelerine ait parçaların, saha sınırlarını aşarak uzak mesafelere atılmasıdır.

Genel itibari ile kaya fırlamaları [40]:

1. Yetersiz sıkılama ve deliklere aşırı miktarda patlayıcı şarjı yapılması,
2. Kaya kütleleri ile patlayıcı arasındaki uyum problemi,
3. Patlatma için deliklerin delinmesinden önce patlatma sahasında ve ayna yüzeyinde çatlak varlığına dair birtakım incelemelerin yapılmaması ve deliklerin buna göre delinip uygun bir şekilde şarj edilmemesi,
4. Ateşçi ve delici operatörünün iş eğitiminin ve sorumluluk bilincinin yeterli düzeyde olmaması,
5. Delme esnasında deliklerin değişik yönlere doğru değişik açılarda sapması ve bir noktada gereğinden fazla patlayıcı yükünün oluşması ve yine ayna yüzeyinin diplerine doğru yük mesafesinin azalması,
6. Gecikmeli kapsül kullanılmaması yada gecikmeli kapsül kullanılmasına rağmen gecikme aralıklarının doğru bir şekilde verilmemesi,
7. Kalker gibi  $\text{CaCO}_3$  içeren bazı kaya yapılarında karstik boşlukların var olması ve yanlışlıkla aşırı miktarda patlayıcı ile şarj edilmesi,
8. Tabakalı yapıların bulunduğu durumlarda kırma işlemini bu bölgede de gerçekleştirmek için sıkılama bölgesinin kasten patlayıcı madde ile doldurulması yada deliklerin dikkatsizlik sonucu tamamen patlayıcı ile doldurulması,

9. Sıkılama bölgesindeki kaya yapısının aşırı miktarda zayıf yada gevşek olması gibi nedenlere bağlı olabilir.

Patlatmalı kazının yapıldığı yerde kaya fırlamalarını tamamen engellemek mümkün değildir. Ancak gerekli önlemlerin alınması durumunda kaya fırlamalarındaki olay sayısı önemli derecede azalabilir. Kaya fırlamalarını engellemek için yukarıdaki dokuz maddenin göz önünde bulundurulmasının yanında, aşırı riskli bölgelerde patlatılacak kütlenin hemen üzerine çelik hasır yada dayanıklı perdeler yerleştirilebilir.

Patlatmalı kazı çalışmaları eğer yerleşim birimlerinin olduğu hassas bölgelerde yapılacaksa, kaya fırlamaları için güvenli uzaklığın hesaplanmasına ve buna göre güvenli sınırların oluşturulmasına yönelik gerekli hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Bu şekilde uygun çap ve boyuttaki deliklerin, yük mesafesinin, delikler arası mesafenin, uygun patlayıcı tipi ve patlatmayı başlatıcı sistemin belirlenmesi ile birlikte uygun çalışma yönü, basamak yüksekliği ve basamak açısını içeren kontrollü ve hassas kazı çalışmaları yapılabilir.

Çeşitli araştırmacılar kaya fırlamaları ile ilgili araştırmalar yapmıştır. Bunlardan maksimum fırlama mesafesini belirlemeye yönelik delik çapı ve özgül şarjı esas alan yaklaşım aşağıda verilmiştir [53].

Patlatma sonucunda delik çapını esas alan maksimum kaya fırlama mesafesi;

$$L_{\max} = 260 \times d^{0.67} \quad (9)$$

formülü yardımı ile hesaplanır. Burada;

L ; maksimum fırlama mesafesini, m

D ; delik çapı, inç'tir.

Delik çapının yanında özgül şarjı da içeren tahmin yöntemi ise;

$$L = 143 \times d(q-0.2) \quad (10)$$

Eşitliğidir. Burada;

L: maksimum fırlama mesafesini, m

d: delik çapını, inç

q: özgül şarj,  $\text{kg/m}^3$  ifade etmektedir.

Gerekli önlemlerin alındığı ve kontrollü patlatmaların yapıldığı durumlarda kaya fırlama mesafesinin azalacağı yapılan denemelerle ortaya konulmuştur [53].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

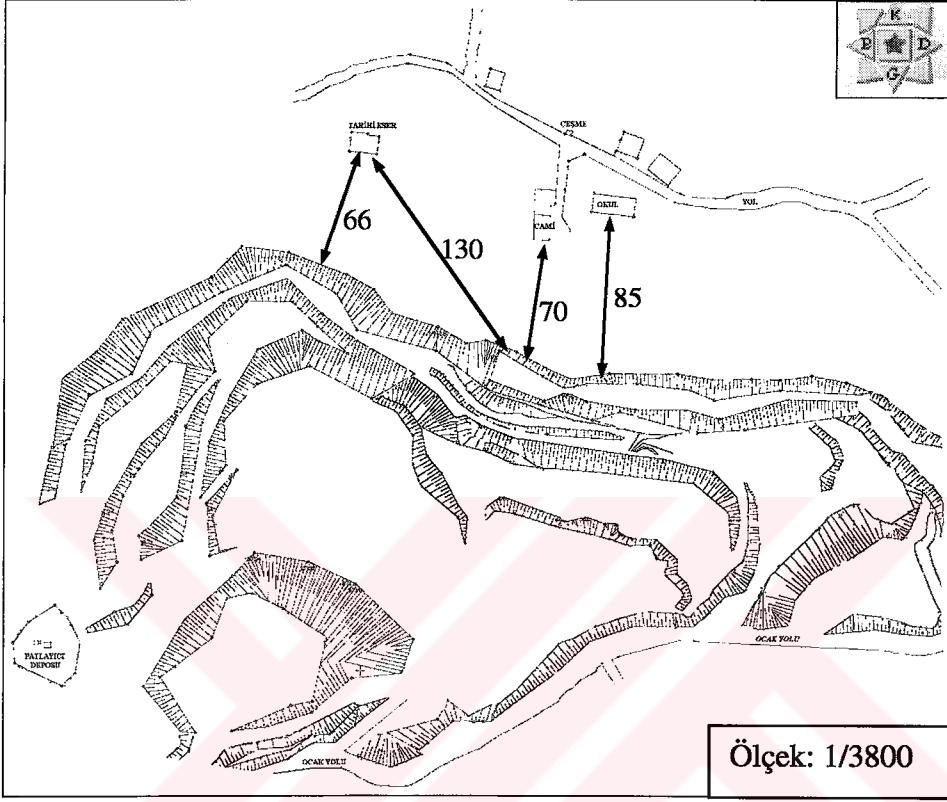
### 2.1. Giriş

Bu çalışma; Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü köyü hudutlarında bulunan İR-3394 nolu Trabzon Çimento Sanayii T.A.Ş.'ye ait kalker sahasında adı geçen firmaya çimento hammaddesi temini amacı ile işletilen kalker ocağının patlatmalı kazı ile üretimi esnasında, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi patlatma sonrasında ortaya çıkan çevresel unsurların, ruhsat sınırları çevresinde bulunan tarihi eser, okul, cami ve diğer yapılar üzerindeki hasar seviyesinin belirlenmesine ve bu etkileri ya ortadan tamamen kaldıracak yada minimuma indirecek atım dizaynının geliştirilmesine yönelik yapılmıştır. Çalışma çok uzun soluklu olup, yaklaşık 28 aylık bir sürede gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle kalker ocağında ve çevresinde inceleme ve gözlemler yapılmış, ocak çevresindeki yapılaşma durumu ile yapıların ocak sınırına olan uzaklıkları belirlenmiştir (Şekil 11). Kalker ocağında (Şekil 12) yapılan patlatmaların oluşturduğu titreşim ve hava şokunun etkilerini belirlemek ve değerlendirmek amacıyla bu çalışma boyunca 12.05.2003-14.09.2005 tarihleri arasında ocak çevresinde belirlenen 11 istasyonda toplam 73 adet patlatma ölçümü gerçekleştirilmiştir. 73 ölçüme ait toplam 59 adet patlatmaya Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait olan Instantel Minimate marka titreşim ölçer cihazları (Şekil 14) ile eşlik edilmiştir. Saha çevresinde Okul, cami ve tarihi eser (Şekil 13) gibi hassas yapıların bulunması ve bölgedeki formasyonun çok değişken olması nedeniyle çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce ilk 31 adet ölçüm değerlendirmeye alınmış, sonra ilk 31 ölçüm ile birlikte 32-49 arasındaki 18 adet ölçüm değerlendirilmiş ve son olarak 24 adet ölçüm alınmış ve ilk iki aşamadaki 49 adet ölçüm ile birlikte veriler toplu olarak detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Birinci aşama Kasım 2003 [54], ikinci aşama Kasım 2004 [22], üçüncü aşama ise Eylül 2005 [23] tarihinde Maden Mühendisliği Bölümü'nce yürütülen 3 ayrı proje kapsamında tamamlanmıştır.

Birinci aşamada ocakta yapılan ilk 25 atım mevcut hali ile izlenmiş ve yapılan istatistiksel analizler neticesinde daha sonraki 6 atım, geliştirilen yeni patlatma tasarımına göre gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada önerilen patlatma tasarımına paralel olarak ocakta gerçekleştirilen patlatmalara eşlik edilmiş ve patlatmaların kontrollü bir şekilde

sürdürülmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Üçüncü aşamada ise ocak çevresinde patlatmadan etkilenebilecek bölgeye özgü patlatma dizaynının geliştirilmesiyle daha hassas ve kontrollü patlatmaların gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 11. Yerleşim birimlerinin son durum itibarı ile ocağa olan mesafelerinin plan görünüşü [18].



Şekil 12. Trabzon Çimento Sanayii T.A.Ş.'ye ait kalker sahası.



Şekil 13. Kalker sahası sınırına yaklaşık 66 m mesafede bulunan tarihi Hacı Molla konağı.



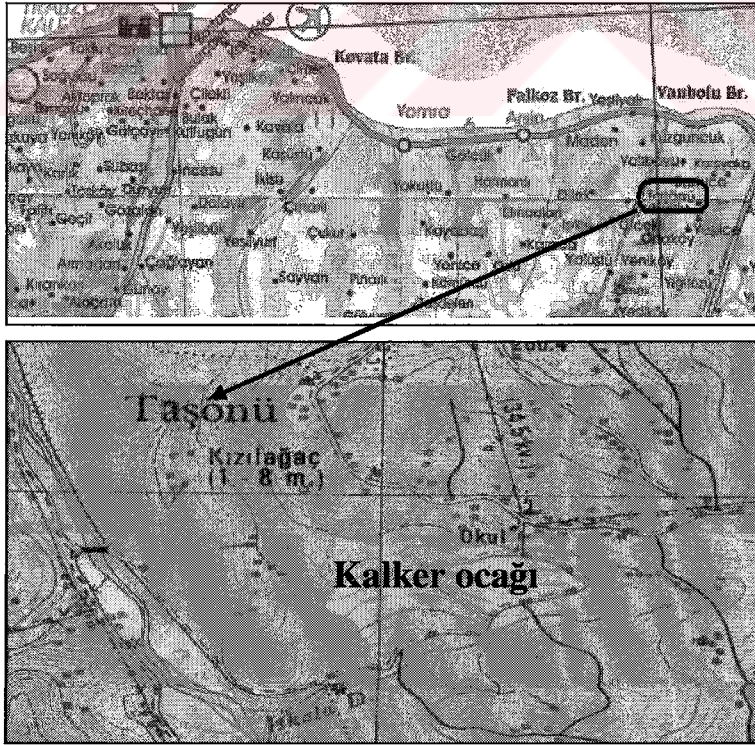
Şekil 14. InstanTEL Minimate Plus Model titreşim ölçer cihazı ve donanımı.

## 2.2. Bölgenin Coğrafi Yapısı ve Jeolojisi

Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü köyü hudutlarında bulunan kalker sahası, Trabzon'un 40 km doğusunda, deniz seviyesinden yaklaşık 175 m [55] yükseklikte, Araklı İlçesi'nin yaklaşık 5 km güney batısında, Yanbolu deresi içi, Kaymaz Mahallesi'nin 1500 m kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 15). Ruhsat sınırları içerisinde bulunan ve üretim yapılmayan bölgelerde, çevrede yaşayan köylüler mısır vb. ziraat ürünleri yetiştirmektedir.

Karadeniz bölgesi genel olarak üst kretase volkanik fasiyesi, andezitik ve bazaltik lavlardan, volkanik tüf ve aglomeradan oluşan kalın bir örtü halindedir. Eosen volkanik fasiyesinde kil, marn ve kalkerler, volkanik tüf, aglomera ve lavlarla değişen kalınlıkta tabakalar halinde bulunurlar. Adeseler halindeki kalkerler genellikle dolomitik yapıdadır. Pliosen'in karasal oluşumları ise, sahil boyunca alüvyon depoları halinde bulunur [18].

Taşönü kalker ocağı hammadde sahası genellikle marn, marnlı kalker, kalker ve travertenden oluşmakta olup, bazı bölgelerde karstik boşlukların bulunduğu, ayrıca bölgede eskiden manganez madeninin galeri açılarak işletildiği bilinmektedir. Kalker ocağına ait numunelerin özgül ağırlık değerleri Tablo 17'de verilmiştir.



Şekil 15. Üretim yapılan Taşönü köyünün coğrafi konumu, [18, 56].

Tablo 17. Kalker ocağında bulunan formasyonlara ait özgül ağırlık değerleri.

Formasyon Cinsi	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Marn	2.156
Marnlı Kalker	2.346
Kalker	2.072
Traverten	1.735

### 2.3. Ocak Çevresinde Yapılaşma Durumu

Köy yapılarının takriben %10 kadarı betonarme özellikte, bazıları tamamen blok taşlı, bazıları ise temeli yığma blok taşlı ahşap evlerdir (Şekil 16). Yapıların genelinde kiriş-kolon gibi taşıyıcı elemanlar olmadığından, evlerin temeli yığma veya moloz taşlardan inşa edilmiştir. Köy ilkokulu ve birkaç yapının projeli olduğu gözükmektedir.



Şekil 16. Ocak çevresinde bulunan yığma temelli, ahşap ev [18].

Köydeki birçok yapıda zaman içerisinde bazı çatlaklar oluştuğu görülmektedir. Bu çatlakların (Şekil 17) büyük bir kısmının ocakta daha önceden yapılan kontrolsüz büyük atımlardan, uygun olmayan inşaat tekniğinden, atmosferik olaylardan (yağmur-kar sularının iyi drene edilememesi) ve yapıların zamanla taşıyıcı özelliklerini kaybetmesinden dolayı oluştuğu söylenebilir. Ölçüm alınan istasyonlara ait yapıların özellikleri ve istasyon numaraları aşağıda Tablo 18’de verilmiştir.





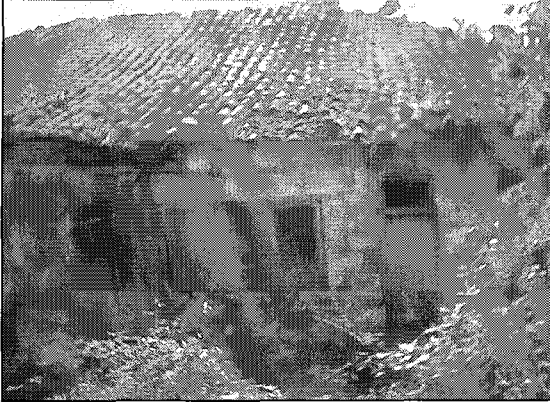
Şekil 17. İkamet edilen bir evin balkonundaki çatlak [18].

Tablo 18. Ölçüm alınan istasyonlardaki yapıların genel özellikleri [18].

Ölçüm İstasyonu	İstasyon Koordinatları (m)			Özellikler
	X	Y	Z	
İstasyon 1	85301	31908	160	1980 yapımı, 3 katlı, eski sıvalı,
İstasyon 2	85178	31741	159	1890 yapımı, tek katlı, bina tamamen eski ve yığma taşlardan oluşmuş ve tarihi eser kapsamında.
İstasyon 3	85327	31886	158	1995 yapımı, yeni, tek katlı ve projeli, bazı yerlerinde çatlaklar mevcut
İstasyon 4	85354	31918	162	1956 yapımı, 2 katlı, ahşap, projesiz, binada aşırı derecede çatlaklar mevcut, ayrıca tuğla kesmesi var,
İstasyon 5	85371	31899	161	1956 yapımı, 2 katlı, aşırı miktarda sıva düşmeleri, ayrıca giriş kesmeleri var, balkonlarda çatlamlar mevcut, en hasarlı binalardan bir tanesi
İstasyon 6	85351	32047	189	1996 yapımı, 2 katlı, tavan ve duvarlarda çatlaklar mevcut.
İstasyon 7	85258	31957	159	1973 yapımı, tek katlı, daha önceki patlatmalardan kaynaklanan pencere camı kırıkları mevcut, duvarlarda fazla bir çatlak görünmüyor.
İstasyon 8	85462	31900	163	1972 yapımı, 2 katlı yığma ev, içeride ve dışarıda aşırı derecede çatlaklar mevcut
İstasyon 9	85489	31897	168	Yapımı henüz tamamlanmamış, betonarme ve projeli, ev yeni olduğu için hiçbir çatlak mevcut değil
İstasyon 10	85367	31999	176	Tek katlı, bina tamamen eski ve yığma taşlardan yapılmış. Binanın ek kısımlarında aşırı derecede kesmeler mevcut
İstasyon 11	85324	31360	112	2000 yapımı, betonarme, iki katlı, tavanda çatlaklar mevcut

## 2.4. Kalker Ocağına Ait Genel Bilgiler

Daha önce, kalker ocağında yapılan üretimlerin bölge halkının kurduğu bir kooperatif tarafından sürdürüldüğü, önceki ocak üretimlerinde ilkel bir metod olarak bilinen galeri ateşlemelerinin yapıldığı ve ateşlemede bir defada çok fazla miktarda patlayıcı kullanılarak kontrolsüz patlatmalar yapılarak çalışıldığı köylüler tarafından dile getirilmektedir. Yapmış olduğumuz ön etütlerde, yapıların çoğunda tuğla kesmeleri, sıva çatlakları ve yığma duvarların hasar görmesi gibi gözlemlerimiz olmuştur (Şekil 18).



Şekil 18. Blok taşlı duvarda zamanla meydana gelen deformasyon

Ocakta üretim açık işletme metodu ile yapılmakta, kayaçların kazısı delme-patlatma ile gerçekleştirilmekte, en alt basamak taban kotu ortalama 75 m, en üst basamak kotu ortalama 145 m olup mevcut toplam 6 adet üretim basamağı bulunmaktadır (Şekil 22).

Kalker ocağında her bir basamağın yükseklikleri kendi içinde değişmekle birlikte ortalama yükseklikleri: 1. basamağın 15 m, 2. basamağın 17 m, 3. basamağın 20 m, 4., 5. ve 6. basamakların ki ise 8 m'dir. Basamak şev açıları ortalama  $80^\circ$  'dir. Delikler vagon-drill yardımı 76 mm çapında delinmektedir. Ocakta üretilen kalker bir ekskavatör vasıtası ile kiralık kamyonlar tarafından çimento fabrikasına taşınmaktadır.

Mevcut yapılan atımlara en yakın yapı olarak cami, okul, öğrenci yurdu bulunmaktadır. Bunların en yakın üst basamağa (1. basamak) uzaklığı ortalama 66-85 m arasındadır.

3213 No. lu Maden Kanununun 7. maddesine (Binalara ufken 60 metre, avlu, bağ ve bahçelere 20 metre mesafede maden araması ve işletilmesi mülk sahibinin iznine bağlıdır) göre, yapılara karşı emniyet mesafesi olarak 60 metrelik bir koruma bandı çekilmiştir.

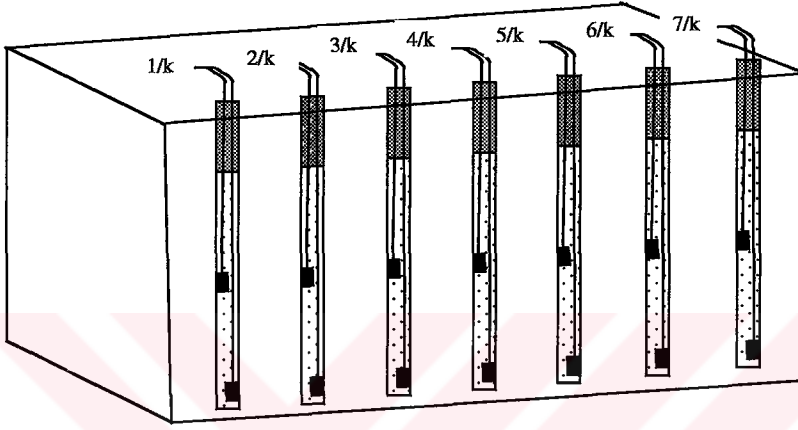
Ocakta yer altı su seviyesi yağışlarda yükselmekte olup, ocağın en alt basamağında atım öncesinde delikler içinde yer yer yaklaşık 1-3 m arasında su seviyesi görülebilmektedir.

## 2.5. Kalker Ocağının Mevcut Durumdaki Üretim Sistemi

Kalker ocağında üretim sistemi delme patlatma ile yapılmaktadır. Delikler normal olarak dik açılmakla birlikte bazen yük mesafesinin fazla olduğu yerlerde şeve paralel olarak da açılmaktadır. Ocakta patlatma tek sıra halinde oluşturulmuş deliklerin (Şekil 19

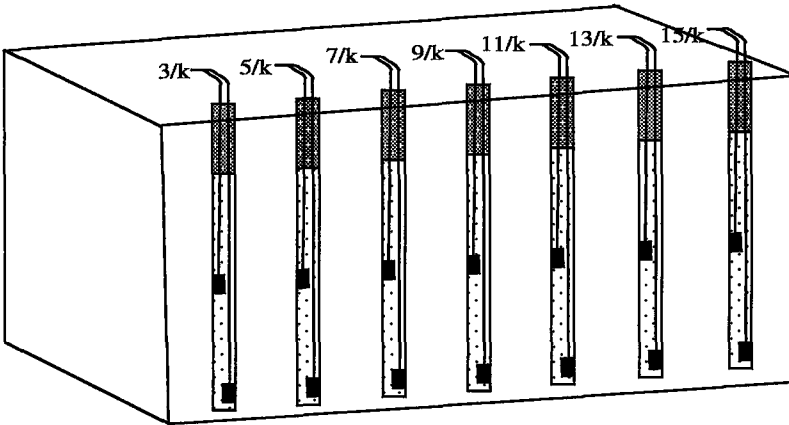
ve Şekil 20) gecikmeli bir şekilde patlatılması ile gerçekleştirilmektedir. Kalker ocağında yapılan atımların tasarım parametreleri Tablo 25'te özet olarak verilmiş ve bir patlatma deliğinin patlatma işleminden önceki durumu Şekil 21'de gösterilmiştir.

Şekil 19'da ocakta uygulanan ve proje ekibi tarafından müdahale edilmeden izlenen ve titreşim parametreleri incelenen ilk 25 atıma ait tasarım görülmektedir. Bu atımlarda delik boyları 12 m, sıkılama miktarı  $>2$  m ve kapsül gecikme aralıkları 30 milisaniyedir.



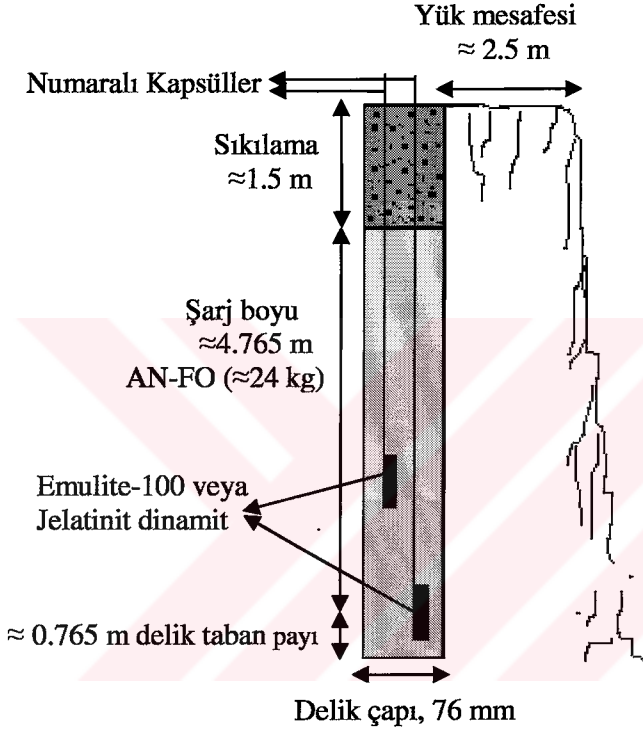
Şekil 19. Ocakta yapılan ilk 25 atıma ait patlatma paterni.

İlk 25 atımdan sonra geliştirilen yeni tasarımda delik boyları 6 m, sıkılama miktarı 1.5-2 m ve kapsül gecikme aralıkları 60 milisaniye olarak ayarlanmıştır (Şekil 20). Ocakta ilk 25 atımdan sonra yapılan atımlar, oluşturulan yeni atım paternine göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 20. Ocakta ilk 25 atımdan sonra geliştirilen atım paterni.

Basamak 5 ve 6'da yapılan atımlarda, deliklerin içinde su bulunduğu durumlarda, su seviyesini aşıncaya kadar Emülit-100 ile, geriye kalan kısım ise ANFO ile şarj edilmektedir. Ocakta yapılan atımların özgül şarjları ortalama  $0.783 \text{ kg/m}^3$ , delik başına ortalama şarj 24 kg, özgül delme  $0.204 \text{ m/m}^3$  (AN-FO delik içi yoğunluğu  $0.82 \text{ gr/cm}^3$ ) olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 21. 6.5 metre boyundaki bir patlatma deliğine ait genel veriler

### 2.5.1. Ocakta Kullanılan Ateşleme Sistemi

Ocakta atımlar manyeto ile gecikmeli ve gecikmesiz (kapsül sayısının yetersiz olduğu ender patlatmalarda) ateşleme ile yapılmaktadır. Yapılara yakın olan basamaklarda ateşlemeler elektrikli gecikmeli kapsüllerle ve bazı durumlarda da uzak mevkilerde elektrikli gecikmesiz kapsüllerle yapılmaktadır. Gecikme aralığı 30 ms olan elektrikli kapsüller kullanılmakta ve bu kapsüllere ait teknik bilgiler Tablo 19'da görülmektedir [57].

Tablo 19. 30 ms gecikme aralıklı elektrikli kapsüllere ait teknik bilgiler

Gecikme Zaman No. su	Kapsül Dip Markalaması	Gecikme Zamanı	Kapsül Çapı	Kapsül Boyu
1	1/K	30 ms	6.33 mm	56 mm
2	2/K	60 ms	6.33 mm	56 veya 59 mm
3	3/K	90 ms	6.33 mm	59 mm
4	4/K	120 ms	6.33 mm	56 veya 62 mm
5	5/K	150 ms	6.33 mm	62 mm
6	6/K	180 ms	6.33 mm	65 mm
7	7/K	210 ms	6.33 mm	65 veya 68 mm
8	8/K	240 ms	6.33 mm	68 veya 71 mm
9	9/K	270 ms	6.33 mm	71 veya 74 mm
10	10/K	300 ms	6.33 mm	74 mm
11	11/K	330 ms	6.33 mm	77 mm
12	12/K	360 ms	6.33 mm	77 veya 80 mm
13	13/K	390 ms	6.33 mm	80 veya 83 mm
14	14/K	420 ms	6.33 mm	83 veya 86 mm
15	15/K	450 ms	6.33 mm	86 veya 89 mm
16	16/K	480 ms	6.33 mm	89 mm

### 2.5.2. Ocakta Kullanılan Patlayıcıların Özellikleri

Kalker ocağında yapılan atımlar esnasında iki tip patlayıcı ürün kullanılmaktadır. Bunlar; yemleyici veya başlatıcı olarak Emülite-100 (60x220) ve Jelatinit dinamit, esas patlayıcı olarak ise ANFO'dan oluşmaktadır. Patlayıcıların özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Emulite-100:** Emulite, su bazlı, plastik özellikte (kıvamda) patlayıcıdır. Herhangi bir toksik madde içermez, baş ağrısı veya kanın bozulması gibi tıbbi rahatsızlık vermez. Yapısında Nitrogliserin, TNT ve diğer tehlikeli hammaddeleri içermediğinden kullanımı diğer patlayıcılara nazaran çok daha emniyetlidir. Patlama esnasında içerisindeki hammaddeler tam olarak yandığından patlama gücünün tam olarak kullanılmasına olanak tanır ve patlatmalardan oluşan zehirli gazların minimum seviyelere inmesini sağlar. Kapsüle duyarlı nitrogliserin bazlı patlayıcılara nazaran daha ekonomiktir. Çeşitli çap ve ağırlıklarda üretildiğinden kullanıma hazır haldedir. ANFO ve yemlemeye duyarlı patlayıcılar için ideal bir yemlemedir. Delik çaplarına uygun hazır kartuşlara kapsül takılarak patlatma deliklerine yerleştirilir. Teknik özellikleri, kartuş boyut ve ağırlıkları sırasıyla Tablo 20 ve 21'de verilmiştir (URL-1). Emulite 100'ün özellikleri:

- Sudan etkilenmemesi,
- Depolanmasının kolay olması,
- 8 no'lu kapsül ile patlamak üzere formüle edilmiş olması,

- Yapısında TNT ve Nitrogliserin gibi kimyasal madde içermediği için sağlık problemleri oluşturmaması,
- Isı değişikliklerinden etkilenmemesi, (-25°, +50°),
- ANFO doldurulan her çaptaki delik için ideal bir yemleme olması,
- Nitrogliserinli bazlı dinamitlere göre daha emniyetli ve ekonomik olması.

Tablo 20. Emulite-100 teknik özellikleri [18].

Teknik Özellikleri	Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Patlama Hızı (m/sn)	Patlama Basıncı (kb)	Suya Direnci	Dinamite Göre	ANFO'ya göre
Emulite 100	1.15	5500-5800	74	Mükemmel	96	107

Tablo 21. Kullanım durumuna göre Emulite-100 boyut ve ağırlıkları [18].

Boyut (mm)	Kartuş Ağırlığı (gr)	Kutu içindeki kartuş sayısı (Adet)	Kutu Ağırlığı (kg)
50x270	625	32	20
60x220	740	27	20
60x270	910	22	20
70x220	1000	20	20
90x270	2000	10	20

**Jelatinit Dinamit:** Jelatinit Dinamit genellikle; ANFO'nun yemlenmesinde (başlatıcı olarak), yeraltı ve yerüstü patlatma operasyonları, sert kayaların parçalanması, maden ve taş ocakları, Nemli ve sulu ortamdaki patlatmalar ve genel amaçlı patlatmalar için kullanılmaktadır. 1kg Jelatinit dinamitin gücü 1.20 kg kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı gücüne eşittir. Diğer bir deyişle yemleyici olarak kullanılan dinamit miktarı her koşulda emülsiyon patlayıcıdan %20 oranında daha az tüketilecektir. Kalker ocağında 25 mm kartuş çaplı Jelatinit dinamit (patlama hızı, 6200 m/sn) kullanılmaktadır. Teknik özellikler Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. Jelatinit Dinamite ait Teknik Özellikler [18].

Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	İdeal patlama hızı, m/s	Patlama basıncı, GPa	Suya dayanıklılık
1.50	7527	23.271	Çok iyi

**Anfo:** Etkin, ucuz ve basit bir patlayıcı olan ANFO, günümüzde kaya patlatması yapılan işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. ANFO'nun en büyük dezavantajı, suya

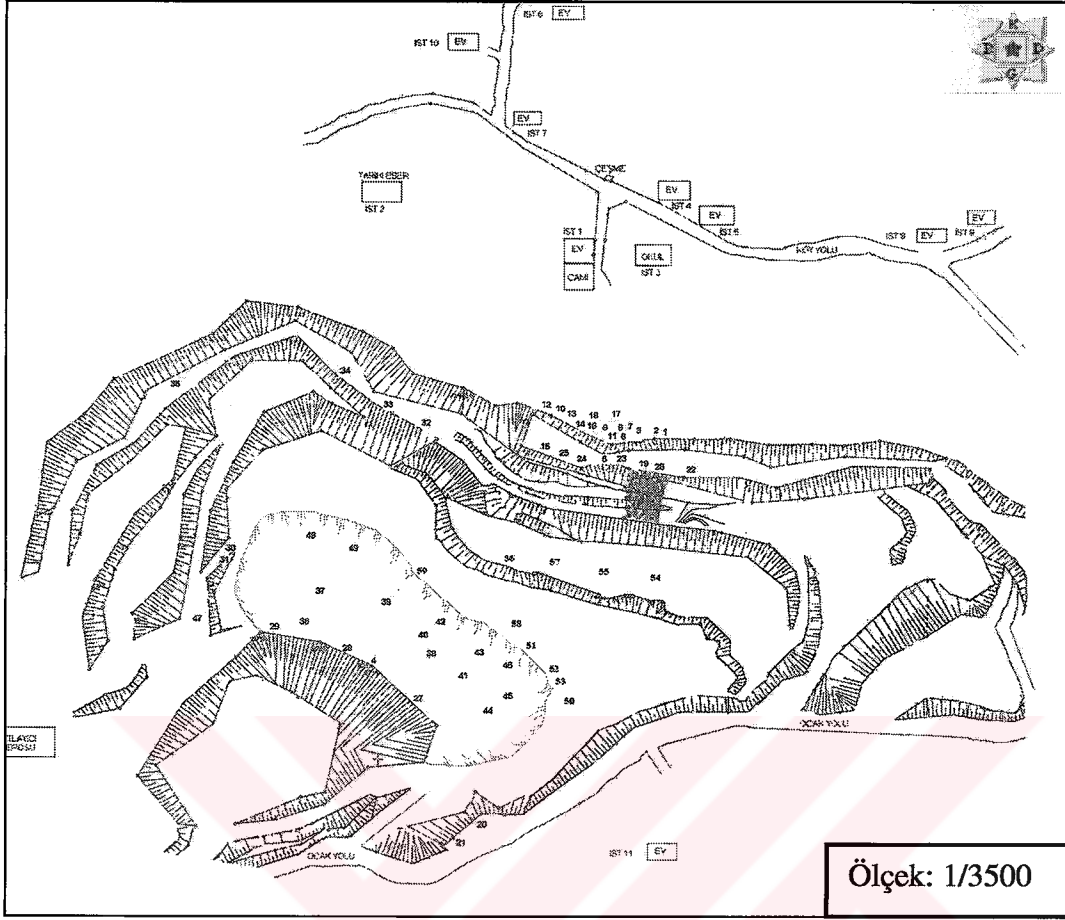
dirençli olmamasıdır. Patlama deliklerinde bulunan su, amonyum nitratı çözerek ANFO'nun özelliklerini bozmakta ve patlatma performansı olumsuz olarak etkilenmektedir. Delikteki su miktarı kullanılan ANFO'nun %10'u kadar olduğunda patlama olmamaktadır. ANFO yalnız kuru ortamlarda veya patlayıcının kuru kalacağı önlemlerin alındığı ortamlarda kullanılmalıdır. Sulu patlatma deliklerinde plastik torbalara konularak yapılan bir şarjlama, torbaların yırtılma ihtimali ve delikte tam bir temas sağlanamaması nedeniyle verimli olmamaktadır. Ayrıca plastik torbalar, statik elektrik birikimine neden olduğundan elektrikli kapsüller ile yapılan atımlarda tehlike arz etmektedir. Özellikleri Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. ANFO teknik özellikleri [18].

Teknik Özellikleri	Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Patlama Hızı (m/sn)	Patlama Enerjisi (MJ/Kg)	Suya Direnci	Raf Ömrü (Ay)
Anfo	0.79-0.82	3500-4300	3.9	Yok	6

## 2.6. Çalışmada İzlenen Yöntem

Çimento fabrikasına hammadde temin amacı ile işletilen kalker ocağının üretimi sırasında patlatma çalışmaları gerçekleştirilirken çevreye (cami, okul, tarihi eser ve yerleşim yerleri) olası hasar düzeyini belirlemek amacıyla, titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları bilgisayar destekli data değerlendirme ünitesine aktarılmış ve kayıtların; uluslararası standartlarla karşılaştırılarak hasar normları içindeki yeri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sahada gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçları, regresyon analizine tabi tutularak, kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri belirlenmiştir. Şekil 22'de çalışılan basamaklar ile ölçüm alınan istasyon ve atım yapılan noktalar gösterilmiştir.



Şekil 22. Kalker sahasında yapılan atımların yerleri ve ölçüm istasyonlarının görünüşü

## 2.7. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirme

### 2.7.1. Ölçüm Sonuçları

Patlatmalı kazı esnasında istasyonlarda alınan 73 adet ölçümün sonuçları; her bir atım için parçacık hızı bileşenleri (enine-PTV, düşey-PVV, boyuna-PLV, maksimum-PPV), maksimum frekans, hava şoku, yer değiştirme ve ivme, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarları ve ölçekli mesafe (SD) değerlerini içerecek şekilde Tablo 24'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Sahada gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının; şu ana kadar ocak genelinde alınan toplam 73 adet ölçümün 23 adeti İstasyon 1'de, 18 adeti İstasyon 2'de, 16 adeti İstasyon 3'te, 7 adeti ocak girişinin sağ tarafında bulunan (ev) İstasyon 11'de ve kalan 9 ölçüm ise diğer istasyonlarda yapılmıştır.



Tablo 24. Yapılan atırlara ait ölçüm sonuçları

Ölçüm Tarihi	Ölçüm No	Delik Sayısı	Parçacık Hızı (mm/sn)			Yer titreşim Frekansısı (Hz)	Maks. Hava Şoku (dB)	Hava Şoku Frekansısı (Hz)	Maks. Yer Değişirme (mm)	Maks. İvme (g)	Gec. Baş. Top. Pat. (kg)	Top. Pat. (kg)	Uzaktık (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD) R/W <sup>1/2</sup>		Atrım Basamağı
			Erişim	Düşey	Boyuna									Maks.	Ölçüm İst.	
12.05.2003	1	5	7.49	4.44	14.1	14.1	110.2	9,3	0.140	0.159	51.4	257	118	16.46	1	1
14.05.2003	2	5	6.60	7.87	9.78	9.78	115.7	11	0.137	0.079	54	270	110	14.97	4	1
22.05.2003	3	5	12.4	5.71	12.3	12.4	125.1	10	0.137	0.199	52.6	263	99	13.65	3	1
25.05.2003	4	13	4.79	2.02	5.46	5.46	115.0	12	0.042	0.066	690	690	405	15.42	6	5
15.07.2003	5	Patır	8.38	2.67	17.4	17.4	123.3	10	0.159	0.199	59	177	120	15.62	1	2
15.07.2003	6	6	15.6	5.84	20.1	20.1	117.5	7,1	0.167	0.212	53	318	107	14.69	1	1
16.07.2003	7	6	6.73	2.79	6.48	6.73	117.5	8,7	0.052	0.119	52	312	162	22.46	7	1
16.07.2003	8	6	5.59	2.29	10.5	10.5	118.3	17	0.089	0.172	52	312	155	21.49	7	1
18.07.2003	9	3	7.7	8.13	15.7	15.7	120.1	11	0.197	0.186	52	156	143	19.83	4	1
18.07.2003	10	6	48.8	10.7	16.0	48.8	120.2	15	0.558	0.835	52	312	131	18.17	5	1
20.07.2003	11	5	3.30	1.27	2.16	3.30	112.0	7,1	0.046	0.039	52	260	212	29.43	8	1
20.07.2003	12	6	2.29	0.76	1.40	2.29	115.0	6,8	0.015	0.079	52	312	230	31.92	9	1
24.07.2003	13	6	31.4	8.51	31.9	31.9	119.3	14	0.252	0.451	52	312	105	14.56	1	1
24.07.2003	14	3	36.8	12.2	40.1	40.1	116.9	19	0.319	0.610	52	156	96	13.31	1	1
28.07.2003	15	Patır	12.8	4.95	18.7	18.7	132.4	7,6	0.168	0.225	136.5	136.5	131	11.22	1	2
28.07.2003	16	6	25.7	6.35	26.9	26.9	120.4	10	0.248	0.398	52	312	100	13.86	1	1
26.09.2003	17	5	5.33	2.54	3.68	5.33	109.5	2,8	0.074	0.053	46.5	232.5	203	29.76	10	1
27.09.2003	18	5	5.84	4.57	2.67	5.84	115.9	7	0.049	0.093	46.5	232.5	140	20.53	2	1
02.10.2003	19	4	9.91	3.30	6.98	9.91	114.0	6,1	0.073	0.212	65	260	95	11.78	3	2
03.10.2003	20	5	5.71	3.17	3.17	5.71	116.9	8,8	0.068	0.093	64	320	142	17.75	11	Yk
03.10.2003	21	5	5.59	3.30	4.06	5.59	116.7	7,3	0.053	0.079	64	320	147	18.375	11	Yk
09.10.2003	22	5	1.65	1.78	2.29	2.29	114.6	11	0.037	0.026	51.5	257.5	175	24.38	2	2
09.10.2003	23	5	20.3	5.59	14.5	20.3	112.8	6,2	0.155	0.305	51.5	257.5	112	15.61	1	2
09.10.2003	24	3	6.9	5.38	23.9	23.9	113.8	18	0.246	0.265	25.75	151	109	21.69	1	2
11.10.2003	25	5	11.6	4.83	16.0	16.0	116.6	7	0.120	0.225	52.25	261.25	107	14.80	1	2
14.10.2003	26	4	2.16	1.78	7.37	7.37	107.0	13	0.061	0.093	26.5	106	120	23.31	1	2
15.10.2003	27	10	6.98	1.65	4.06	6.98	123.0	6,2	0.061	0.093	26.5	265	260	15.97	1	5
17.10.2003	28	10	2.16	0.64	1.78	2.16	117.1	7,9	0.015	0.039	53	265	255	35.03	1	5
18.10.2003	29	13	0.53	0.64	0.64	0.64	117.2	7,8	0.0003	0.026	26.5	344.5	245	47.59	2	5
20.10.2003	30	5	2.41	2.16	3.56	3.56	118.7	6,9	0.064	0.106	26.5	132.5	185	35.94	2	4
22.10.2003	31	6	3.19	4.44	3.17	4.44	114.6	9,1	0.020	0.265	36.5	219	190	31.45	2	4
08.12.2003	32	4	5.97	1.52	5.33	5.97	112.6	17	0.0384	0.106	29	116	135	25.06	1	3
17.12.2003	33	4	3.68	3.05	5.21	5.21	116.6	12	0.0443	0.252	27.25	109	88	16.86	2	3
26.12.2003	34	5	7.24	8.00	9.27	9.27	117.9	10	0.0808	0.107	26.5	132.5	80	15.54	2	3
30.12.2003	35	4	7.62	6.22	10.7	10.7	127	19	0.0918	0.203	26.5	106	85	16.51	2	3
07.01.2004	36	11	0.78	0.65	0.73	0.78	103	18	0.0017	0.0133	56	308	241	32.20	2	5

Tablo 24'ün devamı

26.03.2004	37	10	2.56	2.02	2.67	2.67	15	125.4	6	0.0336	0.0398	270	270	270	260	15.82	3	5
08.04.2004	38	12	0.83	0.75	0.98	0.98	95	111.2	11	0.0023	0.0265	52.80	317	249	249	34.26	3	5
12.04.2004	39	10	1.14	0.64	1.02	1.14	19	129.9	1.4	0.0098	0.0265	54.50	272.25	234	234	31.69	3	5
14.04.2004	40	8	0.58	0.78	0.81	0.81	73	116.1	7	0.0045	0.0265	52.50	210	241	241	33.26	3	5
20.04.2004	41	9	1.14	1.40	2.03	2.03	23	109.5	5.3	0.0211	0.0265	52.50	236.25	256	256	35.33	3	5
22.04.2004	42	12	1.01	1.03	1.64	1.64	57	119.3	8.7	0.0055	0.0265	52.50	262.5	176	242.9	24.29	11	5
26.04.2004	43	9	2.03	1.14	2.16	2.16	32	110.6	6.5	0.0158	0.0530	26.25	236.25	147	28.69	11	5	
07.05.2004	44	7	0.51	0.76	0.76	0.76	34	112.3	1.5	0.0067	0.0265	27.25	190.75	280	53.64	2	5	
10.05.2004	45	10	1.02	0.86	1.02	1.02	24	110.2	5	0.0115	0.0265	26.25	262.5	122	23.81	11	5	
12.05.2004	46	10	1.14	1.02	1.27	1.27	20	117.4	8.3	0.0149	0.0265	26.25	262.5	137	26.73	11	5	
27.07.2004	47	6	1.97	1.03	1.32	1.32	43	108.4	8.1	0.0249	0.079	23.00	138	300	62.55	1	4	
02.08.2004	48	6	1.63	1.18	2.05	2.05	98	118.3	8	0.00174	0.026	23.00	138	198	41.28	2	5	
16.08.2004	49	6	0.762	0.381	0.381	0.76	27	104.9	11	0.0107	0.026	11.67	70	219	64.11	1	5	
13.07.2005	50	13	0.302	0.159	0.286	0.302	18	147	1.6	0.00335	0.00829	44.29	310	246	36.96	3	6	
19.07.2005	51	10	1.03	1.83	1.56	1.83	24	113.1	8.3	0.0198	0.0481	29.38	235	155	28.60	11	6	
22.07.2005	52	12	0.889	1.02	1.27	1.27	91	118	4.9	0.0202	0.0398	45	270	238	35.48	3	6	
08.08.2005	53	10	3.05	0.889	3.05	3.05	23	113.8	3.9	0.0247	0.0530	47	235	245	35.74	1	6	
08.08.2005	54	10	0.762	1.02	1.14	1.14	22	116.8	3.4	0.0107	0.0398	47	235	248	36.17	2	6	
08.08.2005	55	10	1.10	0.746	0.841	1.10	19	114	3.1	0.0134	0.0215	47	235	236	34.42	3	6	
10.08.2005	56	15	3.68	2.54	10.0	10	22	113.3	5.5	0.0690	0.0146	37.5	300	195	31.84	1	4	
10.08.2005	57	15	2.03	1.14	2.16	2.16	57	113.5	4.3	0.0158	0.0663	37.5	300	230	37.56	2	4	
10.08.2005	58	15	2.79	2.03	2.79	2.79	26	115	11	0.0252	0.0735	37.5	300	173	28.25	3	4	
12.08.2005	59	11	4.95	1.52	4.95	4.95	20	116.6	5.2	0.0396	0.0928	33	165	191	33.25	1	4	
12.08.2005	60	11	1.14	0.635	0.762	1.14	14	116.5	6	0.0105	0.0398	33	165	217	37.77	2	4	
12.08.2005	61	11	1.02	1.02	2.29	2.29	22	118.1	6.4	0.0159	0.0398	33	165	174	30.29	3	4	
15.08.2005	62	10	2.67	1.27	2.92	2.92	28	117.4	5.4	0.0222	0.0663	40	200	184	29.09	1	4	
15.08.2005	63	10	0.762	0.889	0.889	0.889	24	117.7	5.1	0.00881	0.0265	40	200	204	32.26	2	4	
15.08.2005	64	10	1.27	1.14	2.29	2.29	20	118.2	6.5	0.0173	0.0398	40	200	182	28.78	3	4	
26.08.2005	65	10	3.30	1.40	4.44	4.44	18	114.6	4.6	0.0374	0.0663	40	200	188	29.73	1	4	
26.08.2005	66	10	1.27	0.889	1.40	1.40	16	115.4	3.6	0.0131	0.0530	40	200	201	31.78	2	4	
26.08.2005	67	10	2.16	1.52	2.41	2.41	20	113.8	4.7	0.0252	0.0398	40	200	179	28.30	3	4	
02.09.2005	68	17	4.06	2.54	3.17	4.06	17	121.3	7.5	0.0444	0.0663	50	300	227	32.10	1	5	
02.09.2005	69	17	1.65	1.65	2.67	2.67	26	123.3	7.6	0.0200	0.0795	50	300	236	33.38	2	5	
02.09.2005	70	17	2.29	1.52	2.16	2.29	11	119.9	8.3	0.0340	0.0530	50	300	216	30.55	3	5	
14.09.2005	71	10	2.16	1.02	1.52	2.16	11	122.2	5.4	0.0319	0.0398	43	215	206	31.41	1	6	
14.09.2005	72	10	1.40	0.762	1.27	1.40	10	119.2	3.6	0.0176	0.0663	43	215	199	30.35	2	6	
14.09.2005	73	10	1.65	1.40	1.40	1.65	9.3	123.5	4.8	0.0265	0.0398	43	215	205	31.26	3	6	

NOT: Patar: Büyük blokların ikincil patlatılması, Yk: Yol kenarı.

Tablo 25. 12.05.2003-14.09.2005 tarihleri arasında ölçümü yapılan atımların dizayn parametreleri ve atımlara ait diğer bilgiler.

Ölçüm tarihi	Ölçüm No	Delik Çapı (mm)	Delik Boyu (m)	Delik Sayısı	Yük Mesafesi (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Sıklama Boyu (m)	Uzaklık (m)	Gecikme Başma Patlayıcı Miktarı (kg)	Toplam Patlayıcı Miktarı (kg)	Gecikme Aralığı (ms)	Ölçüm İst.	Atım Bas.
12.05.2003	1	76	12-12.5	5	2.5-4.0	1.8-2.5	2.5	118	51.4	257	30	İst. 1	1
14.05.2003	2	76	12-12.5	5	1.5-2.0	1.3-2.0	2.0-2.5	110	54	270	30	İst. 4	1
22.05.2003	3	76	12-12.5	5	2.5-3.0	1.7-2.0	2.5	99	52.6	263	30	İst. 3	1
25.05.2003	4	76	12-12.5	13	2.5-2.7	2.3-2.5	2.0-2.5	405	690	690	30	İst. 6	5
15.07.2003	5	76	6.0Y-0.5D	Patlar	1.0	1.8-2.5	1.5	120	59	177	30	İst. 1	2
15.07.2003	6	76	12-12.5	6	2.0-2.5	2.3-2.5	2.3-2.6	107	53	318	30	İst. 1	1
16.07.2003	7	76	12-12.5	6	2.5-4.0	1.5-2.0	2.2-2.7	162	52	312	30	İst. 7	1
16.07.2003	8	76	12-12.5	6	2.0-2.5	1.5-2.0	2.5-3.0	155	52	312	30	İst. 7	1
18.07.2003	9	76	11-12.0	3	3.4	1.3	2.5	143	52	156	30	İst. 4	1
18.07.2003	10	76	12.5	6	2.3-2.7	1.7-2.0	2.5	131	52	312	30	İst. 5	1
20.07.2003	11	76	11-12.0	5	2.2-2.4	1.7-1.9	2.0-2.5	212	52	260	30	İst. 8	1
20.07.2003	12	76	12.5	6	2.3-2.6	1.9-2.2	2.5	230	52	312	30	İst. 9	1
24.07.2003	13	76	12	6	2.0-2.9	2.0	2.0-2.5	105	52	312	30	İst. 1	1
24.07.2003	14	76	12.5	3	2.5	2.1	2.5	96	52	156	30	İst. 1	1
28.07.2003	15	76	3.5Y-0.5D	Patlar	---	---	1.0-1.5	131	136.5	136.5	30	İst. 1	2
28.07.2003	16	76	12.5	6	2.4-2.7	1.7-2.0	2.5	100	52	312	30	İst. 1	1
26.09.2003	17	76	12-13.0	5	2.7-3.0	2.0-2.2	2.5	203	46.5	232.5	30	İst. 10	1
27.09.2003	18	76	12.0	5	2.0-2.5	1.5-2.0	1.7-2.0	140	46.5	232.5	30	İst. 2	1
02.10.2003	19	76	15.0	4	2.0	1.9-2.2	3.0	95	65	260	30	İst. 3	2 (K)
03.10.2003	20	76	15.0	5	2.2-2.5	2.1	2.5	142	64	320	30	İst. 11	Yk
03.10.2003	21	76	15.0	5	2.2-2.5	2.1	2.5	147	64	320	30	İst. 11	Yk
09.10.2003	22	76	12.0	5	2.0	2.1-2.5	2.0	175	51.5	257.5	30	İst. 2	2
09.10.2003	23	76	12.0	5	2.5	2.0	2.0	112	51.5	257.5	30	İst. 1	2
09.10.2003	24	76	12.0	3	4.0	2.3	1 Alt-2 Üst	109	25.75	151	30	İst. 1	2
11.10.2003	25	76	12.0	5	2.0-3.0	2.5	2.5	107	52.25	260	30	İst. 1	2
14.10.2003	26	76	6.0	4	3.0-3.5	1.9	1.5	120	26.5	106	30	İst. 1	2 (K)
15.10.2003	27	76	6.0	10	2.5-4.0	2.5-3.0	1.5-2.0	260	265	265	30	İst. 1	5
17.10.2003	28	76	6.0	10	2.0-2.5	2.3-2.6	1.6-1.7	255	53	265	30	İst. 1	5
18.10.2003	29	76	6.0	13	2.8-3.2	2.3-2.5	1.5-1.8	245	26.5	344.5	30	İst. 2	5
20.10.2003	30	76	6.0	5	1.8-2.2	1.9-2.1	2.5	185	26.5	132.5	30	İst. 2	4
22.10.2003	31	76	8.0	6	3.0-3.2	1.9-2.3	2.0-2.5	190	36.5	219	30	İst. 2	4
08.12.2003	32	76	6.5	4	2.0-2.5	2.0-2.4	1.9	135	29	116	30	İst. 1	3
17.12.2003	33	76	6.0	4	2.0-2.5	2.0-2.3	1.8	105	26.5	109	60	İst. 2	3
26.12.2003	34	76	6.0	5	3.0	2.3	1.7	120	26.5	132.5	60	İst. 2	3
30.12.2003	35	76	6.0	4	3.0	2.0-2.5	2.0	135	26.5	106	60	İst. 2	3

Tablo 25'in devamı

07.01.2004	36	76	6.0	11	2.0	2.0	1.5-2.0	250	28	308	60	İst. 2	5
26.03.2004	37	76	6.0	10	2.5	2.0-2.3	1.5	220	27	270	Gecikmesiz	İst. 3	5
08.04.2004	38	76	6.0	12	2.4	2.0-2.6	1.5	255	52.83	317	60	İst. 3	5
12.04.2004	39	76	6.0	10	2.5	2.5	1.5	210	27.225	272.25	150	İst. 3	5
14.04.2004	40	76	6.0	8	2.4-2.5	2.3-2.6	1.5	250	26.25	210	60	İst. 3	5
20.04.2004	41	76	6.0	9	2.5	2.0-2.5	1.5	175	28.50	256.55	60	İst. 3	5
22.04.2004	42	76	6.0	12	2.4	2.3-2.5	1.5	315	26.25	315	60	İst. 11	5
26.04.2004	43	76	6.0	9	2.5	2.0-2.4	1.5	175	26.25	236.25	60	İst. 11	5
07.05.2004	44	76	7.0	7	2.3	2.3	2.0	245	27.86	195.75	60	İst. 2	5
10.05.2004	45	76	6.0	10	2.4	2.2-2.6	1.6	215	26.0	260	60	İst. 11	5
12.05.2004	46	76	6.0	10	2.5	2.1-2.4	1.7	190	26.0	160	60	İst. 11	5
27.07.2004	47	76	7.0	6	2.5	2.5	2.5	165	23	138	60	İst. 1	4
02.08.2004	48	76	7.0	6	2.5	2.5	2.5	235	23	138	60	İst. 2	5
16.08.2004	49	76	6.5	6	2.0-2.5	2.5	2.0-2.5	170	11.67	70	60	İst. 1	5
13.07.2005	50	76	6	13	2.5	2.5	1.5	246	44.29	310	60	İst. 3	6
19.07.2005	51	76	6	10	2.5	2.5	1.6	155	29.38	235	60	İst. 11	6
22.07.2005	52	76	6	12	2.3	2.4	1.6	238	45	270	60	İst. 3	6
08.08.2005	53	76	6	10	2.5-3.0	2.3-2.7	1.6	245	47	235	60	İst. 1	6
08.08.2005	54	76	6	10	2.5-3.0	2.3-2.7	1.6	248	47	235	60	İst. 2	6
08.08.2005	55	76	6	10	2.5-3.0	2.3-2.7	1.6	236	47	235	60	İst. 3	6
10.08.2005	56	76	6	15	2.5	2.5	1.4	195	37.5	300	60	İst. 1	4
10.08.2005	57	76	6	15	2.5	2.5	1.4	230	37.5	300	60	İst. 2	4
10.08.2005	58	76	6	15	2.5	2.5	1.4	173	37.5	300	60	İst. 3	4
12.08.2005	59	76	5.3	11	2.5-3.0	2.0-2.5	1.0-1.7	191	33	165	60	İst. 1	4
12.08.2005	60	76	5.3	11	2.5-3.0	2.0-2.5	1.0-1.7	217	33	165	60	İst. 2	4
12.08.2005	61	76	5.3	11	2.5-3.0	2.0-2.5	1.0-1.7	174	33	165	60	İst. 3	4
15.08.2005	62	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	184	40	200	60	İst. 1	4
15.08.2005	63	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	204	40	200	60	İst. 2	4
15.08.2005	64	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	182	40	200	60	İst. 3	4
26.08.2005	65	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	188	40	200	60	İst. 1	4
26.08.2005	66	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	201	40	200	60	İst. 2	4
26.08.2005	67	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	179	40	200	60	İst. 3	4
02.09.2005	68	76	6-3.5	17	2.5	2.5	1.5-1.7	227	50	300	60	İst. 1	5
02.09.2005	69	76	6-3.5	17	2.5	2.5	1.5-1.7	236	50	300	60	İst. 2	5
02.09.2005	70	76	6-3.5	17	2.5	2.5	1.5-1.7	216	50	300	60	İst. 3	5
14.09.2005	71	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	206	43	215	60	İst. 1	6
14.09.2005	72	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	199	43	215	60	İst. 2	6
14.09.2005	73	76	6	10	2.5	2.5	1.5-1.7	205	43	215	60	İst. 3	6

NOT: Y. yatay delik, D. düşey delik, Alt: ara sıklama boyu, Üst: Üst sıklama boyu, K: Kırmızı, kil içerir bölge, Patlar: Büyük blokların ikincil patlatılması, Yk: Yol kenarı.

## 2.7.2. Ölçülen PPV Değerlerinin İstatistiksel Analizi ve Genel Değerlendirmesi

Sahada gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan 73 adet yersarsıntısı ölçüm sonucundan; İstasyon 1’de alınan 23 adet, İstasyon 2’de alınan 18 adet, İstasyon 3’te alınan 16 adet olmak üzere istasyonlar (yönler) bazında toplam 57 adet ölçüm için öncelikle parçacık hızlarının ölçüldüğü yönler arasında veri benzerliği bakımından herhangi bir fark olup olmadığı belirlenmeye çalışılmış ve bunun için tek yönlü çok değişkenli varyans analizi [58] yapılmıştır.

Sahada gerçekleştirilen atımlara ait ölçüm sonuçlarından, veri sayısı olarak bir fikir verme açısından yeterli olabilecek yukarıda bahsedilen 3 farklı istasyonda alınan ölçümler arasında fark olup olmadığına ve ayrı ayrı ele alınıp alınamayacağına yönelik 0.05 anlam düzeyinde yapılan varyans analizi için gerekli hesaplamalar aşağıda Tablo 26, Tablo 27 ve Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 26. Yönler bazında ölçülen parçacık hızı unsurları ve varyans analizinde kullanılacak hesaplamalar

İst. 1, (X <sub>1</sub> )	İst. 2, (X <sub>2</sub> )	İst. 3, (X <sub>3</sub> )	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>
14,1	5,84	12,4	198,81	34,101	153,76
17,4	2,29	9,91	302,76	5,244	98,208
20,1	0,64	2,67	404,01	0,41	7,129
31,9	3,56	0,98	1017,61	12,674	0,96
40,1	4,44	1,14	1608,01	19,714	1,3
18,7	5,21	0,81	349,69	27,144	0,656
26,9	9,27	2,03	723,61	85,933	4,121
20,3	10,7	0,302	412,09	114,49	0,091
23,9	0,78	1,27	571,21	0,608	1,613
16	0,76	1,1	256	0,578	1,21
7,37	2,05	2,79	54,317	4,203	7,784
6,98	1,14	2,29	48,72	1,3	5,244
2,16	2,16	2,29	4,666	4,666	5,244
5,97	1,14	2,41	35,641	1,3	5,808
1,97	0,889	2,29	3,881	0,79	5,244
0,76	1,4	1,65	0,578	1,96	2,723
3,05	2,67		9,303	7,123	
10	1,4		100	1,96	
4,95			24,503		
2,92			8,526		
4,44			19,714		
4,06			16,484		
2,16			4,666		
$\sum X_1=286,19$	$\sum X_2=56,339$	$\sum X_3=46,332$	$\sum X_1^2=6174,799$	$\sum X_2^2=324,198$	$\sum X_3^2=301,095$

Tablo 27. Varyans analizi hesaplamalarında kullanılacak ana formüller tablosu [58]

Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin Ortalaması	F Testi
Örnekler arası değişim	$SS_A$	$m-1$	$MS_A=SS_A/ m-1$	$F_{hesap}=MS_A/MS_W$
Örnek içi değişim	$SS_W$	$N-m$	$MS_A=SS_W/ N-m$	
toplam	$SS_T$	$N-1$	$MS_T=SS_T/N-1$	

Burada  $N=57$  (değerlendirmeye alınacak toplam veri sayısı),  $m=3$  (grup sayısı),  $N-m=3$  ve her bir gruba ait örnek sayıları  $n_1=23$ ,  $n_2=18$ ,  $n_3=16$  olmak üzere hesap tablosu aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 28. Varyans analizi hesap tablosu.

Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin Ortalaması	F Testi
Örnekler arası değişim	$SS_A = \sum [(\sum X_1)^2/n_1 + (\sum X_2)^2/n_2 + (\sum X_3)^2/n_3] - [(\sum X_1 + \sum X_2 + \sum X_3)^2/N]$ $=1187,401$	$m-1=2$	$MS_A=SS_A/m-1$ $=593,7$	$F_{tablo}=3,174$ $F_{hesap}=MS_A/MS_W=7,73$ <b>SONUÇ:</b> $F_{hesap} > F_{tablo}$
Örnek içi değişim	$SS_W = \sum (\sum X_1^2 + \sum X_2^2 + \sum X_3^2) - [(\sum X_1 + \sum X_2 + \sum X_3)^2/N]$ $=4147,235$	$N-m=54$	$MS_W=SS_W/N-m$ $=76,801$	
Toplam	$SS_T = SS_A + SS_W$ $=5334,635$	$N-1=56$	$MS_T=SS_T/N-1$ $=95,261$	

Sonuç olarak parçacık hızı unsurları yönler bazında ele alınmış ve 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan varyans analizi neticesinde  $F_{hesap} > F_{tablo}$  elde edilmiştir. Dolayısıyla yönler bazında elde edilen veri gruplarından en az bir tanesi diğerinden farklıdır ve her bir veri grubu ayrı ayrı ele alınarak analiz çalışmaları yapılmalıdır.

Buradan hareketle çevresel açıdan daha hassas ve kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olan eşitlikleri elde etmek amacıyla her bir yön için, bilgisayarda hesap işlemcisi programı ile üs fonksiyonuna göre ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış ve patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) Tablo 29'da verilmiştir. Kalan 16 ölçüm sonucu çok değişik istasyonlarda yapıldığı ve veri sayısı istasyon bazında çok yetersiz olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır.

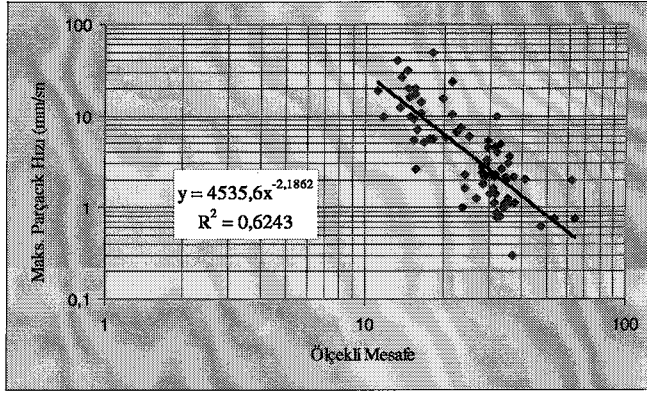
Tablo 29. Regresyon analizi yapılan atım grupları için parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çiftleri arasındaki ilişkiler.

	Maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe (SD <sub>1</sub> ) veri çiftlerine göre saha sabitleri	
	K	
Yapılan tüm atımlara ait ölçümlerin istatistiksel analizi	K	4535.6
	β	-2.1862
	r <sup>2</sup>	<b>0.6243</b>
Ölçümü istasyon 1'de (cami) gerçekleştirilen atımların istatistiksel analizi	K	3800.4
	β	-1.9661
	r <sup>2</sup>	<b>0.8049</b>
Ölçümü istasyon 2'de (tarihi eser) gerçekleştirilen atımların istatistiksel analizi	K	1894.9
	β	-1.9875
	r <sup>2</sup>	<b>0.6612</b>
Ölçümü istasyon 3'te (okul) gerçekleştirilen atımların istatistiksel analizi	K	1823.7
	β	-2.0725
	r <sup>2</sup>	<b>0.691</b>
Parçacık Hızı = KxSD <sup>β</sup> , (r <sup>2</sup> : Kararlılık katsayısı)		

Tablo 29 incelendiğinde 73 adet ölçüm için parçacık hızının maksimum bileşeninin kararlılık katsayısı (r<sup>2</sup>) değerinin baz alınan 0.7'den nispeten (0.6243) küçük olduğu görülmektedir. Bunun; sahanın jeolojik yapısından ve atımların farklı basamaklarda yapılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ocakta bugüne kadar gerçekleştirilen toplam 73 ölçüme göre maksimum parçacık hızları ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkiyi veren formül, bilgisayarda hesap işlemcisi programı kullanılarak en yüksek kararlılık katsayısını veren üs fonksiyonuna göre şu şekilde bulunmuştur.

$$PPV \text{ (mm/sn)} = 4535.6 \times SD^{-2.1862} \quad ; \quad r^2 = 0.6243$$

Burada; PPV; maksimum parçacık hızı (mm/sn), SD; Ölçekli Mesafe, K; yerin sarsıntı iletim katsayısı ve β; yerin sarsıntı sönümlenme katsayısıdır. Bu saha için elde edilen parçacık hızı tahmin denkleminde K ve β faktörleri sırasıyla 4535.6 ve -2.1862 olmuştur. Ocağın geneli için maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkinin logaritmik ölçekte grafik gösterimi de yine noktaların dağılımını da ifade edecek şekilde aşağıda sunulmuştur (Şekil 23).



Şekil 23. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki

Dolayısıyla Şekil 23'ten görüleceği üzere genel olarak ölçekli mesafe değerindeki artışla birlikte maksimum parçacık hızı düşme eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla atımlardaki muhtemel titreşim değerlerinin ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin etmenin ocak geneli için geliştirilen eşitliğe göre sağlıklı sonuçlar vermeyebileceği açıktır. Sahada yaptığımız çalışmalar neticesinde ocak genelini temsil eden eşitlik yerine, istasyonlar bazında yapılan (yönlere göre) değerlendirmelerin hem kararlılık katsayılarının yüksek çıkması (Tablo 29) hem de buna bağlı olarak hata paylarının düşük çıkmasının, yönlere göre oluşturulan eşitliklerin kullanılmasının daha sağlıklı olacağı sonucuna varılmıştır.

İstatistiksel açıdan yeterli veri çifti ile ( $\geq 30$ ) yapılan bir değerlendirme sonucu açığa çıkacak kararlılık katsayısı değerinin  $\geq 0.7$  olması gerekliliği göz önüne alındığında, maksimum parçacık hızı- $SD_1$  (Ölçekli Mesafe) veri çiftlerine arasındaki korelasyonun nispeten düşük olduğu görülmektedir.

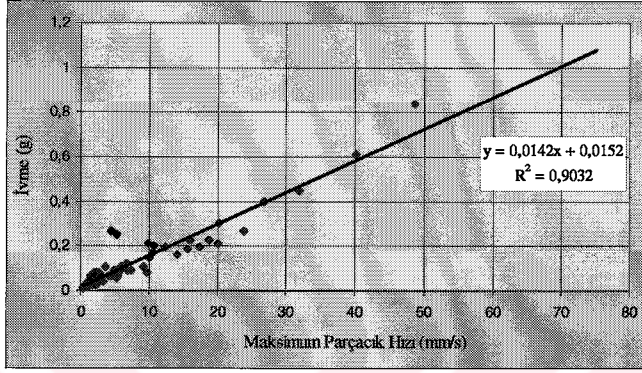
Atımların farklı basamaklarda olmasına rağmen, kararlılık katsayılarının yönler bazında nispeten yüksek çıkmasının; açığa çıkan titreşimlerin yayılımı esnasında benzer jeolojik formasyondan geçerek ölçüm noktasına ulaşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

### 2.7.2.1. PPV-İvme Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

Yapılan 73 adet ölçüm sonucuna göre PPV-İvme arasındaki incelenmiş ve maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki kararlılık katsayısı, bilgisayar hesap işlemcisi programında en yüksek kararlılık katsayısını veren doğrusal fonksiyon kullanılarak ( $r^2$ ) 0.9032 olarak elde edilmiştir (Şekil 24). Grafikten de anlaşılacağı gibi parçacık hızındaki



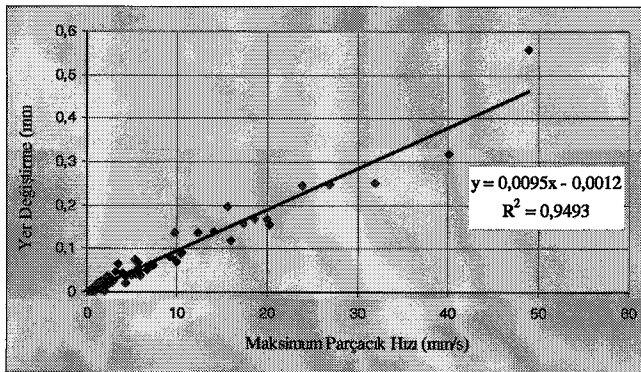
artış ile ivmedeki artış arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Gerçekte bunun doğruluk payı yüksek olup yapılan ölçümler sonucunda da aralarında yüksek bir ilişkinin olduğu teyit edilmiştir. Yalnız ivmenin yüksek olması patlatma ile çalışılan işletmede istenmeyen bir parametredir. Çünkü ivme ile parçacık hızı arasında doğrusal bir ilişki vardır ve yüksek ivme değerleri de hasar oluşumunda etkili olmaktadır [41].



Şekil 24. Maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki ilişki

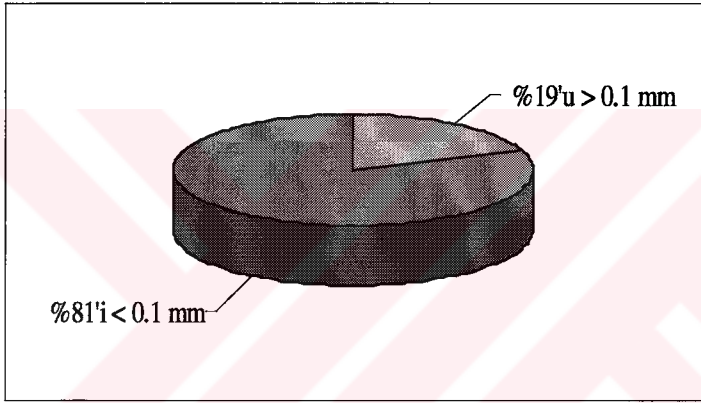
### 2.7.2.2. PPV-Yer Değiştirme Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

Maksimum parçacık hızı (PPV) ile yer değiştirme arasındaki ilişkide bilgisayar hesap işlemcisi programında incelenmiş ve doğrusal fonksiyon kullanılarak çalışma sahasından elde edilen ölçüm sonuçlarına göre PPV-yer değiştirme arasındaki kararlılık katsayısı değeri ( $r^2$ ) 0.9493 elde edilmiştir. Dolayısıyla parçacık hızı ile yer değiştirme arasında çok yüksek bir korelasyonun olduğu Şekil 25'ten görülmektedir. Buradan hareketle parçacık hızındaki artış, yapılarda oluşabilecek hasar riski potansiyelini artıracaktır.



Şekil 25. Maksimum parçacık hızı ile yer değiştirme arasındaki ilişki

Ev, mesken, cami, tarihi eser, okul gibi yapıların bulunduğu yerlerde gerçekleştirilen atımlardan kaynaklanan parçacık yer değiştirme değerleri 0.1 mm'yi aşmamalıdır. Aşılmaması gereken yer değiştirme sınır değerleri her bir yapı birimi için Tablo 9'da özetlenmiştir. Alınan 73 adet ölçüm için parçacık yer değiştirme değerleri incelendiğinde, verilerin 14 tanesinde (%19) aşılması gereken değer üzerine çıkmıştır (Şekil 26). Bu 14 değer, ocakta yapılan ve müdahale edilmeyen ilk 25 atıma ait olup, ilk 25 atımdan sonra geliştirilen tasarım paralelinde gerçekleştirilen patlatmalardan elde edilen parçacık yer değiştirme değerlerinin tamamı sınır değerinin altında kalmıştır.

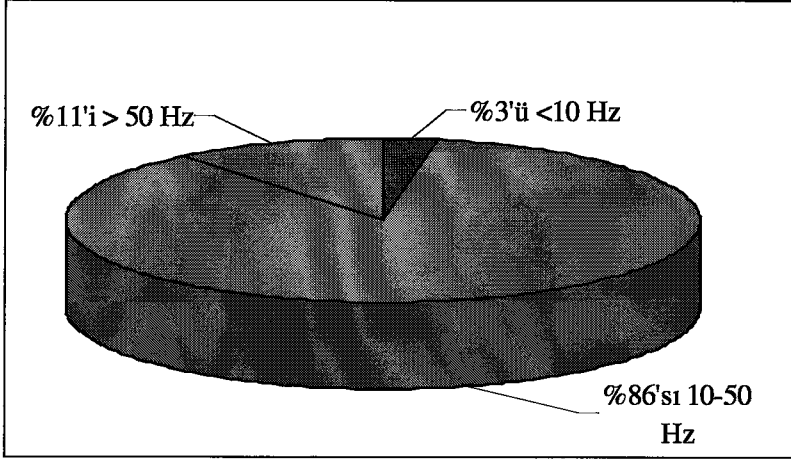


Şekil 26. Parçacık yer değiştirmesinin limit değere göre dağılımı.

### 2.7.2.3. Frekans-Maksimum Parçacık Hızı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

Titreşim frekansları üzerinde rol oynayan en önemli etkenler patlayıcı miktarı, patlayıcının delik içindeki konsantrasyonu, patlatma dizaynı, ateşleme sistemi, titreşim dalgalarının ilerlediği ortamın jeolojik özellikleri ve patlatma noktasına olan mesafedir. Patlatma sahası çevresinde titreşim dalgalarının ilerlediği jeolojik ortam heterojen ve anizotropik bir yapı sergilemektedir.

Uluslararası kriterlerden en ayrıntılı ve hassası olarak kabul ettiğimiz ve ocak çevresinde bulunan yapı gruplarının özelliklerini, diğer standartlara göre biraz daha fazla temsil eden Alman DIN 4150 normu çerçevesinde yapılan frekans analizine göre atımların dağılımı aşağıdaki grafikte (Şekil 27) verilmiştir.



Şekil 27. Alman DIN 4150 normuna göre frekans dağılım yüzdesi.

Bu çerçevede 10 Hz'den küçük (52, 73 no'lu ölçümler) ve 50 Hz'den büyük frekanslara sahip atımların (12, 29, 36, 38, 40, 42, 48, 57 no'lu ölçümler) parçacık hızı değerleri sınır değerlerin altındadır. 10-50 Hz arasında gerçekleşen atımların parçacık hızı değerlerine bakıldığında ise elde edilen 63 veriden 19 tanesinin (1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 23, 24, 25, 34, 35, 56 no'lu ölçümler) parçacık hızı değerlerinin izin verilen parçacık hızı limit değerlerinden yüksek çıktığı görülmüştür.

Bu 19 ölçüm değerinin 16 tanesi (1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 23, 24, 25 no'lu ölçümler) müdahale edilmeyen ilk 25 atımdan elde edilen titreşim ölçümüne aittir. 16 ölçüm değeri içerisinde yer alan 14 ölçümün (1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25 no'lu ölçümler) parçacık yer değiştirme değerleri, bölgedeki yapılaşma durumu göz önüne alındığında kabul edilen limit değer olan 0.1 mm değerinin üzerine çıkmıştır.

Limit değerlerin üzerinde parçacık hızına sahip olan 8, 19, 34, 35 ve 56 no'lu ölçümlerin yer değiştirme değerleri sınır değer olan 0,1 mm'den düşük olduğu için, çevresel açıdan minimum etkiye sahiptir. 8, 19, 34, 35 ve 56 no'lu ölçümlerde parçacık hızı değerlerinin limit değerlerin üzerinde çıkmasının, titreşim dalgalarının ölçüm istasyonu doğrultusunda ilerledikleri ortamın heterojen ve anizotropik özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Gerçekleştirilen 73 adet titreşim ölçümünden 9 tanesi (2, 17, 22, 52, 60, 70, 71, 72, 73 no'lu ölçümler) bölgedeki yapılaşma durumuna göre rezonansa sebep olabilecek frekans aralığına düşmektedir. Ancak bu ölçümlerin elde edildiği atımlara ait yer değiştirme ve parçacık hızı değerleri düşük olduğu için minimum etkiye sahip olduğu görülmektedir.

#### 2.7.2.4. Uzaklık-PPV Arasındaki İlişki

Sahada gerçekleştirilen atımlara ait 73 ölçüm farklı istasyonlarda gerçekleştirildiği için patlatma noktası ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklık da farklılık göstermektedir. Çoğu jeolojik ortamda patlatma noktasından belirli bir uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değeri, mesafe iki katına çıktığında değerinin 1/3'ne düşmektedir. Örneğin patlatma noktasından 120 metre uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değerinin 9 mm/sn olduğunu düşünürsek, bu değer 30 metre uzaklıktaki değerinin 81 mm/sn olması beklenmektedir. Dolayısıyla genel olarak maksimum parçacık hızı, uzaklığın azalmasıyla birlikte artmakta olup, patlatma yerine yakın mesafede bulunan yerleşim birimlerinde hasar oluşumu riskine karşı patlatma tasarım parametrelerinin çevrede rahatsızlık oluşturmayacak biçimde dizayn edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Özellikle sahada gerçekleştirilen ilk 25 atımın evlere olan uzaklıkları ve oluşturduğu titreşimlerin maksimum parçacık hızları incelendiğinde; atımların genelde birinci basamakta gerçekleştirildiği ve binalara oldukça yakın mesafede olduğu için, titreşim değerlerinin nispeten yüksek çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla evlere yakın mesafelerde yapılacak atımların kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi için maksimum önlemin alınması gerekir.

#### 2.7.2.5. PPV Ölçüm Sonuçlarının İstasyonlar Bazında (Yönlere Göre) Değerlendirilmesi

Titreşim dalgalarının farklı ortamlardan geçerken farklılık arz etmesi nedeniyle, açık işletme metodunun uygulandığı ve patlatmalı kazı ile üretim yapan ocaklarda, atım noktalarının ve yönlerinin kesinlikle dikkate alınması gerektiği ve parçacık hızının tahminine yönelik olarak yönler bazında eşitliklerin geliştirilmesi ve atım paternleri oluşturulurken bu eşitliklerden yararlanılması çevresel açıdan hem rahatsızlıkların oluşma seviyesini hem de olası hasar risklerini en aza indirmek bakımından gereklidir.

Dolayısıyla kalker ocağı için, şu ana kadar gerçekleştirilen ve ölçümü değişik istasyonlarda yapılan atımlardan yola çıkılarak, 73 ölçüm değerine göre eşitliklerin elde edilmesi ve çalışmalara bu yönde ışık tutulması bu çalışmanın temel amacıdır.

Aşağıda 3 farklı istasyon için elde edilen ve tüm ocak için elde edilen genel eşitlikler kullanılarak hesaplanan PPV değerlerinin, ölçüm cihazı ile ölçülen değerler arasındaki ilişkileri incelenmiştir (Tablo 30, Tablo 31, Tablo 32).

Tablo 30. İstasyon no 1 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.

Ölçüm No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks. PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.1'de geliştirilen eşitliğe göre PPV
1	İst. 1	14.1	9.94	15.43
5	İst. 1	17.4	11.14	17.09
6	İst. 1	20.1	12.73	19.27
13	İst. 1	31.9	12.99	19.63
14	İst. 1	40.1	15.80	23.41
15	İst. 1	18.7	23.0	32.81
16	İst. 1	26.9	14.45	21.6
23	İst. 1	20.3	11.16	17.13
24	İst. 1	23.9	5.55	9.14
25	İst. 1	16	12.53	19.0
26	İst. 1	7.37	4.64	7.78
27	İst. 1	6.98	10.61	16.37
28	İst. 1	2.16	1.91	3.49
32	İst. 1	5.97	3.96	6.75
47	İst. 1	1.97	0.54	1.12
49	İst. 1	0.762	0.51	1.06
53	İst. 1	3.05	1.82	3.36
56	İst. 1	10	2.35	4.21
59	İst. 1	4.95	2.14	3.87
62	İst. 1	2.92	2.86	5.03
65	İst. 1	4.44	2.73	4.83
68	İst. 1	4.06	2.31	4.15
71	İst. 1	2.16	2.42	4.33
Elde Edilen Eşitlik			$PPV=4535.6xSD^{-2.1862}$	$PPV=3800.4xSD^{1.9661}$
Kararlılık Katsayısı, ( $r^2$ )			0.6243	0.8049

Tablo 31. İstasyon no 2 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.

Ölçüm No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks. PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.2'de geliştirilen eşitliğe göre PPV
18	İst. 2	5.84	6.13	4.67
22	İst. 2	2.29	4.21	3.32
29	İst. 2	0.64	0.98	0.88
30	İst. 2	3.56	1.80	1.53
31	İst. 2	4.44	2.41	2.0
33	İst. 2	5.21	9.43	6.91
34	İst. 2	9.27	11.27	8.12
35	İst. 2	10.7	9.87	7.20
36	İst. 2	0.78	2.29	1.91
44	İst. 2	0.762	0.75	0.69
48	İst. 2	2.05	1.33	1.16
54	İst. 2	1.14	1.78	1.51
57	İst. 2	2.16	1.64	1.41
60	İst. 2	1.14	1.62	1.39
63	İst. 2	0.889	2.28	1.90
66	İst. 2	1.40	2.36	1.96
69	İst. 2	2.67	2.12	1.78
72	İst. 2	1.40	2.61	2.15
Elde Edilen Eşitlik			$PPV=4535.6xSD^{-2.1862}$	$PPV=1894.9xSD^{-1.9875}$
Kararlılık Katsayısı, ( $r^2$ )			0.6243	0.6612

Tablo 32. İstasyon no 3 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin titreşim ölçer cihazı ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.

Ölçüm No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks, PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.3'te geliştirilen eşitliğe göre PPV
3	İst. 3	12.4	14.96	8.1
19	İst. 3	9.91	20.64	10.98
37	İst. 3	2.67	10.83	5.96
38	İst. 3	0.98	2.0	1.20
39	İst. 3	1.14	2.37	1.41
40	İst. 3	0.81	2.13	1.28
41	İst. 3	2.03	1.87	1.13
50	İst. 3	0.302	1.69	1.03
52	İst. 3	1.27	1.85	1.12
55	İst. 3	1.1	1.98	1.19
58	İst. 3	2.79	3.05	1.79
61	İst. 3	2.29	2.62	1.55
64	İst. 3	2.29	2.93	1.73
67	İst. 3	2.41	3.04	1.79
70	İst. 3	2.29	2.57	1.53
73	İst. 3	1.65	2.44	1.45
Elde Edilen Eşitlik			PPV=4535,6xSD <sup>-2,1862</sup>	PPV=1823,7xSD <sup>-2,0725</sup>
Kararlılık Katsayısı, (r <sup>2</sup> )			0.6243	0.691

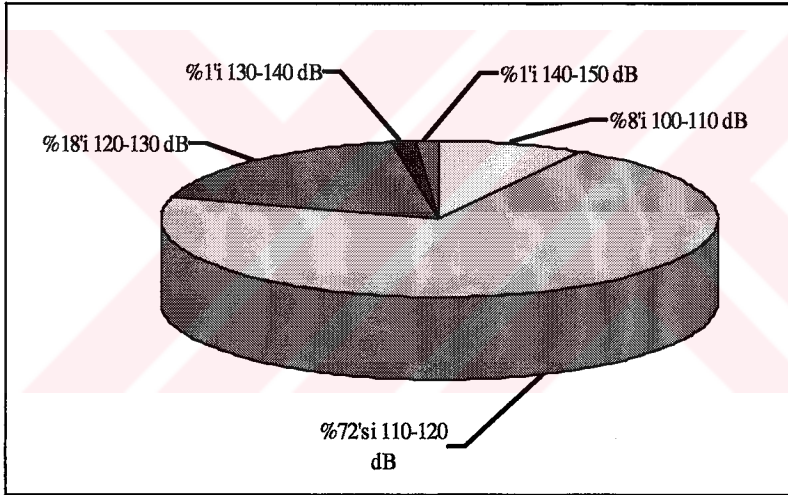
Yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi toplam 73 ölçümden 57 tanesi (73 atımın %78'lik kısmı) yönler bazında ele alınmış, geri kalan 16 atım ise burada veri sayısının çok yetersiz olması nedeniyle (73 atımın %22'lik kısmı) analiz edilmemiştir. Tablolardan görüldüğü gibi tüm atımlar için ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki hata payında farklılıklar görülmektedir. Dolayısıyla tüm atımlar için geliştirilen genel eşitlik kullanılarak benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin edildiğinde gerçekleşen değer ile çok farklı sonuçlar vereceği açıktır. İstasyonlar bazında incelendiği zaman ise ortalama hata değerinin ocak geneline göre istatistiksel açıdan kabul edilebilir derece düşük ve daha güvenilir sonuçlar vereceği görülmektedir.

Tablo 30, Tablo 31 ve Tablo 32 incelendiğinde istasyonlar bazında elde edilen kararlılık katsayısı değerleri ocak genelindeki kararlılık katsayısından yüksektir ve veri sayısının artması ile birlikte yönler bazında PPV-SD veri çiftlerine ait kararlılık sayılarının daha da artacağı söylenilebilir. Yukarıdaki tablolar incelendiğinde yönler bazında elde edilen eşitliklere göre yapılan PPV tahmininin, ocak geneli için elde edilen eşitliğe göre hesaplanan PPV değerlerine oranla, cihazla ölçülen değerlerden daha düşük sapma gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden, yeterli sayıda veri ile (en az 30 adet) yönlere göre oluşturulacak eşitliğin kullanılması halinde ocakta yapılacak patlatmaların daha kontrollü olacağı ve çevresel etkiler açısından daha güvenilir ve sağlıklı sonuçlar vereceği açıktır.

### 2.7.3. Elde Edilen Hava Şoku Ölçüm Değerlerinin İstatistiksel Analizi ve Genel Değerlendirmesi

Patlatma operasyonlarının yapıldığı bölgelerde, 20 Hz'den büyük frekansa sahip olan gürültü yada belli bir değerden sonra hava şokuna dönüşen basınç dalgaları ile, 20 Hz'in altında frekansa sahip ve camlarda şingirdamalara ve evlerdeki eşyaların yerinden oynamalarına neden olan sarsıntı niteliğindeki hava şoku dalgalarına insanların tepkileri değişkenlik arz etmektedir.

Sahada gerçekleştirilen atımlara ait 73 adet hava basınç dalgasının tamamı Tablo 24'ten de görüleceği üzere 20 Hz değerinin altındadır ve hava şoku şeklinde gerçekleşmiştir. En düşük değer 103 dB, en yüksek değer ise 147 dB olarak ölçülmüştür. Sahada ölçülen hava şoku değerlerinin % dağılım grafiği aşağıda Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. Sahada ölçülen hava şoku değerlerinin % dağılımı.

Ocağın dip kısımlarında yapılan patlatmaların ölçümleri, atımın arka tarafında kalan bölgede bulunan yerleşim biriminde gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla hava basınç dalgalarının hava şoku dalgası olarak kayıt istasyonuna ulaşmasının, sahadaki çalışmalar sonucu oluşmuş şev yüzeylerinin bariyer vazifesi görmesi ve gürültü niteliğindeki basınç dalgalarının etkilerini azaltıcı yönde etki yapmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Ocakta gerçekleştirilen atımlardan kaynaklanan hava şoku dalgalarına, ocak çevresinde yaşayan insanların tepkileri farklı farklı olmuştur. Her atımdan sonra gerçekleşen değişik seviyelerdeki hava şoku etkilerine karşı insanların tepkileri çalışma kapsamında ele alınmış [59] ve sonuçları aşağıda Tablo 33'te sunulmuştur.

Tablo 33. Ocakta yapılan atımlardan kaynaklanan hava şoku etkilerine insanların tepkileri.

Hava şoku değeri (dB)	Gerçekleşme yüzdesi (73 ölçüm için), (%)	Hava şokunun insanlar üzerindeki etkisi
100-110	8	Rahatsızlık başlangıcı
110-120	72	Rahatsızlık başlangıcı - Rahatsız edici
120-130	18	Rahatsız edici
130-140	1	Rahatsız edici - İleri derecede rahatsız edici
140-150	1	Tahammül edilemez

50. atımda ölçülen ve yapısal hasar oluşturma riski taşıyan 147 dB'lik değerin, sıkılamanın yetersiz olması nedeniyle patlayıcı enerjisinin atmosfere deşarj olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

#### 2.7.4. Kaya Fırlamaları Hususu ve Maksimum Kaya Fırlama Mesafesinin Belirlenmesi

Ocakta ve ocak çevresinde şu ana kadar kaya fırlamalarından kaynaklanan herhangi bir problem bulunmamaktadır. Ocakta patlatma yapılmadan önce gerekli duyuru ve bilgilendirme çalışmaları yapılmakta ve patlatma noktası çevresinde kaya fırlamalarından etkilenebilecek alanlarda maksimum güvenlik önlemi alınmaktadır. Ocakta yapılan patlatmalar yerleşim birimlerinden uzakta ve atım yönleri de yerleşim birimleri ile ters istikamette olduğu için, kaya fırlamalarından kaynaklanabilecek herhangi bir çevresel problem yoktur. Ayrıca atım yönünde de herhangi bir etkilenecek flora/fauna popülasyonu bulunmamaktadır.

Ancak olası bir kaya fırlaması durumu göz önünde bulundurularak, güvenlik açısından maksimum kaya fırlama mesafeleri aşağıda hesaplanmıştır.

i) Delik çapının 76 mm olması durumunda;

$L=260x(7,6/2,54)^{0,67}$  formülünden maksimum kaya fırlama mesafesi 542 m olarak hesaplanmıştır.

ii) Özgül şarjın  $0.783 \text{ kg/m}^3$  olması durumunda ise;

$L=143xdx(q-0.2)$  formülünden maksimum kaya fırlama mesafesi yaklaşık 250 m olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla patlatma işlemini gerçekleştirecek olan ateşçinin atım noktasına en az 250 m mesafede olması ve güvenli bir noktadan ateşleme işlemini gerçekleştirmesi gerekir.



### 3. SONUÇLAR

Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü köyü hudutlarında bulunan Trabzon Çimento Sanayii T.A.Ş.'ye ait İR-3394 nolu Kalker sahasında hammaddesi temini amacı ile işletilen kalker ocağının üretimi esnasında, yapılan gözlemler, incelemeler ve titreşim ölçer cihazları ile bu çalışma kapsamında alınan 73 adet titreşim ve hava şoku kayıtlarından ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur;

- Patlatma çalışmalarına ilk 25 atımda müdahale edilmemiş, yapılan inceleme ve çalışmalardan sonra delik boyu ve gecikme aralığı değiştirilerek yapılan yeni patlatma dizaynına göre patlatma çalışmalarına devam edilmiştir.
- Çalışma sahasından elde edilen ölçüm sonuçlarına göre PPV-*yer* değiştirme arasındaki ilişki incelenmiş ve kararlılık katsayısı değeri ( $r^2$ ) 0.9493 elde edilmiştir. Dolayısıyla parçacık hızı ile *yer* değiştirme arasında çok yüksek bir korelasyonun olduğu görülmektedir. Buradan hareketle parçacık hızındaki artış, yapılarda oluşabilecek hasar riski potansiyelini artıracaktır. Ölçekli mesafe ile *yer* değiştirme arasındaki de incelenmiş ve aralarında anlamlı bir ilişki ( $R^2=0.53$ ) olduğu görülmüştür. Buradan ölçekli mesafenin artması ile birlikte *yer* değiştirme değerlerinin azalma eğilimi göstereceği anlaşılmaktadır.
- Alınan 73 adet ölçüm için parçacık *yer* değiştirme değerleri incelendiğinde, verilerin 14 tanesinde (%19) sonuç bölge yerleşim yapıları için belirlenen ve aşılması gereken 0.1 mm değerinin üzerine çıkmıştır. Bu 14 değer, ocakta yapılan ve müdahale edilmeyen ilk 25 atıma ait olup, ilk 25 atımdan sonra geliştirilen tasarım paralelinde gerçekleştirilen patlatmalardan elde edilen parçacık *yer* değiştirme değerlerinin tamamı sınır değerin altında kalmıştır.
- Yapılan 73 adet ölçüm sonucuna göre PPV-İvme arasındaki incelenmiş ve maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki kararlılık katsayısı ( $r^2$ ) 0.9032 olarak elde edilmiştir Dolayısıyla parçacık hızındaki artış ile ivmedeki artış arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Ölçekli mesafe-İvme arasındaki ilişki irdelendiğinde ise ölçekli mesafedeki artışla birlikte ivme değerlerinin düşme eğilimi gösterdiği görülmüştür.

- Frekans ile yer değiştirme arasındaki ilişki 0.37 kararlılık katsayısı ile elde edilmiştir. Buradan hareketle aralarında iyi bir korelasyonun olmadığı, yüksek frekansla sonuçlanan atımlarda genel itibari ile yer değiştirme değerlerinin düşük olduğu, düşük frekans değerlerinde ise tersi durumun söz konusu olduğu görölmektedir.
- Ocak çevresindeki yapılaşma durumu göz önüne alındığında uluslararası kriterlerden Alman DIN 4150 normu çerçevesinde yapılan frekans analizine göre 73 ölçümün %3'ü <10 Hz, %86'sı 10-50 Hz arasında ve %11'i >50 Hz frekans aralıklarında gerçekteşmiştir.
  - Bu çerçevede 10 Hz'den küçük (52, 73 no'lu ölçümler) ve 50 Hz'den büyük frekanslara sahip atımların (12, 29, 36, 38, 40, 42, 48, 57 no'lu ölçümler) parçacık hızı değerleri sınır değerlerin altındadır.
  - 10-50 Hz arasında gerçekteşen atımların parçacık hızı değerlerine bakıldığında ise elde edilen 63 veriden 19 tanesinin (1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 23, 24, 25, 34, 35, 56 no'lu ölçümler) parçacık hızı değerlerinin izin verilen parçacık hızı limit değerlerinden yüksek çıktığı görölmüştür.
  - Bu 19 ölçüm değerinin 16 tanesi (1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 23, 24, 25 no'lu ölçümler) müdahale edilmeyen ilk 25 atımdan elde edilen titreşim ölçümüne aittir. 16 ölçüm değeri içerisinde yer alan 14 ölçümün (1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25 no'lu ölçümler) parçacık yer değiştirme değerleri, bölgedeki yapılaşma durumu göz önüne alındığında kabul edilen limit değer olan 0.1 mm değerinin üzerine çıkmıştır.
  - Limit değerlerin üzerinde parçacık hızına sahip olan 8, 19, 34, 35 ve 56 no'lu ölçümlerin yer değiştirme değerleri sınır değer olan 0,1 mm'den düşük olduğu için, çevresel açıdan minimum etkiye sahiptir. 8, 19, 34, 35 ve 56 no'lu ölçümlerde parçacık hızı değerlerinin limit değerlerin üzerinde çıkmasının, titreşim dalgalarının ölçüm istasyonu doğrultusunda ilerledikleri ortamın heterojen ve anizotropik özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.
  - Gerçekteştirilen 73 adet titreşim ölçümünden 9 tanesi (2, 17, 22, 52, 60, 70, 71, 72, 73 no'lu ölçümler) bölgedeki yapılaşma durumuna göre rezonansa sebep olabilecek frekans aralığına düşmektedir. Ancak bu ölçümlerin elde edildiği atımlara ait yer değiştirme ve parçacık hızı değerleri düşük olduğu için minimum etkiye sahip olduğu görölmektedir.

- Maksimum parçacık hızı ile uzaklık arasındaki ilişki 0.49 kararlılık katsayısında gerçekleşmiştir. Maksimum parçacık hızı uzaklığın azalmasıyla birlikte artmakta olup, patlatma yerine yakın mesafede bulunan yerleşim birimlerinde hasar oluşumu riskine karşı patlatma tasarım parametrelerinin çevrede rahatsızlık oluşturmayacak biçimde dizayn edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.
- Sahada gerçekleştirilen atımlara ait 73 adet hava basınç dalgasının tamamı 20 Hz değerinin altındadır ve hava şoku şeklinde gerçekleşmiştir. En düşük değer 103 dB, en yüksek değer ise 147 dB olarak ölçülmüştür. Sahada ölçülen hava şoku değerlerinin %8'i rahatsızlık başlangıç sınırında, %72'si rahatsızlık başlangıcı-rahatsız edici, %18'i rahatsız edici, %1'i rahatsız edici-ileri derecede rahatsız edici ve %1'i tahammül edilemez düzeyde gerçekleşmiştir. 50. atımda ölçülen ve hasar oluşturma riski taşıyan 147 dB'lik değer, sıkılaşmanın yetersiz olması nedeniyle patlayıcı enerjisinin atmosfere deşarj olmasından kaynaklandığı görülmüştür.
- Ocakta ve ocak çevresinde şu ana kadar kaya fırlamalarından kaynaklanan herhangi bir problem bulunmamaktadır. Ancak olası bir kaya fırlaması durumu göz önünde bulundurularak, güvenlik açısından maksimum kaya fırlama mesafeleri; i) Delik çapının 76 mm olması durumunda  $L=260x(7,6/2,54)^{0.67}$  formülünden 542 m ve ii) Özgül şarjın  $0.783 \text{ kg/m}^3$  olması durumunda  $L=143x(dx(q-0.2))$  formülünden 250 m olarak hesaplanmıştır.
- Ocakta gerçekleştirilen toplam 73 ölçüme göre, ocağa ait maksimum parçacık hızının tahminine yönelik  $PPV(\text{mm/sn})=4535.6xSD^{-2.1862}$  eşitliği 0.6243 kararlılık katsayısı ile geliştirilmiştir. Dolayısıyla  $R^2=0.6243$  değeri değerlendirmelerde kabul edilen sınır kararlılık katsayısı değeri olan 0.7'den düşüktür. Bunun; sahanın jeolojik yapısından ve atımların farklı basamaklarda yapılmasından kaynaklandığı söylenebilir.
- Ocak geneli için elde edilen eşitlikte veri çiftleri arasındaki korelasyon düşük olduğu için yönler bazında gruplandırılan verilerin birbiri arasındaki ilişki 0.05 anlamlılık düzeyinde test edilmiş ve sonuçta her bir yön için ayrıntılı istatistiksel analizlerin yapılmasına karar verilmiştir.
- 73 ölçümden 57 tanesi (73 atımın %78'lik kısmı) yönler bazında ele alınmış, geri kalan 16 atım ise burada veri sayısının çok yetersiz olması nedeniyle (73 atımın %22'lik kısmı) analiz edilmemiştir. Ocakta daha hassas ve kontrollü atımlar gerçekleştirmek için yönler bazındaki eşitlikler sırası ile 0.8049, 0.6612 ve 0.691 gibi

ocak geneli için elde edilen kararlılık katsayısından yüksek kararlılık katsayılarında elde edilmiştir.

- Yönlere bazında elde edilen eşitliklere göre yapılan PPV tahmininin, ocak geneli için elde edilen eşitliğe göre hesaplanan PPV değerlerine oranla cihazla ölçülen değerlerden daha düşük sapma gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden, yeterli sayıda veri ile (en az 30 adet) yönlere göre oluşturulacak eşitliğin kullanılması halinde ocakta çalışılan basamaklarda atım noktaları da dikkate alınarak yapılacak değerlendirmeler sonucunda yapılacak patlatmalardan daha güvenilir ve sağlıklı sonuçlar elde edileceği açıktır.
- Dolayısıyla toplam 73 ölçüm için geliştirilen ocak geneline ait fonksiyon eşitliği kullanılarak, benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerlerini ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin etmek güvenli değildir. Ancak, bunun yerine istasyonlar bazında yapılan (yönlere göre) değerlendirmelerde hem kararlılık katsayılarının ocak geneline oranla yüksek çıkması hem de buna bağlı olarak hata paylarının düşük çıkması, yönlere göre oluşturulan eşitliklerin kullanılmasının daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar vereceğini göstermektedir.

Ancak yönlere göre oluşturulan eşitliklerin güvenilirliğinin artırılması için veri sayılarının da her bir yön için yeterli olması (en az 30 adet) gerekmektedir. Bu şekilde yapı ve tesislere zarar vermeyecek daha kontrollü ve hassas atımların planlanabileceği düşünülmektedir.

#### 4. ÖNERİLER

- Sahada bundan sonra yapılacak patlatmalarda daha emniyetli ve güvenilir olması bakımından, son yıllarda bütün açık işletme patlatma faaliyetlerinde titreşimin daha kontrollü yapılabildiği NONEL sistemlerinin kullanılması yararlı olacaktır.
- Ocakta yapılacak patlatmaların yönlere göre geliştirilen eşitliklere göre gerçekleştirilmesi gerekir. Kontrollü patlatma ilkelerinin uygulanmakta olduğu bu kalker ocağının üretimi sırasında geliştirilen eşitlikler göz önünde bulundurularak, önerilen paternler doğrultusunda çok daha hassas ve kontrollü atımların gerçekleştirileceği açıktır.
- Ayrıca ocakta çalışılan basamakların yönleri, derinlik, kazısı yapılan farklı jeolojik yapı, vb. değiştiği takdirde ölçümler mutlaka yapılmalı ve değişen çalışma yönlerine göre yeni eşitlikler geliştirilmelidir. Böylelikle çevre yapı ve tesislere zarar vermeyecek kontrollü atımlar planlanabilecek ve rahatlıkla uygulanabilecektir.
- Titreşim ölçümlerinin birden fazla sismografla hem zeminde hem de binalarda eş zamanlı alınarak ayrıntılı analizlerin yapılması (Fast Fourier Transform) gereklidir. Binayı uyaran ve zeminden gelen dalgaların etkin frekansları ve göreceli genlikleri belirlenerek, binaların rezonansa girip girmediği, zemindeki dalganın binaya hangi oranda iletiildiği veya dalga şiddetinin ne kadar büyüdüğü (büyütme faktörünün belirlenmesi) araştırılmalıdır.
- Patlatma işlemini gerçekleştirecek olan ateşçinin atım noktasına en az 250 m mesafede olması ve güvenli bir noktadan ateşleme işlemini gerçekleştirmesi gerekir.
- Çevre halkın patlatma işlemlerinden önce kesinlikle bilgilendirilmesi ve halk ile sürekli iyi ilişkiler içerisinde olunması gerekir. Patlatma çalışmaları için, patlatma dizaynı sırasında gerekli bütün kontrollerin yapıldığından emin ve gerekli emniyet tedbirleri alındıktan sonra patlatma işlemi gerçekleştirilmelidir.
- Çalışma sahasına yakın mesafede bulunan titreşime karşı hassas yapılar göz önüne alındığında, ocakta yapılacak patlatmalı kazı esnasında titreşim ölçümlerinin kontrollü bir şekilde sürdürülmesinin her bakımdan yararlı olacağı kanısındayız.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Kesimal, A., Delme-Patlatma Lisans Ders Notları, K.T.Ü., Trabzon, 2002.
- [2] Dowding, C. H., Aimone C. T., Rock Breakage, Explosives. Mining Engineering Handbook, 1992, Chapter 9.2, 722-746.
- [3] Raina, A. K., Chakraborty, A. K., Choudhury, P.B., Ramulu, M., Bandyopadhyay, C., Human Response to Blast-Induced Vibration and Air-Overpressure:an Indian Scenario, Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 63 (2004) 209-214.
- [4] Manoj, E. V., Prasannakumar, V., Environmental Impact Assessments and Environmental Management Plan-a Case Study of Magnesite and Dunite Mine, South India, Boletim Paranaense de Geociencias, 50 (2002) 21-25, Editora UFPR.
- [5] Richards, A. B. and Moore, A. J., Report on The Effects of Blasting Prepared for the Environment Effects Statement, 22.02.2005, Australia.
- [6] Hopler, R. B., Blasters' Handbook, 17th Edition, International Society of Explosive Engineering, Ohio, USA, 1998, ISBN: 1-892396-009.
- [7] Ntnu-Anleggsdrift, Project Report 14A-98 Rock Blasting Technology, Blasting with Restrictions, 1998.
- [8] İnal. H. S., Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının özellikleri ve çevresel etki değerlendirme çalışmaları, Nitromak Sektörel Dergi, 8 (Kasım 2005) 21-25.
- [9] Atlas Powder Company, Explosive and Rock Blasting, 1987, 321-406.
- [10] Cihangir, F., Kesimal, A., Erçikdi, B., Durmuş, O., Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, Mayıs 2005, 149-158.
- [11] Bilgin, A., Esen, S. ve Kılıç, M., TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi için Araştırma, Nihai Rapor, TKİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 1998.
- [12] Bilgin, H. A., Esen, S., Kılıç, M., ve Aldaş, G, G, U., Yeniköy Linyit İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının İncelenmesi, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Nisan 2000, Ankara, 147-159.
- [13] Cihangir, F., Kesimal, A., Ercikdi, B., Durmuş, O., Analysis of Blast-Induced Vibrations at a Limestone Quarry, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference SGEM 2005, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Varna, Bulgaria, 13-17 June 2005, 287-298.

- [14] Department Of The Army, U.S. Army Corps Of Engineers, Blasting Vibration Damage and Noise Prediction and Control, Etl-1110-1-142, U.S. Government Printing Office, Washington, Dc., 1 September 1989.
- [15] Durmuş, O., Kesimal, A., Ercikdi, B., Cihangir, F., Estimation of the Ground Vibration Parameters Induced By Blasting During Tunnel Excavation, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference SGEM 2005, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Varna, Bulgaria, 13-17 June 2005, 273-280.
- [16] Durmuş, O., YoroZ Tüneli Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçümü Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
- [17] Ercikdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., Safety Evaluation Of A Historic Place and School Close To Limestone Quarry Blasts, International Conference SGEM 2004, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria, 14-18 June 2004, 181-192.
- [18] Erçıkdi, B., Araklı Taşönü Kalker Ocağında Yapılan Atımların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
- [19] Erçıkdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., Cihangir, F., Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Fen Bilimleri Dergisi, Dumlupınar Üniversitesi, 7 ( Aralık 2004) 195-216.
- [20] Erçıkdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., Kaya, R., Bafra Yöresi Titrekkaya Mevkii Taşocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Bölgedeki Tarihi Yapılar Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 3-4 Aralık 2003, 221-229.
- [21] Kahriman, A., Kesimal, A., Tuncer, G., Prediction and Measurements of Environmental Problems Produced from Blasting, Second Symposium on Mine Environmental Engineering, England, 1998, 231-239.
- [22] Kesimal, A., Cihangir, F., Erçıkdi, B., Yılmaz, E., Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Ocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları Ve Değerlendirilmesi, Ara Rapor 1, Trabzon Çimento Sanayi A.Ş., KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, 2004.
- [23] Kesimal, A., Cihangir, F., Erçıkdi, B., Yılmaz, E., Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Ocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları Ve Değerlendirilmesi, Ara Rapor 2, Trabzon Çimento Sanayi A.Ş., KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, 2005.
- [24] Hoek, E., Bray, W.J., Kaya Şev Stabilitesi, MMO Yayını, (Çeviri: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.

- [25] Cihangir, F., Kesimal, A., Erçikdi, B., Taşocaklarında Uygulanan Galeri Patlatmalarının Çevresel Hasar Potansiyelinin İncelenmesi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, Mayıs 2005, 127-134.
- [26] Dowding, C. H., Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1985, 297.
- [27] Kahrıman, A., Görgün, S., Karadoğan, A. ve Tuncer, G., Açık Ocak Basamak Patlatmalarından Kaynaklanan Yersarsıntısı Hızının Tahmini-Çan Linyit İşletmesi'nde Örnek Bir Çalışma, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara, Haziran 2001, 29-39.
- [28] Kahrıman, A., Görgün, S., Karadoğan, A. ve Tuncer, G., Taşıt Araçları Yan Sanayi Altyapı İnşaatında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçümleri ve Değerlendirilmesi, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, Nisan 2000, 125-135.
- [29] Kahrıman, A., Predictability of the Ground Vibration Parameters Induced by Blasting During The Tunneling, Mineral Resources Engineering, 11,3 (2002) 279-291.
- [30] Kaya, R., Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Ercikdi, B., A Review of Environmental Effects Resulting From Quarry Blasting, 3<sup>rd</sup> International Conference SGEM 2003, Modern Man. of Mine Producing, Geology and Environ. Protection, June 2003a, Varna, 87-96. 17. Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara, Haziran 2001, 29-39.
- [31] Siskind, D.E., Crum, S.V., Plis, M.N., Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Homes Near a Large Surface Coal Mine in Indiana, Bureau of Mines, Washington, 1993.
- [32] Costa, E. S. ve Ayderes, S., Practical Way to Reduce Environmental Rock Blasting Problems, Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production Proceedings, Cagliari, July 1996, 291-297.
- [33] Lees, D., Constraints for Tunnel Construction in the Urban Environment and How to Overcome Them, [www.aucta.com.au](http://www.aucta.com.au)
- [34] Lees, D., History of Drill and Blast, Technical Papers, [www.aucta.com.au](http://www.aucta.com.au)
- [35] Nicholls, H.R., Johnson, C.F., and Duvall, W.I., Blasting Vibrations and Their Effects on Structures, United States Bureau of Mines Bulletin 656, Washington, 1971.
- [36] Siskind, D.E., Stagg, M. S., Kopp, J. W. and Dowding, C. H., Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting, United States Bureau of Mines, Report of Investigation 8507, Washington, 1980.
- [37] Tosun, S., Madencilikte Kullanılan Patlayıcı Maddelerin Performans Hesaplamaları ve Uygun Patlayıcının Seçimi, 13. Madencilik Kongresi, Ankara, Mayıs 1993, 124-135.



- [38] İnal, C., Esensoy, Ö. ve Sözer, T., İstatistik Terimleri Sözlüğü, Türk Dil Kurumu, Ankara, 1983.
- [39] Dowding, C. H., Monitoring and Control of Blast Effects, Mining Engineering Handbook, 1 (1992) 746-760.
- [40] The Control of Blasting at Surface Mineral Workings, February 2000, [www.scotland.gov.uk](http://www.scotland.gov.uk)
- [41] Kesimal, A., Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi, Yüksek Lisans Ders Notları, Trabzon, 2004.
- [42] CMRI S & T Project Report–GAP/VI/2, Investigations into the influence of blasting pattern and geotechnical properties of the surrounding rock mass on the ground vibration, fragmentation, fly-rock etc., Central Mining Research Institute, Dhanbad, May 1991.
- [43] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carcedo, F.J.A., Drilling and Blasting of Rock, A.A. Balkema, Brookfield, Netherlands, 1995.
- [44] ISEE., Blasters Handbook, International Society of Explosives Engineers Cleveland, Ohio, 1998.
- [45] Anonim, Explosives in Opencast Mining, 1975.
- [46] Newmark, N.M. and Hall, W.J., Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, CA, 1982, 103.
- [47] Akeil, S., Comparative Study on Ground Vibrations Prediction by Statistical and Neural Networks Approaches at Tunçbilek Coal Mine, Panel Byh., Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran 2004.
- [48] Bayraktar, A., Yapı Dinamiği Yüksek Lisans Ders Notları, Trabzon, 2005.
- [49] Fertis, D. G., Dynamics and Vibration of Structures, The University of Akron, Akron, Ohio, U.S.A., 1972.
- [50] Bilgin, H. A., Esen, S. ve Kılıç, M., Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisi ve Büyütme Faktörünün Önemi, Türkiye 16. Madencilik Kongresi, Ankara, Haziran 1999, 25-32.
- [51] Richard Heggie Associates Pty Ltd., North South Bypass Tunnel Environmental Impact Statement Working Paper No.8 Construction Noise and Vibration, SKM Connell Wagner Joint Venture, Australia, 2005.
- [52] Oriard, L. L. Blasting Operations in the Urban Environment, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol IX, 1 (1972).
- [53] Lundborg, N., The Probability of Flyrock–Swedish Detonic Research Foundation, 1981.

- [54] Kesimal, A., Ercikdi, B., Kaya, R., Yılmaz, E., Trabzon İli, Araklı İlçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Taşocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, Trabzon Çimento Sanayi A.Ş., KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, 2003.
- [55] Kesimal, A., Erçıkdi, B., Cihangir, F., Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Ocağında Oluşan Heyelanlı Bölgenin Basamaklandırma ve Kazı Projesi, Trabzon Çimento Sanayi A.Ş., KTÜ. Mühendislik Fakültesi, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, Aralık 2005.
- [56] Harita Genel Komutanlığı, 1984.
- [57] Patır Orhan M., Elektrikli Kapsüllerle Patlatma Devrelerinin Ateşlenmesi, Nitro-Mak Sektörel Dergi, 1, 18-22.
- [58] Tüysüz, N., İleri İstatistik Jeoloji, Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ, 2003.
- [59] Cihangir, F., Kişisel Görüşmeler, Trabzon, 2004-2005.



## ÖZGEÇMİŞ

Ferdi CİHANGİR, 25.12.1978'de Kayseri'nin Bünyan ilçesinde doğdu. İlkokulu Bünyan ilçesine bağlı Karakaya Kasabası'nda Karakaya Kasabası İlköğretim Okulu'nda, Ortaokulu Kayseri'de Sabahat Hıfzı Gözübüyük Ortaokulu'nda, liseyi Kayseri'de yabancı dil ağırlıklı Kocasinan Lisesi'nde okudu. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Lisans eğitimi süresince meslek stajlarını Karadeniz Bakır İşletmeleri A.Ş.'de (Murgul-Artvin) açık işletme+cevher zenginleştirme tesislerinde (20 gün) ve Park Termik Elektrik Sanayi Ticaret A.Ş.'de (Çayırhan-Ankara) yeraltı linyit işletmelerinde (40 gün) tamamladı. 2002 yılında "Çayırhan Linyit Havzasında Uygulanan Mekanize Kazı ve Ayakıçi Nakliyat Sisteminin Etüdü" başlıklı bitirme tezini hazırlayarak lisans eğitimini tamamladı. Eylül 2002'de Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atandı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce'dir.