

DİLİM KALINLIĞININ PATLATMA KAYNAKLI
YERSARSINTILARI VE SAHA SABİTLERİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet BERBER

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart - 2007

**DİLİM KALINLIĞININ PATLATMA KAYNAKLI YERSARSINTILARI VE SAHA
SABİTLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet BERBER

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd.Doç. Dr. Önder UYSAL
Ortak Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ercan ARPAZ

Mart - 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mehmet BERBER'in YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Dilim Kalınlığının Patlatma Kaynaklı Yersarsıntıları ve Saha Sabitleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15/02/2007

Üye : Doç. Dr. Kaan ERARSLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Önder UYSAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ercan ARPAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ercan EMİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

Fen Bilimleri Enstitüsünün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DİLİM KALINLIĞININ PATLATMA KAYNAKLI YERSARSINTILARI VE SAHA SABİTLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet BERBER

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Önder UYSAL

Ortak Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ercan ARPAZ

ÖZET

Bu çalışmada, açık işletmelerde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu oluşan yersarsıntılarının, dilim kalınlığı ile ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, iki farklı ocakta çalışmalar yapılmıştır. Bu ocaklarda, 3 m ile 15 m arasında değişen dilim kalınlıklarında tek delik patlamaları ve üretim patlatmaları gerçekleştirilmiş ve değişik mesafelerden yersarsıntısı ölçümleri yapılmıştır. Tek delik patlatmaları S.L.İ. ve G.L.İ.' de yapılmıştır. SLİ' deki çalışma için 4 farklı dilim kalınlığı belirlenmiştir (4, 10, 12 ve 14 m). Toplam 20 adet patlatma yapılmış ve değişik mesafelerden (25–150 m) yersarsıntısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. G.L.İ. açık işletmesinde çalışma kapsamında belirlenen dilim kalınlıkları 3, 4, 5 ve 6m' dir. Patlatmalar sonucu oluşan yersarsıntıları, 25, 50, 75 ve 100 m mesafelerden ölçülmüştür. Bu ocaktaki çalışmalarda toplam 16 adet patlatma gerçekleştirilmiştir. Üretim patlatmaları ise S.L.İ. de gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya baz teşkil eden dilim kalınlığı değerleri 6–15 m arasında değişmektedir. Tüm patlatmalarda, gecikme başına patlayıcı madde miktarı, dilim kalınlığı ve ölçüm mesafesi değerleri kaydedilmiştir. Toplam 26 adet patlatma yapılmış ve değişik mesafelerden (50–100 m) yersarsıntısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesi neticesinde, dilim kalınlığının yersarsıntısı üzerinde bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, dilim kalınlığı arttıkça, oluşan yersarsıntısı değerlerinde bir azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Açık işletmelerde patlatma, dilim kalınlığı, saha sabiti, yersarsıntısı,

STUDIES ON THE EFFECT OF BURDEN AND FIELD COEFFICIENTS WIDTH ON BLAST INDUCED VIBRATION IN OPEN PIT MINES

Mehmet BERBER

Mining Engineering, M. S. Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Assoc Prof. ÖNDER UYSAL

Thesis Supervisor: Assoc Prof. ERCAN ARPAZ

SUMMARY

This study concerns with the correlation between burden and blast induced vibrations in open pit mines. For this purpose, some studies were done for two different mines. In these mines, single hole blasts and production blasts at burdens having widths ranging from 3 to 15 meters were carried out. The vibrations caused by explosions measured from various distances. The single hole blasting have been made in SLE and GLE. Four different burden (4, 10, 12 and 14 m) have been determined for SLE. 20 blasting have been made and the vibration results were measured from various distances (25–150 m). The determined burden thicknesses for GLE are 3, 4, 5, 6 m. The vibration results were measured from various different distances (25, 50, 75 and 100 m.). Totally 16 blasting have been made in SLE open pit. Production blasts have been made in SLE open pit. The burden based on the study, have been changed between 6-15 m. All the values of burden thicknesses, measurement distances and the amount of blasting material per delay time have been noted. Totally 26 blasting have been made. The vibration results have been recorded. By considering these results, it was found that the burden width has a significant impact on vibrations. Consequently, it was concluded that vibrations decrease as burden increases.

Key words: Blasting, vibration, burden, field coefficients

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana her konuda yardımcı olan tez danışmanlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Önder UYSAL ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ercan ARPAZ' a öncelikle teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmam boyunca gösterdikleri sabırdan dolayı, değerli eşime, anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmaları sırasında gösterdikleri ilgi ve destek nedeniyle SLİ. Müessese Müdürü Sayın Yüksel KOCA' ya, Müessese Müdür Yardımcısı Sayın Yunus AKMAN' a, Etüt-Proje Şube Müdürü Sayın Lütfü ERKMEN' e, Hazırlık İşleri Baş Mühendisi Sayın Erçin AÇIKEL' e ve Açık Ocak Mühendisi M. Akif CEBİ' ye ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet BERBER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Delme Patlatma Tasarımının Önemi.....	3
2.2. Patlatma ile Parçalanma Mekanizması.....	4
2.2.1. Detonasyon.....	4
2.2.2. Şok ya da birim detonasyon dalgalarının yayılması.....	5
2.2.3. Gaz basıncının yayılımı.....	6
2.2.4. Kütle Taşınması	7
2.3. Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkiler	9
2.3.1. Genel.....	9
2.3.2. Taş Savrulması.....	10
2.3.3. Toz Yayılımı (Emisyonu)	11
2.3.4. Yer sarsıntısı.....	11
2.3.5. Hava şoku ve gürültü	22
2.3.6. Patlatma hasar kriterleri	24
2.3.7. Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri	32
2.3.8. Yer sarsıntısı ve hava şoku etkilerini azaltma yöntemleri.....	33
2.3.9. İnsanların patlatma kaynaklı yer sarsıntularına tepkileri	34
2.3.10. Dilim Kalınlığının PPV Üzerindeki Etkisi Konusunda Yapılmış Çalışmalar.....	36
3.ÇALIŞMA BÖLGELERİNİN TANITIMI VE UYGULA	44
3.1. Yeri ve Ulaşımı	44
3.2. Çalışmada Kullanılan Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemleri.....	45
3.2.1. Mini Seis II ölçüm cihazının tanıtımı.....	46
3.2.2. InstanTEL Mini Mate Plus ölçüm cihazının tanıtımı	47
3.3. Sarsıntı Ölçer Cihazların Kurulumu.....	49
4. ARAZİ ÇALIŞMALARI	51

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1. Tek Delik Patlatmalarında Yapılan Ölçümler.....	51
4.2. Üretim Patlatmalarında Yapılan Ölçümler.....	54
5 ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	56
5.1 Tek Delik Patlatmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
5.2. Üretim Patlatmaları Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR DİZİNİ	65
EKLER.....	68
1. Atımlara Ait Örnek Veri Formları	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1. Parçalanma derecesi ve maliyet ilişkisi.....	4
2. 2. Detonasyon un ardından birim deformasyon dalgalarının yayılması.....	5
2. 3. Gaz basıncı ile çatlak oluşumu.....	6
2. 4. Parçalanma mekanizması.....	7
2. 5. Kütle taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik taban payı).....	8
2. 6. Patlatmanın çevresel etki alanları.....	10
2. 7. Kaya yapısı içindeki elastik deformasyonun elemanları.....	13
2. 8. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu.....	15
2. 9. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi.....	16
2. 10. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi.....	17
2. 11. Tipik bir kömür patlatmasında parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi.....	17
2. 12. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri.....	23
2. 13. USBM' nin alternatif kriter analizi.....	29
2. 14. OSM' nin alternatif kriter analizi.....	31
2. 15. Sarsıntı süresine göre insanların değişik seviyelerde algıladıkları parçacık hızı değerleri.	35
2.16. Sarsıntı süresi ve frekansına göre insanların değişik seviyelerde algıladıkları sarsıntı düzeyleri.....	36
2. 17. Bergmann ve ark. Ham deneysel verileri (Bergmann et al., 1973).....	37
2. 18. Blair ve Birney tarafından elde edilen VPPV-Ölçekli mesafe ilişkisi.....	38
2. 19. Liu ve Ludwig tarafından elde edilen VPPV- Ölçekli Mesafe İlişkisi.....	39
2. 20. Heiling ve ark tarafından elde edilen VPPV- Ölçekli mesafe ilişkisi.....	40
2. 22. Değişik dilim kalınlıklarında tek delik patlatmalarına ait izleme deliklerinin şematik görünüşü.....	43
2. 23. Brent ve ark. tarafından elde edilen veriler.....	43
3. 1. S.L.İ. Yer bulduru haritası.....	44
3. 2. G.L.İ. yer bulduru haritası.....	45
3. 3. Mini Seis II model ölçüm cihazının görünümü.....	46
3. 4. Instantel Mini Mate Plus cihazının görünümü.....	48
4. 1. S.L.İ ve G.L.İ.'de gerçekleştirilen tek delik patlatmalarının şematik görünümü.....	52
5. 1. Nicholls ve ark (1971) göre Maksimum Parçacık Hızı –Ölçekli Mesafe ilişkisi.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5. 2. S.L.İ'ye ait dilim kalınlığı bazında sınıflandırılmış veriler.....	58
5. 3. G.L.İ.'ye ait dilim kalınlığı bazında sınıflandırılmış veriler	58
5. 4. Üretim patlatmalarının değerlendirilmesi ile elde edilen grafik	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1. Patlayıcı madde yoğunluk ve detonasyon ilişkisi[6].....	5
2. 2. Titreşim parametrelerinin aralığı [17].....	18
2. 3. Cihazın frekans bandına uygun olarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri.....	24
2. 4. Crandell'in enerji oranına bağlı hasar kriteri.	26
2. 5. Langefors ve arkadaşlarının parçacık hızını esas alan hasar kriteri.	26
2. 6. Edwards ve Northwood'un parçacık hızını esas alan yaklaşımı[14]	26
2. 7. USBM' nin yaklaşımı.	27
2. 8. Bauer ve Calder'in hasar kriteri.	27
2. 9. Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri[41]	30
2. 10. Uzaklığa bağlı müsaade edilen maksimum parçacık hızları[41]	30
2. 11. Alman standartlarına göre (DİN 4150) yapı tipi, hız-frekans ilişkisi[43].....	32
2. 12. Patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri[44].....	33
2. 13. Yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerini azaltmak için dikkate alınması gereken parametreler[2].	34
3. 1. White Marka Mini Seis II Model Sismografin teknik özellikleri [47].....	47
3. 2. Titreşim Ölçer Instantel Mini Mate Plus cihazının bazı teknik özellikleri	49
4. 1. Çalışılan formasyonların bazı mekanik özellikleri [49].....	51
4. 2. S.L.İ'de gerçekleştirilen patlatmalar ve ölçülen yersarsıntısı değerleri	53
4. 3. G.L.İ.'de gerçekleştirilen patlatmalar ve ölçülen yersarsıntısı değerleri	54
4. 4. SLİ'de gerçekleştirilen üretim patlatmaları ve ölçülen yersarsıntısı değerleri.....	55
5. 1. Değişik Yöntemlere Göre Elde Edilen Regresyon Katsayıları	56
5. 2. Verilerin Dilim Kalınlığı Bazında Değerlendirilmesi İle Elde Edilen Korelasyon Katsayıları.....	59
5. 3. Değişik yöntemlere göre elde edilen regresyon katsayıları.....	61

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi maden ve inşaat sektörlerinin vazgeçilmez faaliyetlerinden birisi de patlatma işlemidir. Madencilik ve alt yapı çalışmalarının artmasına paralel olarak artan ve genellikle kaçınılmaz olan patlatmalı kaya kazısı işleri, çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlar arasında en fazla şikayet konusu olan ise patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısıdır. Bilinçli ve duyarlı işletmeler, patlatmaların yarattığı olumsuz etkileri asgari düzeyde tutabilmek ve çevreye zarar vermemek için gerekli ölçüm, değerlendirme ve önlem alma çalışmalarını yapmak ya da yaptırmak zorundadırlar. Mühendislerin temel amacı bir işi güvenli, verimli ve ekonomik olarak yapmaktır. Bu amaçların önde geleni olan güvenlik, konu insan sağlığı ve hayatı olunca diğer amaçlara nazaran özel bir önem arz etmektedir. Zengin maden yataklarının eskisi kadar çok bulunmaması ve teknolojik gelişmeler madencilik faaliyetlerinin yerleşim yerlerine daha da yaklaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca modern hayatın bir sonucu olarak şehir içlerinde büyük inşaat projelerinin yapılması ihtiyacı kaçınılmaz olmaktadır. Bütün bu gerçekler insan yaşam alanlarına yaklaşan hatta iç içe yürütülen bu faaliyetlerde çevresel etkilerin titizlikle değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Yer sarsıntılarını depreme benzer etkiler yapmaktadır. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik göstermektedirler. Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadır.

Patlatmadan kaynaklanan çevre problemlerinin bir çoğu yapısal hasarlar üzerine yoğunlaşmakla birlikte hayvancılıkla uğraşılan bölgelerde hayvanların verimlerinin düşmesi ve hatta insanların performanslarının etkilenmesi gibi şikayetlerde gündeme getirilmektedir. Gündeme gelen bu haklı veya haksız şikayetler, teknik elemanların uğraşması gereken en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir[1]. Bu sorunlardan dolayı zaman zaman üretim faaliyetleri aksamakta, hatta işletmeler tazminat ödemek gibi problemlerle karşı karşıya kalmaktadır.

Patlatma kaynaklı çevresel sorunlar, patlayıcı madde enerjisinin tamamının parçalanma ve ötelenme işinde kullanılmadığını göstermektedir. Çevresel etkilerden arındırılmış ya da en aza indirilmiş bir patlatma tasarımı aynı zamanda patlayıcı enerjisinin de en verimli şekilde kullanılması anlamına gelecektir. Verimsiz ya da kötü bir patlatma sonucunda kısaca şu sorunlar yaşanabilir.

- Yetersiz parçalanma
- Patlatılan kaya kütlelerinin gerisinde oluşan çatlaklar
- Tırnak oluşumu
- Patarların çıkması
- Fırlayan kaya parçaları ve toz
- Aşırı düzeyde yer sarsıntısı ve hava şoku

Açık işletmelerin bir çoğunda delme ve patlatmanın üretim maliyeti içindeki payı %30-35'lere kadar çıkabilmektedir. Ancak uygun patlatma tasarımlarının uygulanması sonucunda bu oran %10'lara kadar çekilebilmektedir[2]. Ekonomik ve emniyetli bir patlatma sonucunda arzu edilen yığın özellikleri elde edilebilirken çevresel sorunlarda yok edilebilmekte ya da en aza indirilebilmektedir. Buda ancak kontrollü patlatma ile mümkün olmaktadır.

Yerleşim birimlerinin patlatma sonucu oluşan yer sarsıntısından etkilenmesinde, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktası ile yerleşim birimi arasındaki uzaklığın yanı sıra topoğrafya, jeolojik yapı, kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri gibi arazi faktörleri de önemli rol oynamaktadır.

Patlatma sonucu oluşan yer sarsıntısı etkilerinin azaltılmasına yönelik pek çok çalışma yapılmış ve bu yöndeki çalışmalar halen devam etmektedir. Yer sarsıntısını azaltmak için akla gelen ilk önlem, gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarını azaltmaktır. Ancak bu önlem zaman zaman planlanan üretim miktarlarının elde edilmesine engel olmaktadır. Bunun dışındaki çalışmalardan bazıları ön kesme, perde delikleri, hendek yöntemleridir[3,4 ve 5]. Araştırmacıların bazıları yukarıdaki yöntemler ile yer sarsıntısının önemli derecede azaldığını iddia ederken, bazıları ise bu yöntemlerin yersarsıntısının azaltılmasında etkili olmadığını savunmuşlardır. Sonuç olarak bu yöntemlerin etkisi konusunda araştırmacılar arasında bir fikir birliği bulunmamaktadır.

Bu araştırma kapsamında, arazi çalışmaları Türkiye Kömür İşletmeleri'ne bağlı Seyitömer Linyit İşletmesi (SLİ) ve Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) açık ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki işletmede farklı dilim kalınlıklarında hazırlanan ve patlatılan tek delik ve üretim patlatmalarının farklı mesafelerde yersarsıntısı değerleri ölçülmüştür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

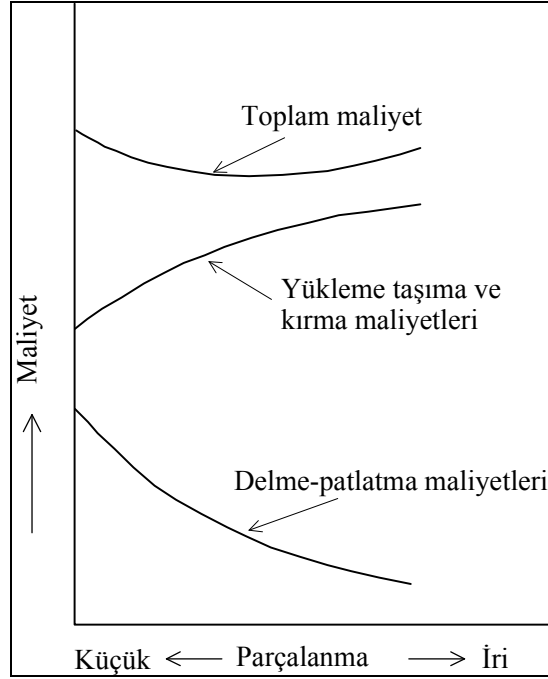
2.1. Delme Patlatma Tasarımının Önemi

Delme ve patlatma faaliyetleri gerek madencilik, taş ocakçılığı ve inşaat sektörlerinde, gerekse kazı gerektiren diğer altyapı çalışmalarında kaçınılmaz olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bunun yanında delme patlatmanın, üretim maliyeti içindeki payı da küçümsenmeyecek düzeydedir. Bu nedenle patlatma sonuçlarının istenilen düzeyde gerçekleştirilebilmesi için kaya özelliklerini, patlayıcı madde özelliklerini ve patlatma geometrisi konfigürasyonlarını uygun bir modelde değerlendiren tasarımlara gerek vardır.

Patlatma yapılacak formasyonda özgül şarj ve uygun dilim kalınlığını önceden belirleme olanağı çok zorsa da, kesin tasarıma ulaşabilmek için deneme yanılmayı esas alan ön tasarımlar ile gerçeğe çok yakın bir değerle başlamak işin maliyeti açısından önem taşımaktadır.

Ekonomik bir patlatma tasarımıyla birlikte çevresel emniyet de ihmal edilmemelidir. Yapılacak patlatmalarda parçacık hızı ve frekans ölçümleri yapılmalı ve bunları kontrol edilebilir sınırlarda tutarak tasarımlar gerçekleştirmek suretiyle çevresel hassasiyet de göz önünde bulundurulmalıdır[6]

Sadece delme-patlatma işlemlerinde hedeflenecek minimum maliyet düşüncesi, birbirini izleyen teknolojik işlemlerin maliyetinde önemli artışlar olmasını görmezlikten gelecektir. Patlatma işlemlerinin maliyeti genel olarak parçalanma derecesinin bir fonksiyonudur (Şekil 2.1.).



Şekil 2. 1. Parçalanma derecesi ve maliyet ilişkisi [6]

2.2. Patlatma ile Parçalanma Mekanizması

Patlayıcı madde ateşlendiğinde saniyenin binde biri gibi çok kısa bir sürede oluşan hidrodinamik reaksiyon sonucu patlayıcı enerjisi, çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz şeklinde ortaya çıkmakta böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açmaktadır[7].

Deliğe konulan ve sıkılması yapılan patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen zaman 4 aşamaya ayrılabilir;

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

2.2.1. Detonasyon

Detonasyon kırılma işleminin başlangıcıdır. Delik içerisindeki patlayıcı karışım, detonasyondan hemen sonra yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlara dönüşmektedir.

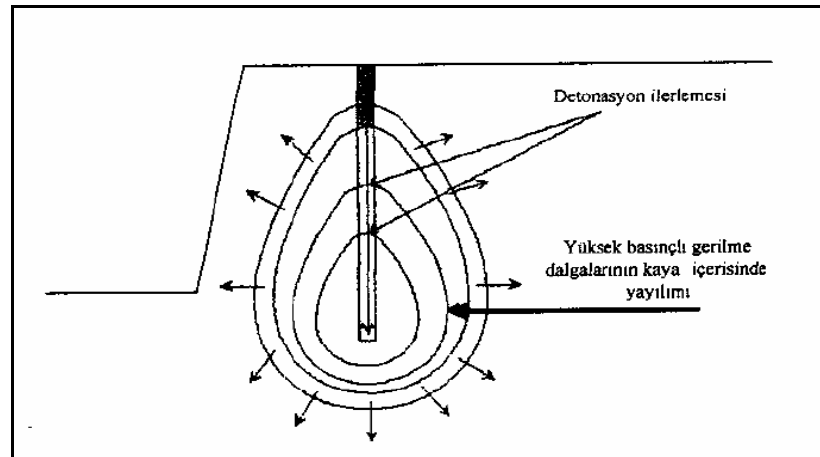
Detonasyondaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 1650-3875°C ve basınçlar ise 9 – 275 kbar arasındadır. Çizelge 2.1’ de bazı patlayıcıların detonasyon basınçları verilmiştir[6].

Çizelge 2. 1. Patlayıcı madde yoğunluk ve detonasyon ilişkisi[6]

Patlayıcı Madde	Yoğunluk (gr/cm ³)	Detonasyon Hızı (m/s)	Detonasyon Basıncı	
			(kbar)	(psi)
ANFO	0,81	3657,6	27	3969000
Powermax 420	1,19	5791,2	100	1470000
H-Prime	1,40	6096	130	1911000
‘G’ Booster	1,60	7924,8	251	3689700

2.2.2. Şok ya da birim detonasyon dalgalarının yayılması

Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütleleri içerisinde yayılır. Ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Bu durum Şekil 2.2.’de gösterilmiştir.



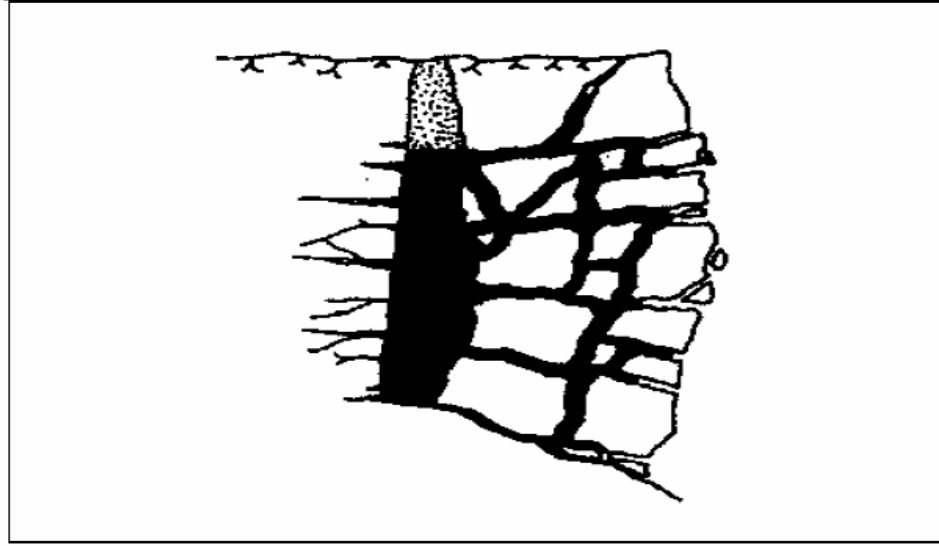
Şekil 2. 2. Detonasyon un ardından birim deformasyon dalgalarının yayılması [6]

Patlayıcı madde ateşlendikten sonra delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşacak ve daha sonra exponansiyel olarak bozulacaktır. Bu hızlı bozulma sonucu delik

genişleyecek ve gaz soğuyacaktır. Delik cidarının genişlemesi malzemede çatlaklar ve/veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır [6].

2.2.3. Gaz basıncının yayılımı

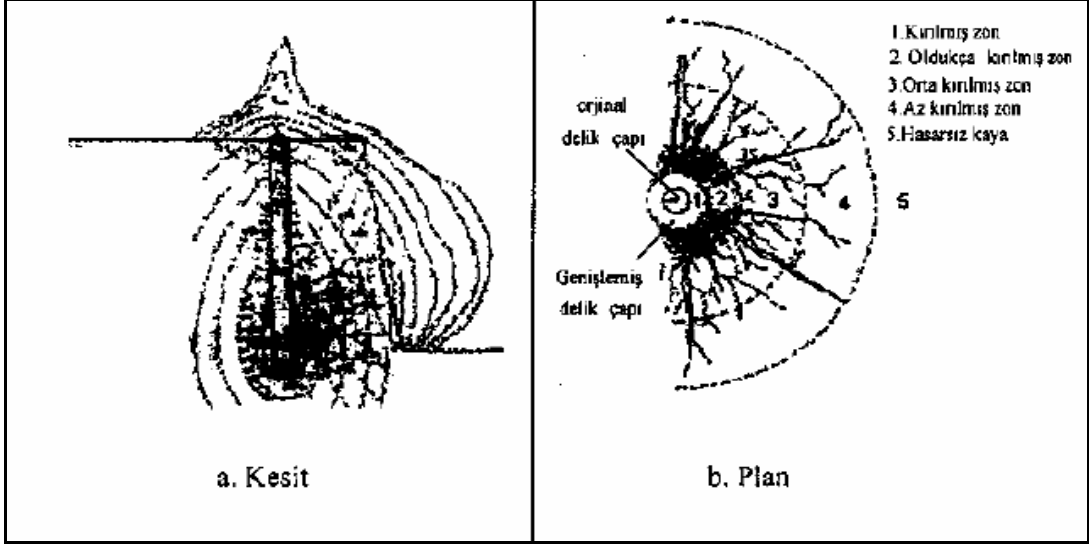
Arazi gerilmeleri haline dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 2.3' te verilmiştir [6].



Şekil 2. 3. Gaz basıncı ile çatlak oluşumu[6]

Bu yüksek gaz basınçları sayesinde parçalanmış malzeme yer değiştirmektedir. Gazlar, direncin en düşük olduğu yöne doğru (çatlaklar, eklemler, faylar, süreksizlikler, düşük kohezyonlu tabakalar) hareket edeceklerdir [7].

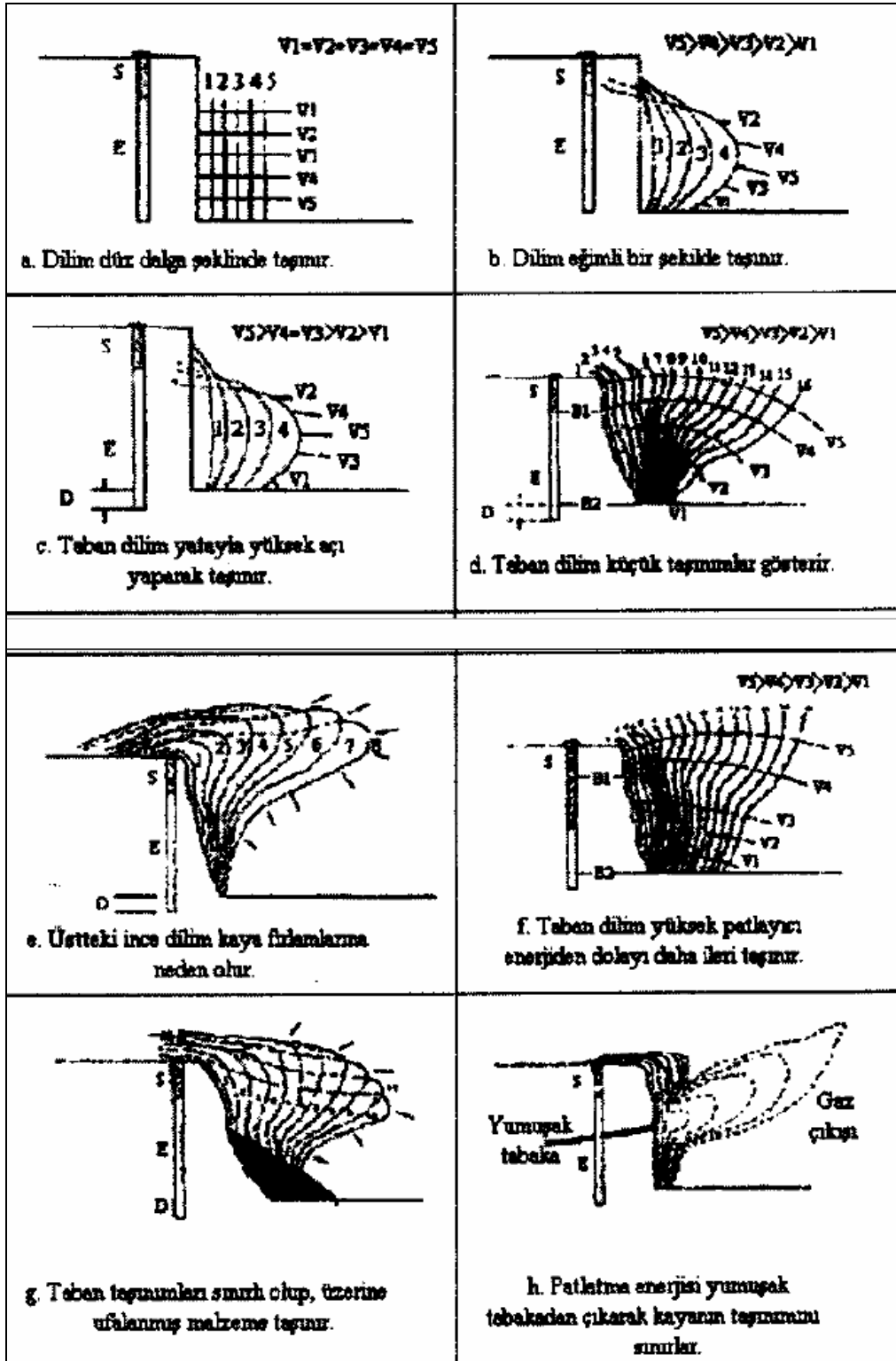
Eğer bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyorsa gaz basıncı atmosfere çıkacak, basınç düşecek, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalacaktır [6]. Delik doldurulup ateşlendikten sonra basamak ve kaya ortamında oluşan parçalanma olayları kesit ve plan görünüş olarak Şekil 2.4.'de görülmektedir.



Şekil 2. 4. Parçalanma mekanizması [6]

2.2.4. Kütle Taşınması

Malzemenin hareketi parçalanma işlemindeki son aşamadır. Temel parçalanma gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu oluşmaktadır. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasındaki en önemli faktör delik yükü, delik boyu ve delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Değişik durumlara göre malzeme taşınmaları Şekil 2.5’de gösterilmiştir [6].



Şekil 2. 5. Kütle taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik taban payı) [8]

2.3. Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkiler

2.3.1. Genel

Bilindiği gibi patlayıcı madde kullanımı barutun icadıyla başlamış olup günümüzde de gelişen teknolojiye bağlı olarak giderek artan bir oranda devam etmektedir. İnsanlar ilk bulunuşundan beri patlayıcı maddenin korkunç gücünü kontrol altına almaya çabalamıştır. Son bir kaç yüzyıldan beri de patlayıcı maddeler ağırlıklı olarak askeri amaçların dışında maden ve inşaat sektörlerinde verimli ve ekonomik olarak hammadde sağlamada kullanılmaya başlanmıştır. Ekonomik ve teknik yönden uygun patlatma tasarımları yapılırken çevreye verilmesi muhtemel olumsuz etkiler de göz ardı edilmemelidir [9].

Patlatma tekniklerinin olumlu gelişmesi ile patlatma operasyonlarının mevcut yapıların zeminlerinde de uygulanması mümkün olmuştur.

Son yıllarda yaşam alanlarında yapılan ve yapılması gereken patlatma işlemleri hızla artmış ve nüfus artışı ile birlikte artmaya devam edecektir.

Patlayıcı maddeleri kaya kütlelerini kırma amacı ile kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört değişik olumsuzluk bulunmaktadır. Bunlar;

- Tas savrulması
- Toz emisyonu
- Yer sarsıntısı (Titreşim)
- Hava şoku'dur

Patlatmanın çevresel etki alanları Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Patlatmayla ilgili problemler gelişmiş ülkelerde, ülkemize göre çok daha önceleri yaşandığından, patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin tanımlanması, oluşabilecek hasarların önceden tahmini ve çözümüne yönelik standart ve kriterlerin oluşturulması çalışmaları çok öncelerden beri sürdürülmektedir [2].

- 3) Patlatma delikleri kullanıldığında uygun delik geometrisi hesaplanarak bulunur, böylelikle deliklere uygun yükler verilmiş olur.
- 4) En az, delik-ayna (yük) mesafesi boyutunda sıkılama boyu bırakılır ve uygun bir malzeme kullanılarak ağız sıkılması yapılır.
- 5) Gecikmeli kapsüller kullanılır.

2.3.3. Toz Yayılımı (Emisyonu)

Patlatma sonucu, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmekte ve bu hareket sırasında da bir kısım iç öğütmeler meydana gelmektedir. Bu nedenler ile belirli bir miktar tozun çevreye yayılması kaçınılmazdır. Ancak patlatma ile çevreye verilen toz, diğer madencilik faaliyetlerinde açığa çıkan tozlara kıyasla ihmal edilebilecek kadar az miktarlarda ve kısa süreli olmaktadır. Basamak patlatması sırasında toz oluşumuna karşı alınabilecek teknik bir önlem bulunmamakla beraber patlatma sahasının, atımdan önce sulanması bir miktar faydalı olabilmektedir.

2.3.4. Yer sarsıntısı

Yer sarsıntısı patlatma ile çevreye verilen rahatsızlıkların en önemlisidir. Taş savrulması ve hava şoku genellikle patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken, yer sarsıntısı daha uzak mesafelerde (örneğin 2-5 km) hissedilebilmekte ve insanların tepkisine veya binalarda hasara yol açabilmektedir.

Genel olarak sarsıntı nedeni ile yapılan şikayetler üç ana grupta toplanmaktadır;

- 1) Gerçek hasara bağlı şikayetler
- 2) Endişe, korku ve bilgisizlikten kaynaklanan şikayetler
- 3) Çıkar sağlamaya yönelik kötü niyetli şikayetler.

2.3.4.1. Yer sarsıntılarının genel özellikleri

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Yer sarsıntılarını depreme benzer etkiler yapmaktadır. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik göstermektedirler. Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadırlar. Sarsıntıların enerji düzeyleri şu parametrelerle ölçülmeye çalışılmaktadır; parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s^2) ve dalga frekansı (Hz). Binalara verilen hasarda, sarsıntıların taşıdığı enerjinin yanı sıra binaların yapıım

tekniki, boyutları ve üzerine oturdukları zemin özellikleri de etkin olmaktadır [12]. Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir.

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntılarını kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Şu halde yer sarsıntısı incelemelerinde en önemli özelliklerden biri en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise bina da o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez (devir/saniye) sarsıldığını gösterir. Frekans Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma parametreleri, özellikle bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve bir yere kadar da ateşleme yönünden etkilenir. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma yerinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir. Diğer bir deyişle arazi katsayıları ve yer sarsıntısının frekansı da hasar oluşumunda veya oluşmamasında önemli ve tayin edici etmenlerdir

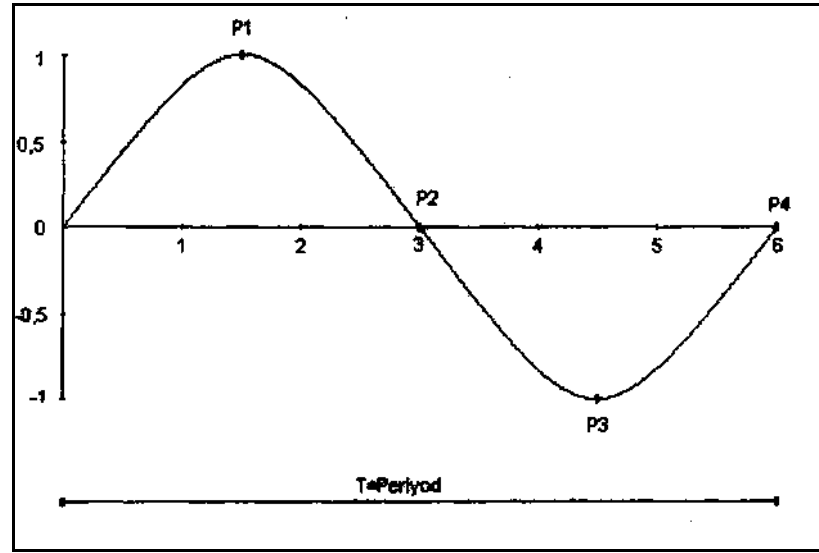
Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmakla beraber, binaların yapım tekniği, boyutları ve üzerine oturdukları zemin özellikleri de hasar oluşumunda etkili olmaktadır [13]. Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir.

Bir kaya yapısı içerisinde patlatma yapıldığı zaman, patlatma noktasının hemen yanı başındaki bölgede kırılma ve kalıcı deformasyonlar oluşur. Patlatma şoku çevreye yayıldıkça enerjisini kaybeder ve kaya yapısı içerisinde sadece elastik deformasyonlara neden olabilir. Söz konusu elastik deformasyonlarda kaya yapısının fiziksel özelliklerine bağlı olarak sönümlenerek yol alır. Deformasyon genlikleri patlatma noktasına yakın olan bölgelerde yüksek, uzak olan bölgelerde ise düşük olmaktadır[14].

Deformasyon genliklerinin yeterli değerde olduğu mesafelerde bulunan bir binada hasar meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Elastik deformasyonun basit bir sinüsoidal dalga olduğu kabul edilirse, Şekil 2.7.'deki gibi çizilebilir. Kaya yapısının herhangi bir noktasının;

- 0 (sıfır) noktasından P1 noktasına gelmesi yer değiştirme olarak tanımlanır, mm ile ölçülür.
- P1 noktasına geliş hızı, parçacık hızı olarak tanımlanır, mm/s ile ölçülür.

- P1 noktasına geliş ivmesi, kütle ivmesi olarak tanımlanır, mm/s^2 ile ölçülür.
- 0 noktası ile P4 noktası arasındaki uzaklık, zaman göstergesinde devir olarak tanımlanır, s ile ölçülür.
- $1/\text{devir}$, frekans olarak tanımlanır, Hertz ile ölçülür.
- 0 noktası ile P4 noktası arasındaki mesafe, uzaklık göstergesi çizelgesinde dalga boyu olarak tanımlanır, m ile ölçülür.



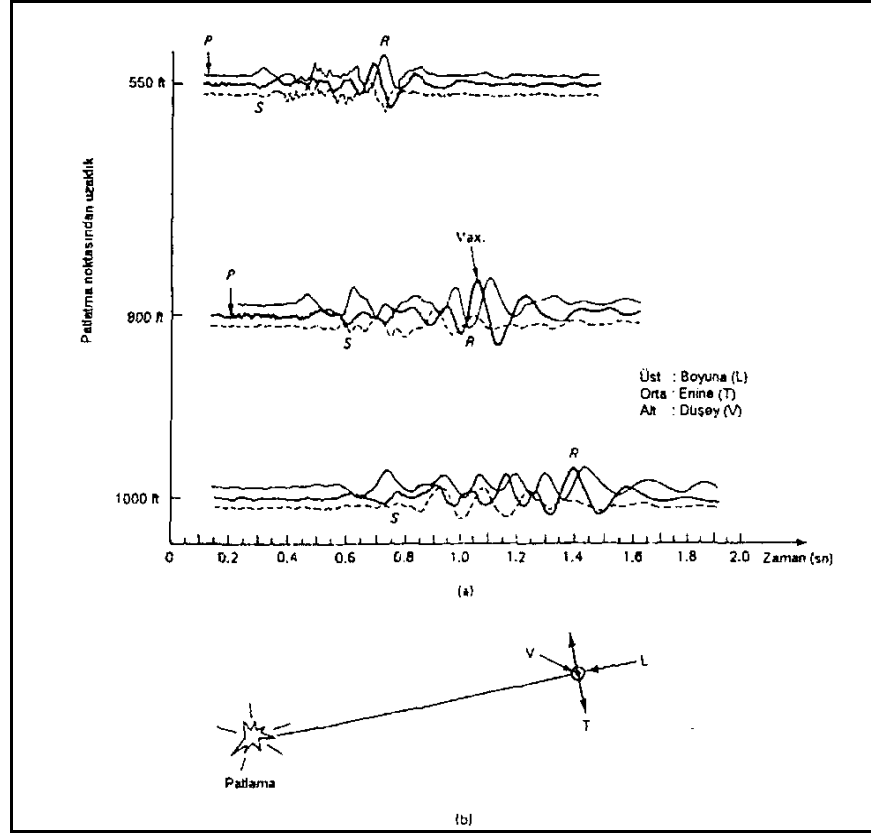
Şekil 2. 7. Kaya yapısı içindeki elastik deformasyonun elemanları [15].

Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma parametreleri, özellikle gecikme başına patlayıcı miktarı, gecikme süresi ve bir yere kadar da ateşleme yönünden etkilenir [13]. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma noktasından uzak mesafelerde, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok sarsıntı dalgasının iletildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir [11,13].

Patlatma sonucu oluşan yer sarsıntısı dalgaları Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi, basınç, makaslama ve yüzey olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Hareket tam olarak üç bileşeni (boyuna(L), enine(T) ve düşey(V)) ile tanımlanmaktadır (şekil 2.8.). Boyuna bileşen (L) genellikle patlatmanın yatay iletimi boyunca ilerlerken diğer iki dik bileşen radyal yönde enine (T) ve düşey (V) yönde hareket etmektedir.

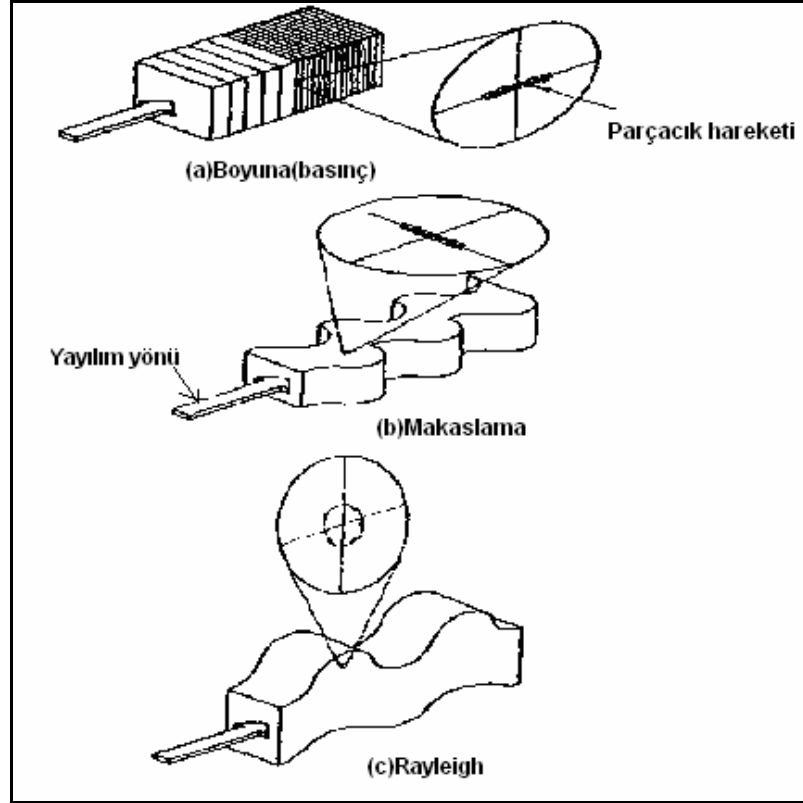
Bu üç temel kategori kendi arasında yüzey dalgaları ve gövde dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gövde dalgaları, kaya yada toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir [2]. Yüzey dalgaları da kendi arasında Rayleigh ve Love olarak ikiye ayrılır. Şekil 2.8.'de R ile gösterilen Rayleigh dalgası en bilinen ve etkin olan bir dalga formudur. Tanımlanması gerekirse; boyuna ve düşey ekseninde elemanları olan, ters dönüşlü eliptik hareketlere neden olan bir dalga formudur. Love (L) dalgaları ise boyuna ve yanal ekseninde elemanları bulunan dalga formudur[16,17]. Yüzey dalga formlarının temel benzerlikleri, kaya yapısında bulunan yüzeylerde polarizasyon ile oluşmaları, düşük frekanslı olmaları düşük yayılma hızı nedeni ile ölçüm noktalarına P ve S dalgalarından sonra ulaşmalarına rağmen genlikleri büyük olduğundan ve yavaş sönmüldüklerinden hasar riskini artırmaktadırlar. Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Patlayıcılar kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgalarını oluşturmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir. Bu keşişmede ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır [2].

Kısa mesafelere bu üç dalga tipide aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise makaslama ve yüzey dalgaları daha yavaş olduklarından, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Fakat birçok patlatma farklı ilerleme yönlerinde ve milisaniyelerle geciktirilmiş küçük patlatmaların bir serisi şeklinde olması nedeniyle dalgalar üst üste binmekte ve bu ayırım zor olmaktadır.



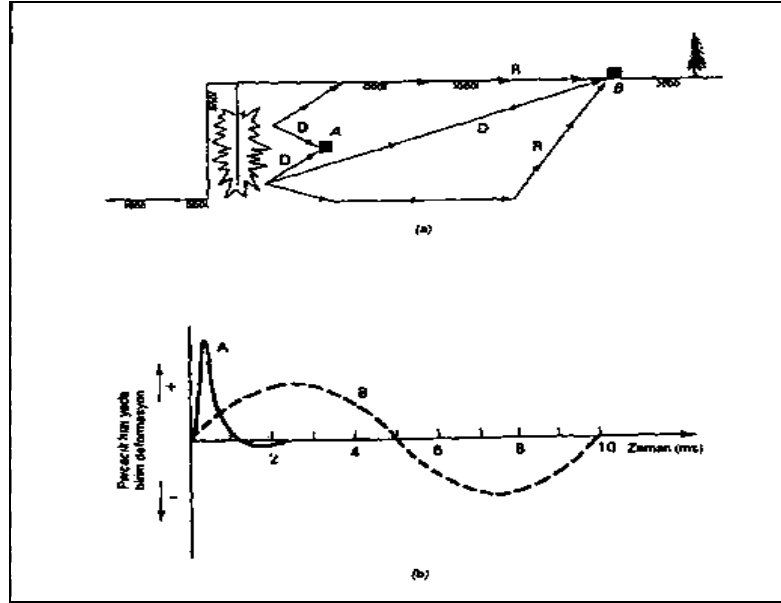
Şekil 2. 8. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu [17]

Bu üç dalga tipi içinden geçtikleri formasyona göre değişik özellikler gösterdikleri için, yüzeydeki yapılar yada kaya her dalga tipine göre farklı bir şekilde deforme olmaktadır. Her asal dalga tipi için değişik parçacık hareketlerinin yapılar üzerinde yarattığı deformasyon Şekil 2.9.'da verilmektedir. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirirken makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık yapıyı gösteren Rayleigh dalgaları ise yayılma yönüne boyuna ve düşey yönde hareketler oluşturmaktadır.



Şekil 2. 9. Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi [17].

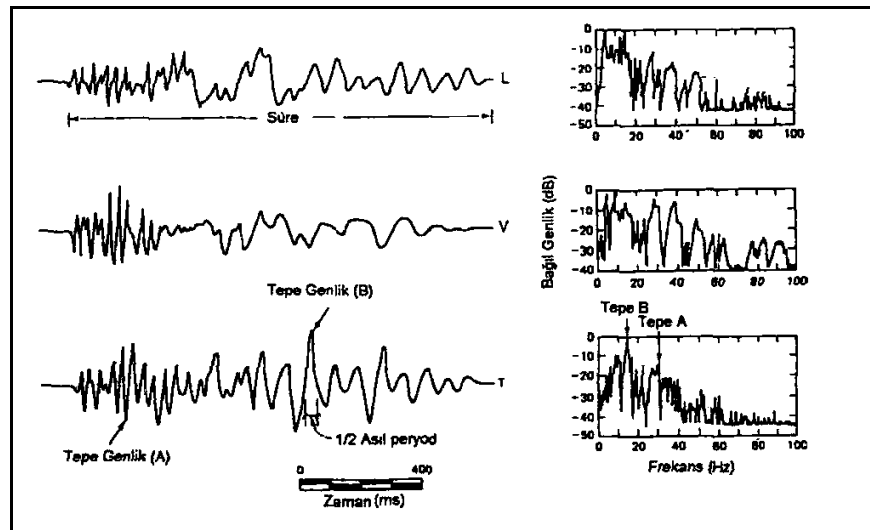
Örnek bir patlatmada iki izleme noktasına dalgaların erişimi ve bu dalgalara ait parçacık hızı-zaman grafikleri Şekil 2.10.'da verilmiştir. Burada A noktasına dalgalar direkt gelirken, B noktasına dalgalar direkt ve yansımış olarak ulaşmaktadır.



Şekil 2. 10. İki izleme noktasında patlatma titreşimlerinin izlenmesi [17]

2.3.4.2. Patlatma titreşim kayıtları

Bir kömür açık işletmesinde yapılan patlatmaya ait zamana bağlı tipik parçacı hızı grafiği Şekil 2.11 de verilmiştir. Patlatmalarda zaman gelişimini tanımlamakta en önemli parametreler; asal frekans, tepe genlik ve titreşimin durumudur. Bu parametreler, ortamın geçirimsizliği ve patlatma ardışıklığı ile ilişkilidir.



Şekil 2. 11. Tipik bir kömür patlatmasında parçacı hızlarının zamana bağlı değişimi [17]

Tünel, açık işletme ve inşaat gibi normal patlatma işlemlerinde, bu parametrelerin değişim aralığı Çizelge 2.2’de verilmektedir[2].

Çizelge 2. 2. Titreşim parametrelerinin aralığı [17]

Parametre	Değişim aralığı
Yer değiştirme	10^{-4} -10mm
Parçacık hızı	10^{-4} - 10^3 mm/s
Parçacık ivmesi	10 - 10^5 mm/s ²
Atım sürekliliği	0,5-2 s
Dalga boyu	30-1500 m
Frekans	0,5-200Hz
Birim deformasyon	3,0-5000 μ (inç/inç)

2.3.4.3. Frekansın önemi, rezonans ve büyütme faktörü

Yer sarsıntılarında, ortamı oluşturan kayaçların mekaniksel özellikleri ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığı frekans özelliklerini etkileyen başlıca iki unsurdur[17]. Yer sarsıntılarıyla ilgili yapılan bir çalışmada şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı 12,7 mm/s değerinin çok altında olduğu tespit edilmiştir. Hiçbir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır[11]. Çünkü düşük frekanslı dalgalar insanlar tarafından kolayca hissedebilirler, yüksek frekansların algılaması çok zordur ve bu nedenle insanlar fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimler ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır [16].

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya buna yakın değerde olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı dalga geçtiği halde bina sarsılmaya devam eder. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değerlerin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur. Bir başka

durumda ise zemindeki uyarıcı dalganın genliği tam yeterli düzeyde olmasa bile rezonans halindeki binanın bu genliği birkaç kat artırması sonucu bina yine de hasar görebilir. Zemindeki uyarıcı dalganın binaya iletilmesi sonucu binada ölçülen genlikte, zemindeki genliğe göre artış olmasına büyütme, binadaki genliğin zemindeki genliğe oranına da büyütme faktörü denir [9].

2.3.4.4. Ölçekli mesafe kavramı

Tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısının tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceği, Ladegaard, Pedersen ve Dally tarafından, yapmış oldukları literatür çalışmalarında belirtilmiştir[18]. Öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını esas alanlara güvenilmektedir. Ölçekli mesafe, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür[19,10]. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır[19]. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesiyle parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, ortaya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde en sık kullanılan formül aşağıda verilmektedir[2].

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}}$$

Burada;

SD: Ölçekli mesafe

R: Patlatma noktasından uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Açık ocak çalışmalarında kullanılan şarj şeklinin genel olarak silindirik olması nedeniyle (şarj boyu-delik çapı oranı > 6 ise silindirik, < 6 ise küresel şarj olarak kabul

edilmektedir), kolon şarjından oluşan dalgalar bu silindirin genişleyen biçimiyle ilerler. Bu basınç silindirinin hacminin, yarıçapının karesiyle değiştiği kabul görmüş bir yaklaşımdır. Buradan hareketle ve yapılan araştırmalar sonucu ölçekli mesafe için; $SD = R / W^{0.5}$ şeklindeki ampirik ilişki geniş bir kabul görmüştür. $SD = R / W^{0.333}$ ilişkisi de yine birçok araştırmacının kullandığı bir formüldür[10,18, 20, 21 ve 22].

2.3.4.5. Maksimum parçacık hızı tahmini

Yer sarsıntılarının önlenmesinde patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızının tahmininin en iyi olduğu sonucuna varmışlardır[2]. Bu çalışmalar kronolojik olarak aşağıda verilmektedir.

i. Ambraseys ve Hendron (1968)[23]

$$PPV=K \left[\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right]^{\beta}$$

ii. Nicholls, Johnson ve Duvall(1971)[24]

$$PPV=K \left[\frac{R}{\sqrt{W}} \right]^{\beta}$$

iii. Langefors ve Kihlström(1973)[25].

$$PPV=K \left[\sqrt{\frac{W}{R^2}} \right]^{\beta}$$

iv. Davies ve Ark., (1964), Attewel ve Ark., (1965), Shoop ve Daemen(1983) Birch ve Chaffer(1983)[26, 27, 28, 29]

$$PPV=K.R^{\alpha} \cdot W^{\beta}$$

v. Ghosh ve Daemen(1983)[30]

$$PPV=K \left[\frac{R}{\sqrt{W}} \right]^{\beta} e^{-\alpha R}$$

vi. Gupta ve Arkadaşları (1987)[31]

$$PPV=K \left[\sqrt{\frac{W}{R^2}} \right]^{\beta} e^{-\alpha R}$$

vii. CMSR(Roy,1991)[32]

$$PPV=n+K \left[\frac{R}{\sqrt{W}} \right]^{-1}$$

viii. Hindistan Standartları Enstitüsü (Bülten No: 6922, 1973)

$$PPV = K \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{\beta}$$

ix. Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = K \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{\beta} e^{-\alpha R}$$

x Gupta ve Arkadaşları (1988)

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

xi. Bilgin ve Arkadaşları (1998)

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

Burada;

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/s)

B: Dilim kalınlığı (m)

R: Patlatma noktasından uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

K, β, α n: Saha sabitleri

$e^{-\alpha R}$: Inelastik seyrelme faktörü

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (en az 30 nokta ya da atım) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik çizelgelerin hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır[2].

2.3.5. Hava şoku ve gürültü

Gerekli önlemler alınmadığı durumlarda kaya çatlaklarından dış atmosfere hızla boşalan reaksiyon ürünü gazlar önemli düzeyde gürültü oluştururlar ve bu gürültü düzeyi yüksek boyutlara ulaştığında hava şoku dalgalarına dönüşür. Ayrıca şok dalgalarının oluşmasında diğer bir etkende hızla harekete geçen kaya kütesidir. Harekete geçen kaya kütlesi bir piston görevi görerek şok dalgaları yaratmaktadır[9].

Şok dalgaları ortamın elastisitesi ve kütle özelliklerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Gaz molekülleri havada oldukça düzenli bir şekilde dağılmakta ve rasgele hareket halinde bulunmaktadır. Normal atmosferik koşullarda hava 1 atmosfer basınç ve $1,2 \text{ kg/m}^3$ yoğunluktadır. Ses dalgalarının yayılım mekanizması, bir molekülden diğer bir moleküle moleküler yer değiştirme sırasında momentum transferi şeklinde açıklanmaktadır. Kötü patlatma uygulamalarında ve değişik hava koşulları altında hava şokları oldukça yüksek mesafelere ulaşabilmektedir[2].

Hava şoku, basınç ya da ses ölçerler kullanılarak ölçülebilmektedir. İnsan kulağıyla duyulabilen yaygın aralıklı genlikler ve frekanslardan dolayı akustik mühendisleri sesi desibel terimi ile ifade etmektedir. Ses basıncı aşağıdaki eşitlik kullanılarak desibele çevrilebilmektedir[2].

$$\text{dB}=20.\text{Log.}\left[\frac{P}{P_0}\right]$$

Burada;

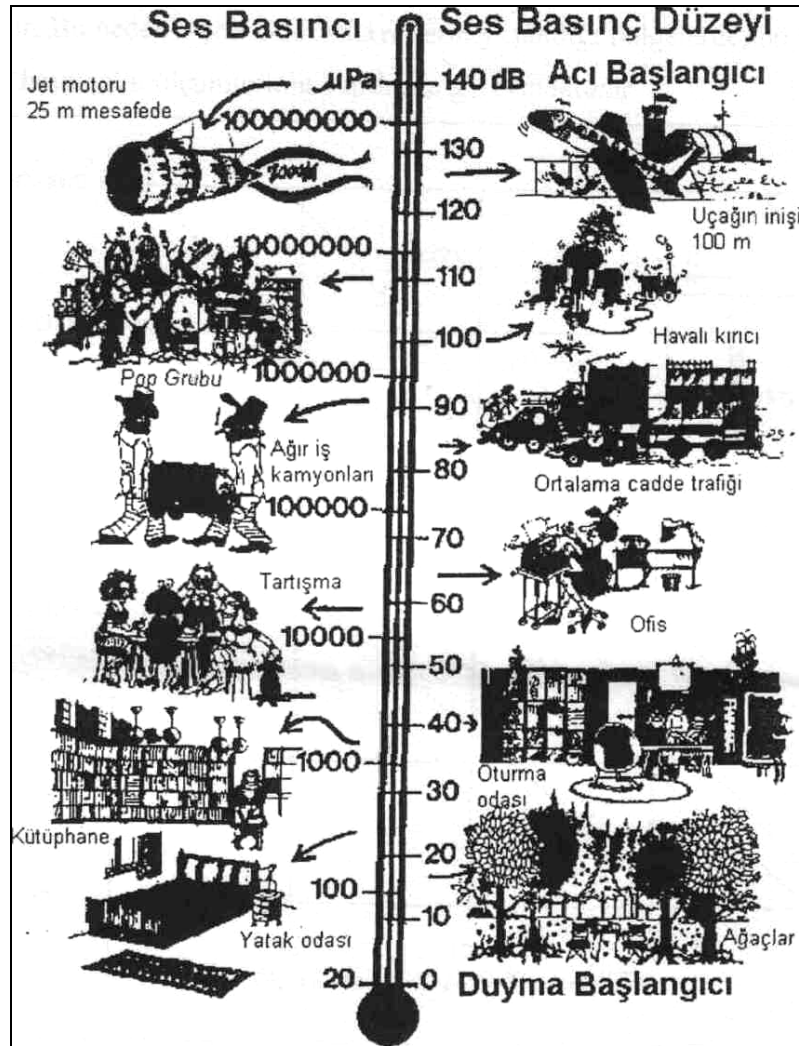
P = Ölçülen tepe ses basıncı

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

Sıcaklık, rüzgar ve yükseklik gibi atmosferik ve topoğrafik koşullar hava şoku dalgasının yayılmasını etkilemektedir. Belirli bir uzaklıktaki bulut kapalılığı bile bazen basınç dalgasının yere yeniden yansımaya neden olur[18].

Normal insan hayatındaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri Şekil 2.12’de verilmiştir. Patlatmaların duyulabilen bölümlerinin şiddeti, havali kırıcılar ile uçağın yere inmesi sırasında çıkardığı gürültü arasında yer almaktadır.

ABD’de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıcı ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir[17].



Şekil 2. 12. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri[17].

Şok dalgaları insanlarda yoğunlukla psikolojik rahatsızlıklara neden olmakta, patlamanın kendilerine zarar vereceğinden endişe etmektedirler. Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları uzun ve gevşek çerçevelerin titreşimine (şangırdamasına) yol açmakta, insanlarda patlamanın çok şiddetli olduğu ve bu nedenle evlerinin başlarına yıkılacağı kanısını uyandırmaktadır. Şok dalgaları zaman zaman da şiddetli olabilmekte ve yapılarda hasara yol açabilmektedir. En belirgin hasar cam kırılmasıdır. Bununla beraber cam kırılmalarında, camların iyi tespit edilmemiş olması, çerçeve ve kasaların gevşek olması gibi bina sahiplerinin de kusurları bulunmaktadır. Şok dalgalarının daha yüksek şiddetlerinde ise bacalarda hasar ve duvarlarda sıva çatlakları gözlemlendiği de görülebilmektedir[9].

Hava şokunun iki bileşeni bulunur. Bunlardan birincisi insanların duyma frekansı aralığı içindedir. Diğer bir deyişle bu bileşenin frekansı orta-yüksek sınıfta olduğundan, kişiler bu bileşeni işitebilirler. İkinci bileşen ise düşük frekanslıdır ve insanların duyamayacağı gürültü bileşenini oluşturur, ama bu bileşen yapılarda pencere camlarının kırılması dış cephede sıva çatlakları oluşması gibi hasarlar yaratabilir[9].

Dowding [17] L (lineer-doğrusal) tip algılayıcı ile ölçüldüğünde, yoğunlukla pencere camlarının kırıldığı gürültü değerlerinin, 136–140 dB aralığında değiştiğinin tespit edildiğini belirtmektedir. A.B.D. Federal Tüzüğünde (30 CFR, Parts 816.67) aşağıdaki Çizelge 2.3.'de verilen azami değerlerin aşılması şartı getirilmiş bulunmaktadır [33].

Çizelge 2. 3. Cihazın frekans bandına uygun olarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri

Ölçüm sisteminin düşük frekans limiti (Hz)	L Cetveli Azami gürültü seviyesi (dB)
2 Hz veya daha düşük	En yüksek 133
6 Hz veya daha düşük	En yüksek 129

2.3.6. Patlatma hasar kriterleri

Yaklaşık 60 yıldan beri, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri değişik başarı dereceleriyle uygulanmaya gelmiştir. Bu kriterler kronolojik olarak aşağıda özetlenmektedir.

i. Rockwell'in Enerji Formülü

1934 yılında Rockwell patlatma sonucu meydana gelen titreşim enerjisinin $f^2.A^2$ ile orantılı olduğunu belirtmiştir. Burada f: frekans. A: Genliği ifade etmektedir[34].

ii. USBM'nin Formülü

Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM) 1942 yılında, şarj miktarını, zemin karakteristiklerini ve uzaklığın etkilerini birlikte ele alarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir[35].

$$A = \frac{C^{\frac{2}{3}}}{100} (0,07e^{-0,0143d} + 0,001)$$

Burada;

A: Yer sarsıntısının genliği (inç)

C: Şarj miktarı (libre)

d: Uzaklık (feet)

Bu formülün kullanılabilmesi için beklenen yer sarsıntısına uygun frekansın ve örtü tabakalarının derinliğine bağlı bir zemin faktörünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Genlik formülü yaklaşık bir formül olduğundan, kompleks patlatma tasarımları için uygun görülmemiştir. Buna karşılık, ivme, zamanla yapısal hasar kriteri olarak öne çıkarılmıştır. Bu çalışmaya göre; ölçülen ivmenin 0,1 g'den daha düşük olması binalar için emniyetin söz konusu olduğunu, 0,1-1 g arasında dikkatli olunması gerektiğini ve 1 g'den büyük olan ivmelerde ise binalarda hasar meydana geleceği kabul görmüştür (g: yerçekimi ivmesi)[2].

iii. Crandell'in Enerji Oranı Formülü

1949 yılında Crandell "Enerji Oranı" yaklaşımını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı olarak hasar kriterleri Çizelge 2.4'de verilmiştir[36].

$$ER = a^2 / f^2$$

ER: Enerji oranı

a: İvme

f: Frekans

Çizelge 2. 4. Crandell'in enerji oranına bağlı hasar kriteri.

Enerji Oranı	Hasar Tahmini
<3.0	Hasar yok
3.0-6.0	Uyarı
> 6..0	Hasar var

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

iv. Langefors, Kihistrom ve Westerberg'in Yaklaşımı

Langefors ve arkadaşlarının (1957) parçacık hızı ve yapı hasar gözlemine dayalı kriteri Çizelge 2.5'de verilmiştir[37].

Çizelge 2. 5. Langefors ve arkadaşlarının parçacık hızını esas alan hasar kriteri.

Parçacık Hızı (mm/s)	Hasar Tahmini
<71,12	Hasar yok
109,22	İnce çatlaklar, sıva dökülmesi
160,02	Taş duvarlarda ve sıvalarda çatlama
>231,14	Ciddi boyutlu çatlama

v. Edwards ve Northwood'un parçacık hızı yaklaşımı

1959 yılının başlarında Edwards ve Northwood'un Kanada'da titreşim incelemelerini anlatan bir makale yayınlamışlardır. Bu makaleye göre parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Çizelge 2.6'da verilmiştir[38].

Çizelge 2. 6. Edwards ve Northwood'un parçacık hızını esas alan yaklaşımı[14]

Parçacık Hızı (mm/s)	Hasar Tahmini
<50,8	Hasar yok
50,8-101,6	Uyarı düzeyinde
>101,6	Hasar çok

vi. USBM'nin yaklaşımı

1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı daha kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tahmini Çizelge 2.7'de verilmiştir[24].

Çizelge 2. 7. USBM' nin yaklaşımı.

Parçacık Hızı	Hasar Tahmini
<2	Hasar yok
2-4	Sıvada çatlaklar
4-7	Hasar başlangıcı
>7	Yapıda aşırı hasarlar

vii. Bauer ve Calder'in Yaklaşımı

Bauer ve Calder'in (1977) çeşitli ekipman ve muhtelif yapı türleri için parçacık hızına bağlı hasar tahmini Çizelge 2.8'de verilmiştir[39].

Çizelge 2. 8. Bauer ve Calder'in hasar kriteri.

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

ix. USBM'nin son patlatma hasar tahmini

ABD Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına[13] 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır.

Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 olarak adlandırılan raporda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve titreşime karşı tepki özellikleri iyi bilinen bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.

2. Patlatmacı, bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakar bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer (R/\sqrt{W}). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 2-3,8 mm/s civarında olmaktadır.

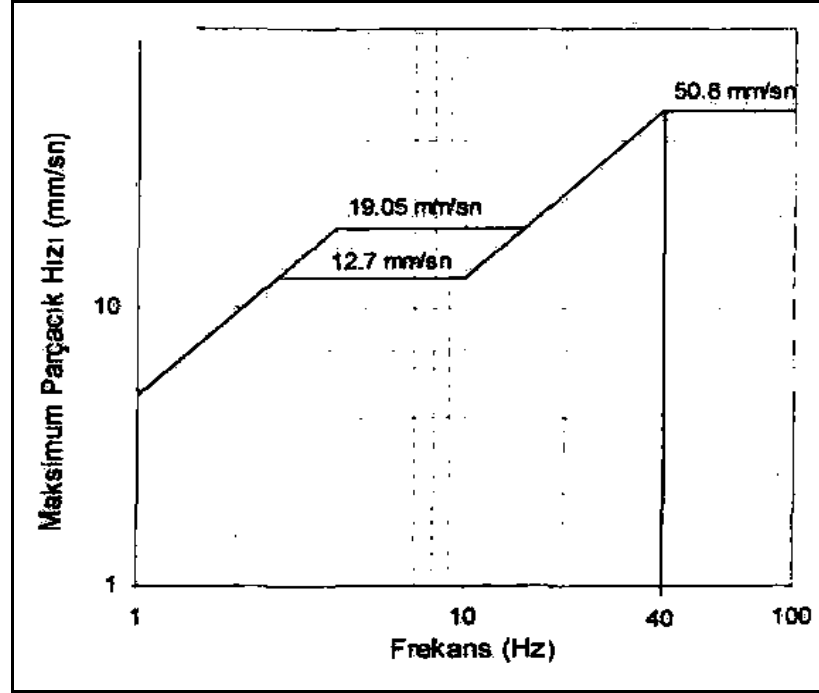
3. Düşük frekanslı (≤ 40 Hz) patlatmalarda hasar verme potansiyeli yüksek frekanslı (≥ 40 Hz) patlatmalardan daha fazladır.

5. Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.

6. Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 19 mm/s, tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 12,7 mm/s'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 51 mm/s olarak tavsiye edilir.

7. Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgardan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir[2].

8. RI 8507 raporuna, daha sonradan "Alternatif Patlatma Hasar Kriteri" adı altında ek bir rapor ilave edilmiştir. Bu alternatif patlatma hasar kriteri, frekans oranları üzerine denk gelen yer değiştirme ve hız parametrelerini göz önüne almaktadır [20]. Birden fazla ölçüm yapılması gerekliliği bu raporda önemle belirtilmiştir. Bu hasar kriteri Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Şekil 2.13'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini arttırmaktadır. Grafiğin yorumundan da anlaşılacağı gibi, titreşim frekansı arttıkça belirli değerlerdeki bir parçacık hızının hasar riski önemli ölçüde azalmaktadır[14].



Şekil 2. 13. USBM' nin alternatif kriter analizi.

x. ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu(OSM) Hasar Tahmini

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu(OSM), yer sarsıntısı ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki en önemli raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegane kurallardır ve açık ocak kömür madenciliğinde uygulanmaktadır[40].

OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç yöntemden birini kullanmasını tavsiye etmektedir.

Yöntem 1: Patlatmalı kazıda herhangi bir titreşim ölçer cihazının kullanılmadığı durumlarda parçacık hızının sınırlandırılması kriteri:

Patlatma sorumlusu; atımı, Çizelge 2.9' da gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun düzenlenmelidir. Bu yöntemde, Çizelge 2.9'daki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır[2].

Çizelge 2. 9. Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri[41]

Patlatma noktasından Uzaklık		Sismik İzleme Yapılmadan Kullanılacak Ölçekli Mesafe Faktörü (SD)
ft	m	
0-300	0-90	50
301 -5000	91 – 1500	55
>5001	>1500	65

Yöntem 2: Titreşim ölçer cihazının kullanılması durumunda ölçekli mesafe eşitliği kriteri:

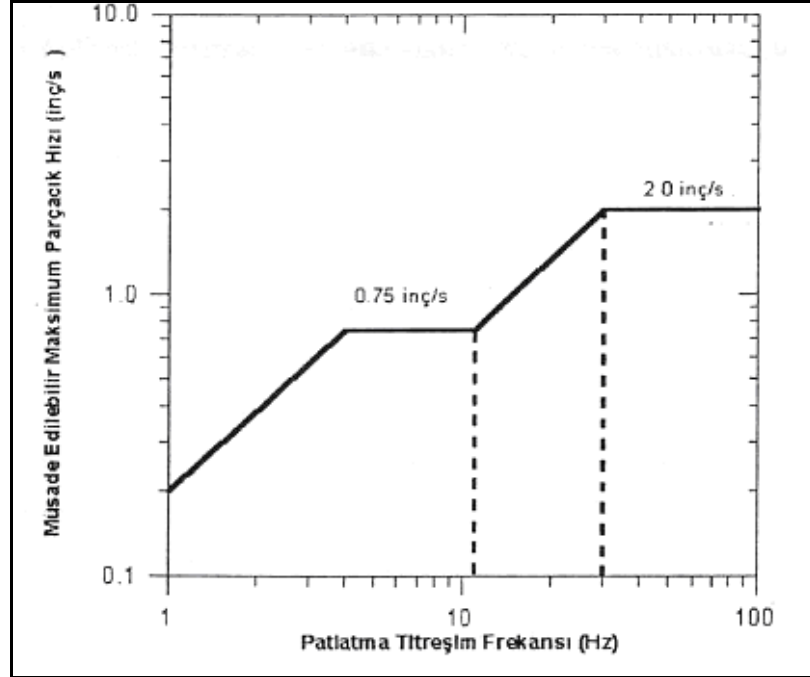
Her patlatmanın, en büyük parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. En büyük parçacık hızı Çizelge 2.10'da gösterilen seviyelerin altında kaldığı müddetçe operatör kurallara uymaktadır. Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır[14].

Çizelge 2. 10. Uzaklığa bağlı müsaade edilen maksimum parçacık hızları[41] .

Uzaklık		Maksimum Parçacık Hızı	
ft	m	İnç/s	mm/s
0-300	0-90	1.25	31.75
301-	91-1500	1.00	25.40
>5001	>1500	0.75	19.05

Yöntem 3: Frekans esaslı patlatma seviyesi grafiği kriteri

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerinin (Şekil 2.14) kullanılmasına izin verilir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.14. OSM' nin alternatif kriter analizi[41].

Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Birçok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntem, patlatmalardan dolayı kaynaklanan binalara ve insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir.

OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen hasar kriterinden farklıdır. USBM hasar kriterinde maksimum izin verilen parçacık hızı 50,8 mm/s'nin başlangıç frekansı 40 Hz olurken (şekil 2.13), OSM hasar kriterinde başlangıç değeri 30Hz'dir[14].

x1. Alman DIN 4150 Hasar Kriteri

Hasar kriterleri içinde parçacık hızı, frekans ve yapı türünü esas alan ve günümüzde yaygın kullanıma sahip olan normlardan biride Alman 4150 DIN Standart'ıdır. Alman standardına göre (DIN 4150) yapı tipi, hız-frekans ilişkisi Çizelge 2.11'de gösterilmiştir[42].

Çizelge 2. 11. Alman standartlarına göre (DİN 4150) yapı tipi, hız-frekans ilişkisi[43]

Yapı tipi	Frekans (f:frekans,Hz) bağlı maksimum parçacık hızı,mm/s		
	f=10	f=10-50	f=50-100
Betonarme , çelik yapı	20	20-40	40-50
Yığma tuğla veya beton yapı	5	5-15	15-20
Eski veya tarihi yapılar	3	3-8	8-10

100 devir/s büyük frekanslar için, büyük sarsıntı seviyesine izin verilebilir. Birden fazla katlı binalar için, ölçümlerin hem binaların temelinde hem de en üst katın tabanında alınması gerekir

xı. Ülkemizde Geçerli Olan Yönetmelik

Ülkemizde; patlatma sonucu hasar oluşmaması için zeminde izin verilen titreşim (sarsıntı) hızı sınır değerlerini düzenleyen yönetmelik “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” (ÇGDYY) başlığını taşımakta olup, ülkemizde ilk kez titreşim konusunda bir düzenleme içermektedir. Bu yönetmelik Avrupa Birliği tarafından yayımlanmış bulunan, 25/6/2002 tarih, 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifine paralel olarak hazırlanmıştır. 01 Temmuz 2005 tarihinde 25862 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe konulan bu yönetmelik aşağıdaki gibidir[44].

2.3.7. Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri

Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Çizelge 2.12’de verilen değerleri geçemez. Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür.

Çizelge 2. 12. Patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri[44].

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

2.3.8. Yer sarsıntısı ve hava şoku etkilerini azaltma yöntemleri

Günümüzde patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilere olan duyarlılığın artması, bu etkileri azaltma yönünde yapılan çalışmaların da artmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar yer sarsıntısı ve hava şokunun oluşumunu ve gelişimini bir çok faktörün etkilediğini göstermiştir[45]. Bu nedenle, yer sarsıntısının asgariye indirilebilmesi için özellikle kontrol edilebilir parametrelere bağlı olarak en az sarsıntıyı veren patlatma tasarımının belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Genellikle patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının azaltılması için; gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarını azaltarak parçacık hızının genliğini düşürmek olumlu sonuçlar vermektedir. Ayrıca delik çapının, dilim kalınlığının, delikler arası mesafenin ve basamak yüksekliğinin küçültülmesi, kademeli şarj uygulaması gibi önlemlerde yer sarsıntısının azaltılmasında etkili olmaktadır (Çizelge 2.13)[2].

Hava şokunun önlenmesi için alınması gereken önlemler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir[11];

- 1) Basamak patlatma tekniği kullanılarak, patlayıcı madde kaya yapısı içinde olabildiğince dengeli (homojen) dağıtılır ve hapsedilir.
- 2) Galeri patlatması uygulanmaz.
- 3) Uygun delik geometrisi kullanılır.
- 4) Uygun sıkılama boyu ve malzemesi kullanılır.
- 5) Gecikmeli elektrikli veya şok tüplü ateşleme sistemi kullanılır.
- 6) Delme öncesi patlatma aynası incelenerek gaz deşarjına yol açabilecek bir jeolojik olgu olup olmadığı incelenir. Böylesine bir jeolojik olgunun varlığında o bölgeye

az patlayıcı madde yerleştirilir.

- 7) Gerek patar gerekse basamak patlatmalarında infilaklı fitil kullanılmaz.

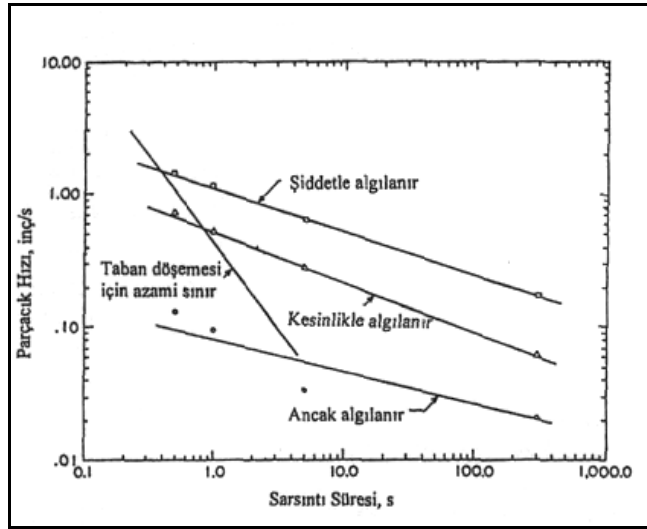
Çizelge 2. 13. Yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerini azaltmak için dikkate alınması gereken parametreler[2].

	Parametreler	Yer Sarsıntısı	Hava şoku
Değiştirilebilen	1. Gecikme basma patlayıcı madde miktarı	Etkili	Etkili
	2. Gecikme süresi	Etkili	Etkili
	3. Dilim kalınlığı	Etkili	Orta etkili
	4. Delikler arası mesafe	Orta etkili	Orta etkili
	5. Delik çapı	Orta etkili	Az etkili
	6. Delik taban payı	Orta etkili	Az etkili
	7. Delik boyu	Orta etkili	Orta etkili
	8. Ateşleme yönü	Etkili	Orta etkili
	9. Delik eğimi	Orta etkili	Orta etkili
	10. Sıkılama boyu ve malzemesi	Orta etkili	Etkili
	11. Atım grubu boyutları ve şekli	Etkili	Etkili
	12. Şarj şekli	Orta etkili	Az etkili
	13. Ateşleme yöntemi	Etkili	Etkili
	14. Atımdaki toplam patlayıcı madde miktarı	Az etkili	Az etkili
Değiştirilemeyen	15. Örtü tabakasının özellikleri ve derinliği	Etkili	Orta etkili
	16. Jeolojik faktörler	Etkili	Orta etkili
	17. Yapının konumu	Etkili	Orta etkili
	18. Yeraltı suyu durumu	Etkili	Az etkili
	19. Atmosferik koşullar	Az etkili	Etkili

2.3.9. İnsanların patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına tepkileri

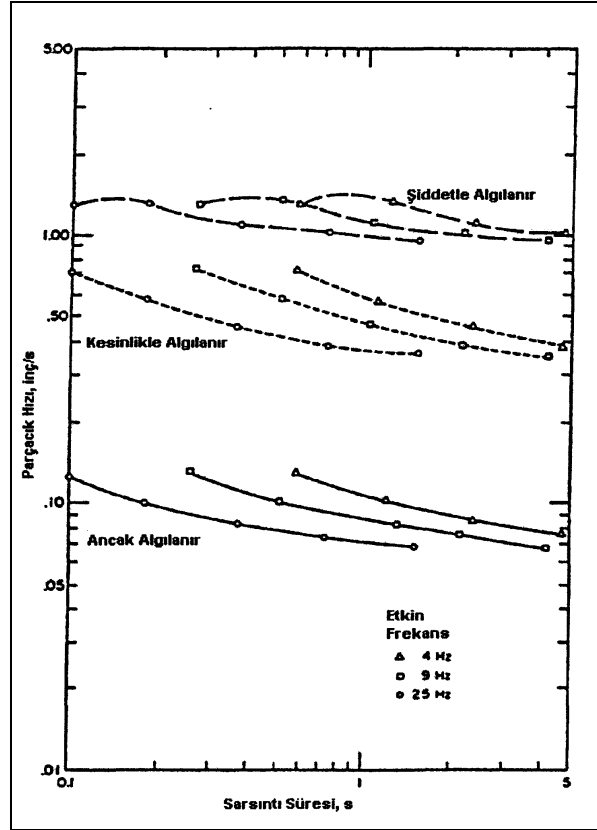
İnsanların patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına olan tepkileri yer sarsıntısının denetlenmesi aşamasında bazen en belirleyici etmen olabilir. İnsanlar yer sarsıntılarına karşı çok duyarlıdır ve duyarlı oldukları sarsıntı değerleri yapılarda eşik hasar yaratmayacak emniyetli

sarsıntı düzeylerinin çok altındadır. İnsan tarafından algılanabilen parçacık hızı 1,5 mm/s civarında olup, bazı koşullarda bu değer 0,5 mm/s gibi çok düşük değerler olabilir. İnsanların sarsıntıya tepkisi yer sarsıntısının genliğinin yanı sıra frekansına ve süresine de bağlıdır[41]. Şekil 2.15’de sarsıntı süresine bağlı olarak insanların değişik seviyelerde algıladıkları parçacık hızı değerleri görülmektedir [13].



Şekil 2. 15. Sarsıntı süresine göre insanların değişik seviyelerde algıladıkları parçacık hızı değerleri [13].

Şekil 2.16’da ise sarsıntı süresine (0,1-5,0 saniye) ve frekans aralığına (4-25 Hz) bağlı olarak insanların “ancak algıladıkları”, “kesinlikle algıladıkları” ve “şiddetle algıladıkları” düzeyler gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Sarsıntı süresi ve frekansına göre insanların değişik seviyelerde algıladıkları sarsıntı düzeyleri [13].

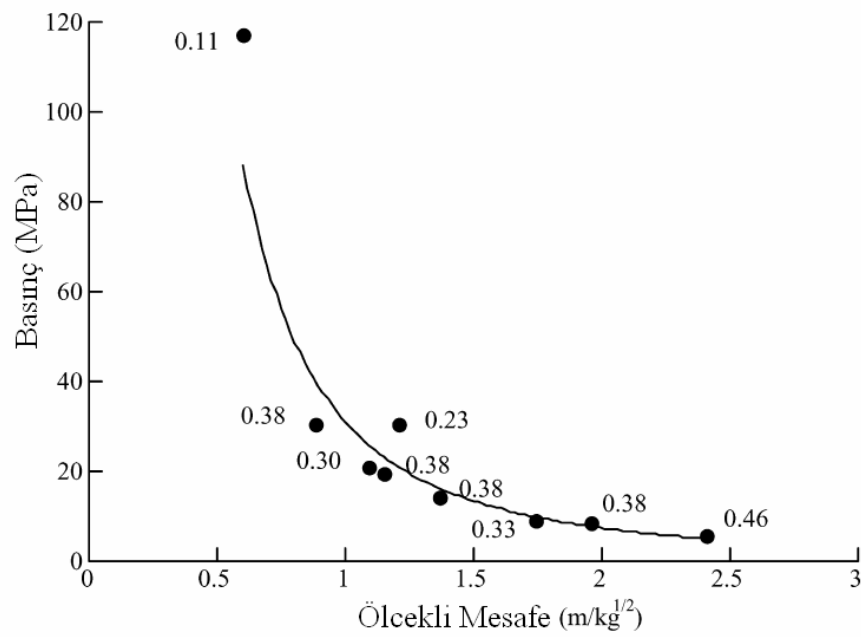
2.3.10. Dilim Kalınlığının PPV Üzerindeki Etkisi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısının azaltılmasına yönelik olarak akla gelen ilk yöntem, patlayıcı madde miktarının azaltılmasıdır. Ancak bu çözüm pratik olmasına rağmen başka problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Zira patlayıcı madde miktarının azaltılması, istenen parça boyutunun elde edilmesini ve planlanan üretime ulaşılmasını engellemektedir. Bunun dışında, yersarsıntısının azaltılmasına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmaların yararları ve uygulanabilirlikleri henüz kanıtlanmış değildir. Sonuçları konusunda, araştırmacılar arasında fikir birliği mevcut değildir.

Dilim kalınlığının yersarsıntıları üzerindeki etkisi de pek çok çalışmaya konu olmuş ve bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Dilim kalınlığının artmasıyla titreşimin arttığı yönünde yaygın bir kanaat olmasına rağmen yapılan önceki çalışmalarda bu konuda değişik sonuçlar elde edilmiş ve araştırmacılar arasında bir fikir birliğine ulaşılamamıştır. Bazı araştırmacılar dilim kalınlığının titreşim üzerinde bir etkisinin olmadığını belirtirken, bazıları

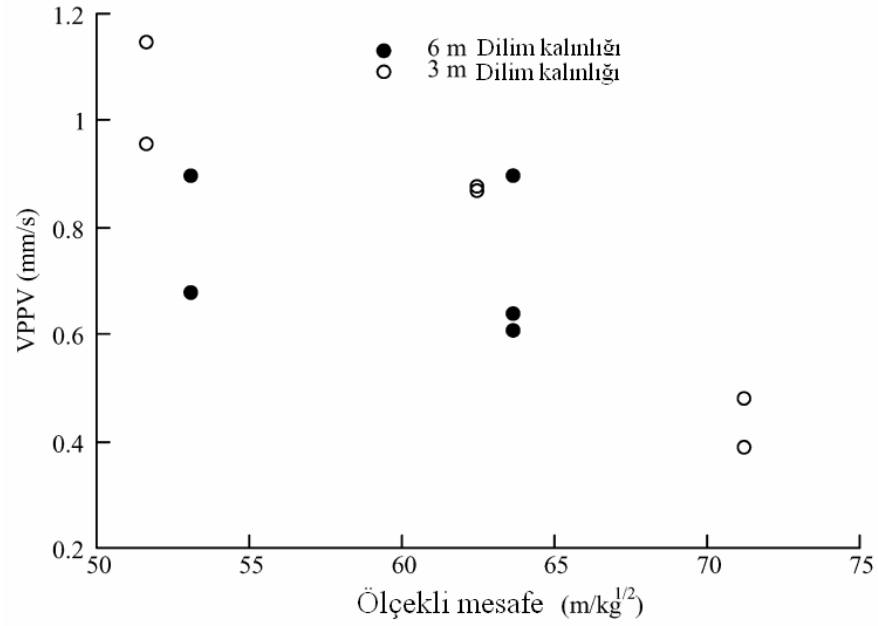
belli oranlarda etkili olduğunu vurgulamışlardır. Bu konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar kronolojik olarak aşağıda sunulmaktadır.

1. Bergmann ve ark. (1973) bir granit bloğu üzerinde patlatma çalışmaları yapmışlar ve oluşan titreşimleri basınç ölçer kullanarak ölçmüşler ve bu verilere istinaden yazarlar, dilim kalınlığı ile yer sarsıntısı arasında bir ilişki olduğunu iddia etmişlerdir (Şekil 2.17).



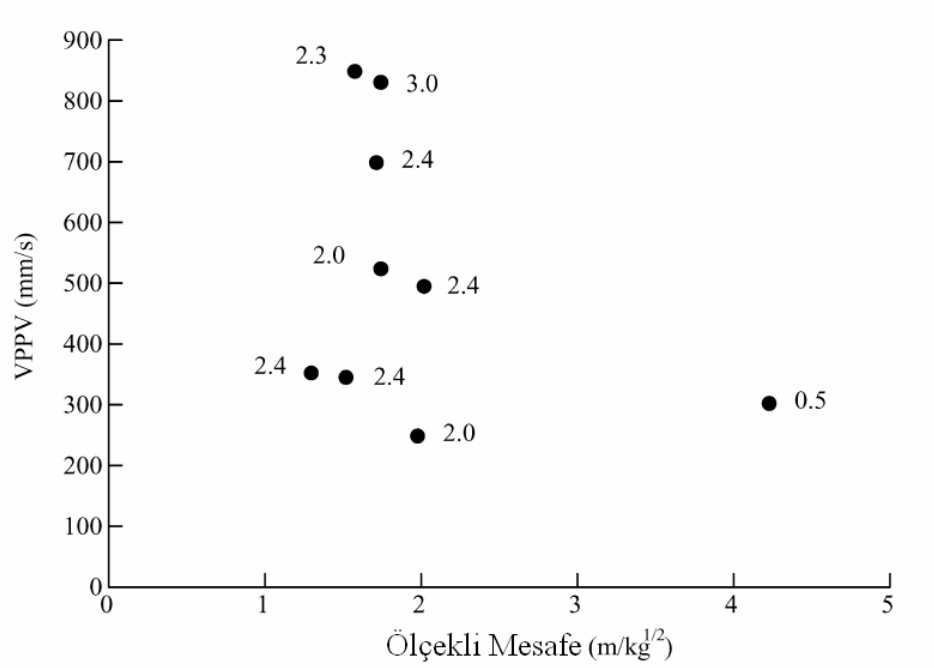
Şekil 2. 17. Bergmann ve ark. Ham deneysel verileri (Bergmann et al., 1973)

2. Blair ve Birney (1994) 3 m ve 6 m dilim kalınlığına sahip delikleri tek tek patlatarak ölçümler yapmışlardır. Şekil 2.18’de verilen bu patlatmalara ait ölçüm sonuçlarından, yazarlar dilim kalınlığı ile yer sarsıntısı arasında bir ilişki kuramamışlardır.



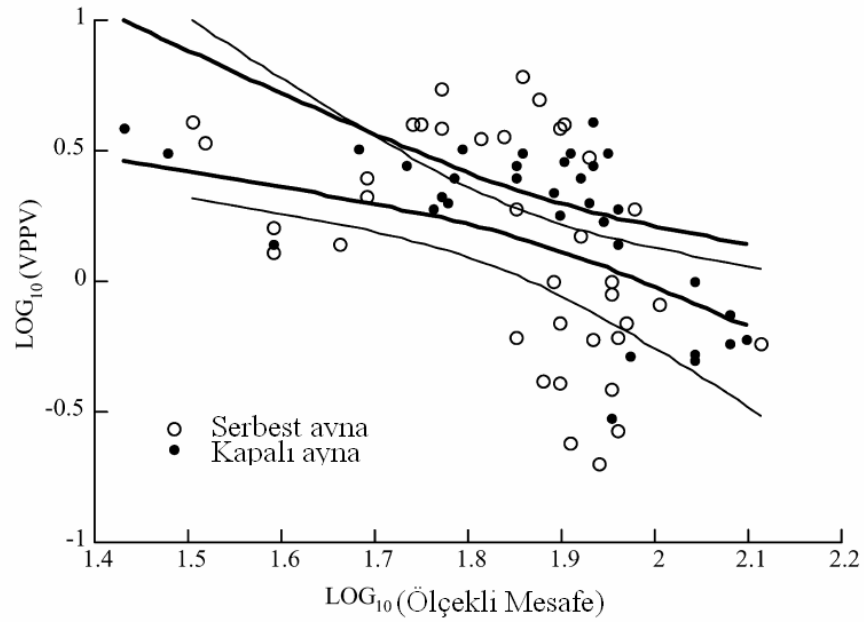
Şekil 2. 18. Blair ve Birney tarafından elde edilen VPPV-Ölçekli mesafe ilişkisi

3. Liu ve Ludwing (1996), farklı şarj ağırlığı ve dilim kalınlığı (0,5-2,0-2,4-3 m) için çeşitli ölçümler yapmışlardır. Bu dilim kalınlıkları için elde edilen VPPV değerleri, ölçekli mesafenin (R / \sqrt{w}) bir fonksiyonu olarak çizilmiştir (Şekil 2.19). Yazarlar dilim kalınlığı ile yer sarsıntısı arasında bir ilişki görülemediğini belirtmekle beraber bu konu ile ilgili yaygın inanıştan dolayı, elde ettikleri 9 değere istinaden dilim kalınlığı ile titreşim arasında bir ilişki olduğunu farz etmişlerdir.



Şekil 2. 19. Liu ve Ludwig tarafından elde edilen VPPV- Ölçekli Mesafe İlişkisi

- Heilig ve ark. (1997) tarafından bir taş ocağında gerçekleştirilen çalışmalarda, patlatma ve ölçüm işlemleri, hem serbest aynalarda, hem de önünde yığın bulunan aynalarda yapılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi, VPPV değeri, önünde yığın bulunan aynalarda yapılan atımlarda, serbest aynalarda yapılan atımlara göre yaklaşık 2 kat fazla ölçülmüştür.



Şekil 2. 20. Heiling ve ark tarafından elde edilen VPPV- Ölçekli mesafe ilişkisi.

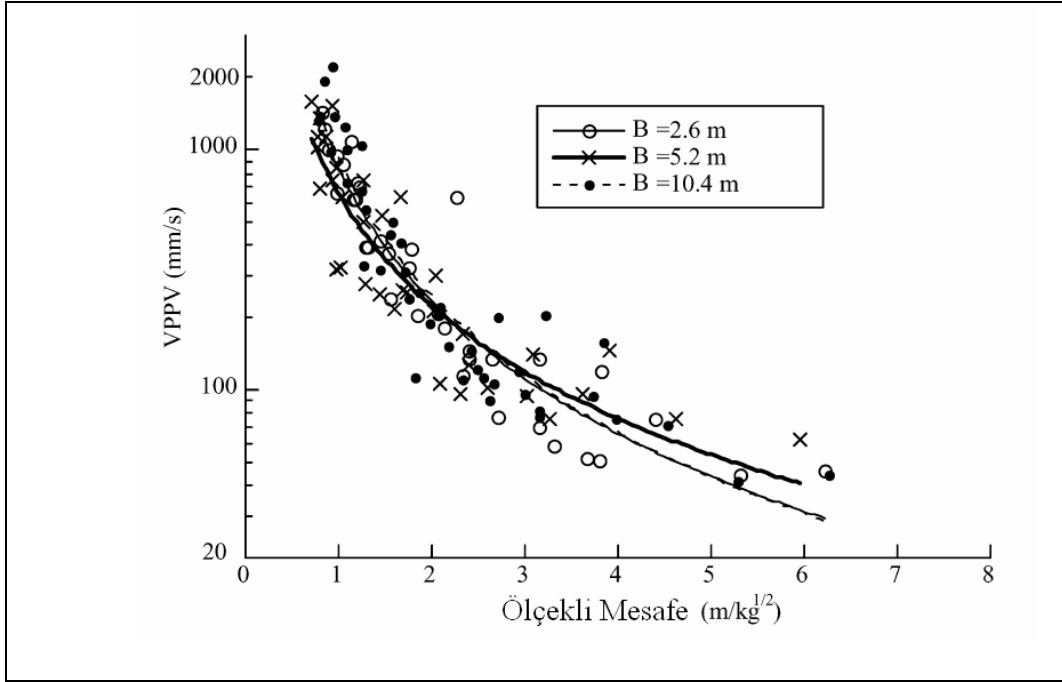
5. Bilgin ve ark. (1998), bir linyit işletmesindeki patlatma kaynaklı çevresel etkilerin giderilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, klasik parçacık hızı tahmin yöntemine dilim kalınlığını da bir parametre olarak ekleyerek yeniden değerlendirme yapmışlar ve regresyon katsayılarında %1-20 arasında iyileştirme sağlandığı sonucuna varmışlardır.

$$PPV = \alpha \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta * B^\gamma$$

6. Arpaz (2000), 4 farklı açık işletmede patlatma kaynaklı yersarsıntılarının izlenmesi ve değerlendirmesi amacıyla 3 yıl boyunca çeşitli dönemlerde arazi çalışması gerçekleştirmiş ve bu işletmelerde 195 adet atımı tüm patlatma parametrelerini dikkate alarak kaydetmiş ve değerlendirmiştir. Parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre değerlendirdiği bu dört ocaktaki patlatmalarda en yüksek korelasyon katsayısına sahip metoda patlatma tasarım parametrelerini (Dilim kalınlığı, özgül şarj, delikler arası mesafe, şarj boyu, sıkılama boyu, boyut küçültme oranı)

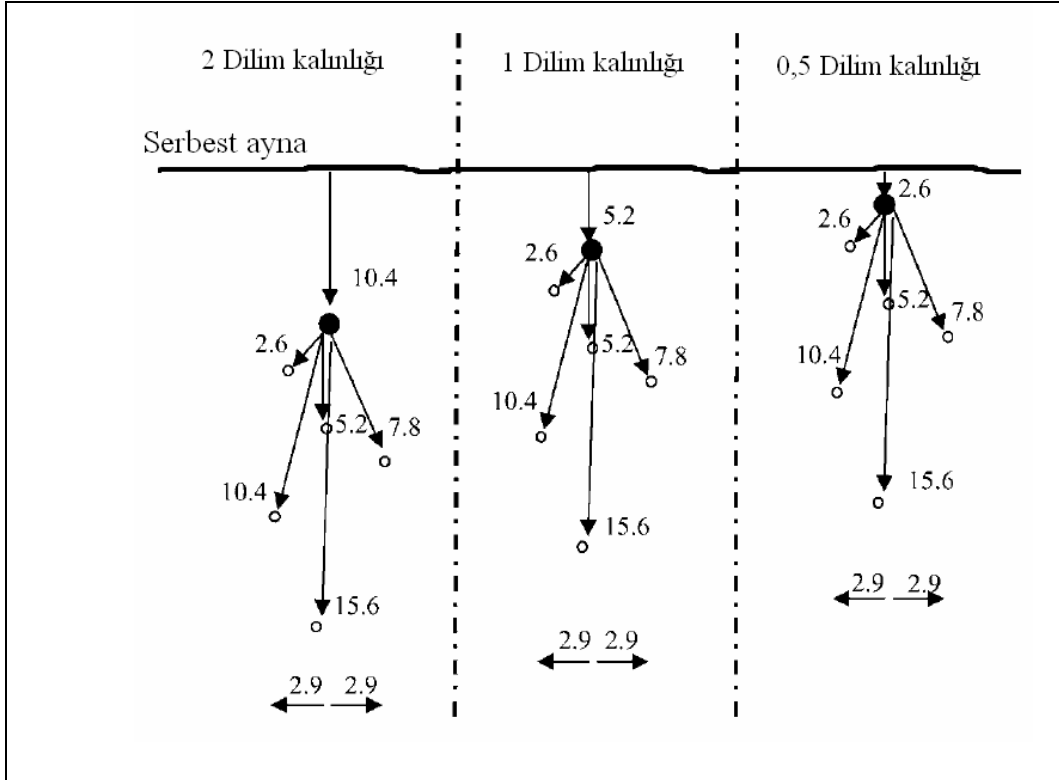
ekleyerek çoklu regresyon analizine tabi tutmuş ve her değişkenin korelasyon katsayısını yükselttiğini belirlemiş ve bu patlatma tasarım parametrelerinin parçacık hızı üzerinde az yada çok etkili olduğu sonucuna varmıştır.

7. Blair ve Armstrong (2001), Heiling ve ark. tarafından elde edilen ve Şekil 2.20' de görülen değerleri, Davies ve Goldsmith (1972) tarafından geliştirilen bir istatistiksel metot ile değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeye göre, yazarlar tüm verilerin en iyi şekilde tek bir eğri ile tanımlandığını belirtmişlerdir. Yine aynı yazarlar, mevcut verileri Draper ve Smith (1981) tarafından geliştirilen istatistik metodu ile değerlendirmişlerdir. Blair ve Armstrong, bu değerlendirme sonucunda da serbest ve önünde yığın bulunan aynalara ait yer sarsıntısı ölçümlerinde önemli farkların olmadığı sonucuna varmışlardır. Blair ve Armstrong, bu değerlendirmeler ışığında yer sarsıntısının dilim kalınlığı dan bağımsız olduğunu iddia etmişlerdir.
8. Blair ve Armstrong (2001), bir altın madeninde dilim kalınlığının etkisini araştırmak için tek delik patlatmaları yapmışlardır. Standart dilim kalınlığı 5,2 m olan söz konusu işletmede denemeler için, bu değer 0,5, 1,0 ve 2,0 katı dilim kalınlığı uygulamışlardır (2,6 m, 5,2 m ve 10,4 m). Bu dilim kalınlıkları için yapılan patlatmalardan elde edilen VPPV değerleri ölçekli mesafenin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiş ve her dilim kalınlığı değeri için en küçük kareler yöntemine göre üssel regresyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 2.21). Yazarlar, ortaya çıkan şekilden dilim kalınlığının VPPV değerlerine etkisini pratik olarak ayırt etmenin oldukça zor olduğu kanaatine varmışlardır. Blair ve Armstrong, elde ettikleri bu verilere, düzenli bir istatistiksel analiz ve Davies ve Goldsmith in çoklu regresyon analizi metodunu uygulamışlardır. Sonuç olarak tüm verilerin tek bir data olarak değerlendirilmesinin daha uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Yazarlar, buradan hareketle dilim kalınlığının yer sarsıntısı üzerindeki etkisinin kanıtlanamadığını vurgulamışlardır.

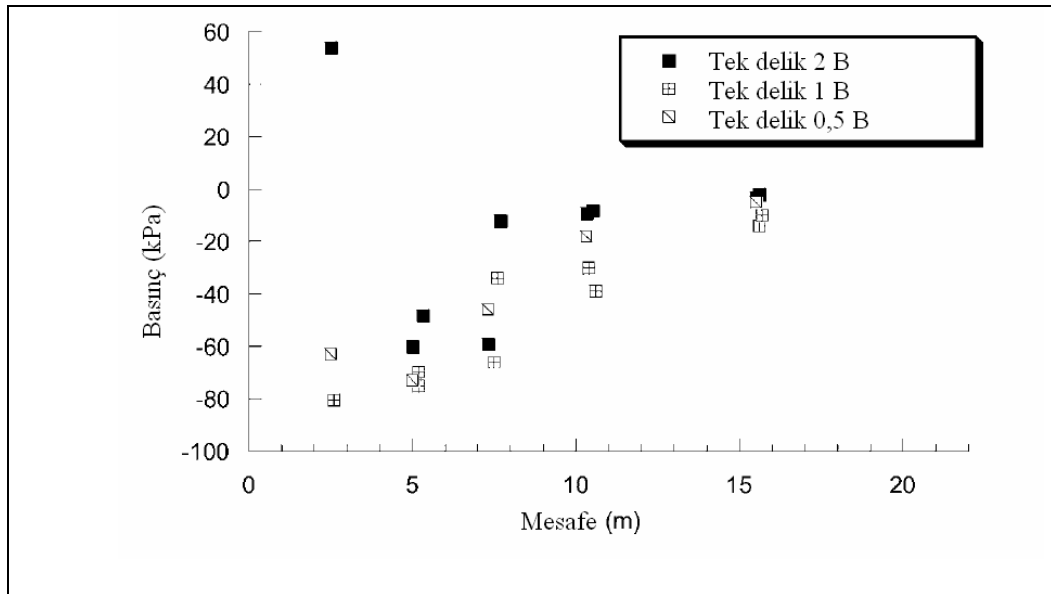


Şekil 2. 21. Blair ve Armstrong tarafından çizilen VPPV-Ölçekli mesafe grafiği

9. Brent ve ark. (2002) Blair ve Armstrong'un yukarıdaki paragrafta verilen çalışmayı gerçekleştirdikleri altın madeninde, tek delik atımlarını içeren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada dilim kalınlığı olarak 2,6, 5,2 ve 10,4 m seçilmiştir. Brent ve ark. patlamanın etkisini belirleyebilmek için patlatma deliğinin gerisindeki 5 adet basınç izleme deliklerine yerleştirilen basınç ölçerler kullanmışlar ve patlama sonucu oluşan basınçları ölçmüşlerdir (Şekil 2.22). Yazarlar, bu ölçümlere dayanarak, dilim kalınlığı ile yer sarsıntısı arasında direkt bir ilişkinin görülmediğini iddia etmişlerdir (Şekil 2.23).



Şekil 2. 22. Değişik dilim kalınlıklarında tek delik patlatmalarına ait izleme deliklerinin şematik görünüşü (Brent ve ark., 2002).



Şekil 2. 23. Brent ve ark. tarafından elde edilen veriler (Brent ve ark., 2002).

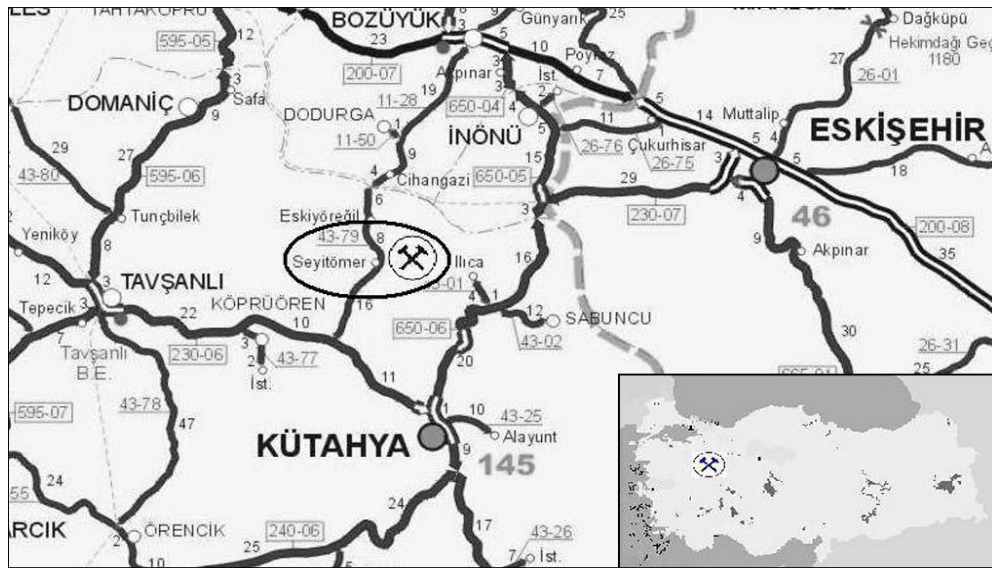
3. ÇALIŞMA BÖLGELERİNİN TANITIMI VE UYGULAMA

Bu araştırma kapsamında, arazi çalışmaları Türkiye Kömür İşletmeleri'ne bağlı Seyitömer Linyit İşletmesi (S.L.İ) ve Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ.) açık ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki işletme de farklı dilim kalınlıklarında hazırlanan tek delik patlatmaları ve üretim patlatmalarının farklı mesafelerde yersarsıntısı değerleri ölçülmüştür.

3.1. Yeri ve Ulaşımı

SLİ Müessesesi Kütahya il merkezinin kuzeybatısında olup Kütahya- Tavşanlı karayolunun 17. kilometresinde 11 km uzunluğunda bir yol ile karayoluna bağlanmıştır.

G.L.İ. Müessesesi de yine Kütahya İli Tavşanlı İlçesi Tunçbilek Beldesi' nde bulunmaktadır. İşletme Kütahya il merkezine yaklaşık 60 km mesafede ve Tavşanlı – Bursa yolunun 12. km' sindedir(Şekil 3.1, 3.2).



Şekil 3. 1. S.L.İ. Yer bulduru haritası



Şekil 3. 2. G.L.İ. yer bulduru haritası

3.2. Çalışmada Kullanılan Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemleri

Madencilik, inşaat, taş ocakçılığı, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde patlayıcıların değişik nedenlerle gittikçe artan bir şekilde kullanılması önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların belirlenmesi ve çözümü için öncelikle, patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerin başında gelen yer sarsıntısı ve hava şokunun hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir.

İdeal bir yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemi aşağıdaki 5 temel bileşeni içermelidir[17,46].

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

Arazi çalışmalarında patlatmalardan kaynaklanan sarsıntıların ölçümünde iki adet yersarsıntısı ve hava şoku izleme cihazı kullanılmıştır.

3.2.1. Mini Seis II ölçüm cihazının tanıtımı

Birinci ölçüm cihazı olarak White marka Mini Seis II model bir mühendislik sismografi kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Mini Seis II model ölçüm cihazının görünümü

Ağırlığı yaklaşık olarak 1,59 kg kadar olan oldukça küçük tasarlanmış bir cihazdır. Cihazla, ses şiddetini kaydetmek için harici bir mikrofonun yanında sismik dalgaların her üç bileşendeki (boyuna, enine, düşey) değerlerini kaydedebilmek için üç ayaklı yer sarsıntısı algılayıcısından oluşmaktadır. Mini Seis II model mühendislik sismografinin teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. White Marka Mini Seis II Model Sismografin teknik özellikleri [47]

Frekans aralığı	Saniyede 1024 örnek için 2’den 250 Hz’e kadar.
Sismik sensörler	Hız jeofonları ve ivme ölçerler olmak üzere üç bileşen monte edilmiştir.
Mikrofon	En az 160dB’i ölçebilen seramik elementli
Hafıza	Bütün özet, kurulum ve kayıt edilmiş veriler saklanabilmekte ve Lityum bir yedekleme aküsü verileri saklamada kullanılabilir.
Saat	Birincil güç kaynağı çalışmasa bile tarih ve zaman çalışabilmektedir
Zamanlama modu	Günlük sadece istenen saatlerde aktif olmasına izin veren sistem vardır.
Gösterge	Aletin kurulumunu kolaylaştırmak için yüksek kontrastlı LCD ekran, 40 karaktere sahiptir. Aynı zamanda veri özeti ve çalışma parametrelerini operatörün görmesine izin verebilmektedir
Pil	6 volt’luk şarj edilebilir özelliktedir.
Çalışma zamanı	Dolu bir pil ile saniyede 1024 örnek alarak 7-10gün çalışabilmektedir
Çalışma ısı	-18+54°C arasındadır
Boyut	Yaklaşık olarak 19,05x11,43x6,35 cm’dir.
Ağırlık	Yaklaşık olarak aksesuarlar olmadan 1.6 kg.
Aksesuarlı ağırlık	2.7 kg.
Kayıtların depo edilmesi	Hafızaya bağlı olarak 20-300 arasında patlatma olayı.
Örnek sayısı	Hendek başına saniyede 512 veya 1024 örnek.
Sismik oranları	0.125 -254 mm/s arasındadır.
Ses oranları	100 - 142 dB veya 106 - 148 dB
Tetikleme seviyeleri	Sismik: mesafeye bağlı olarak 0.064-116 mm/s arasındadır. Ses: 106-142 dB veya 112-148 dB arasındadır.
Kayıt süresi	Saniyede 1024 örneği 1 - 9 saniye arasında kayıt edebilmektedir.

3.2.2. Instantel Mini Mate Plus ölçüm cihazının tanıtımı

Instantel Mini Mate Plus yer sarsıntısı ve hava şoku izleme cihazı 3 adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır(Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Instantel Mini Mate Plus cihazının görünümü

Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Cihaz tek olay veya sürekli kayıt yapabilmektedir. Her bir olayın süresine (1-10 s arasında uzaklığa bağlı olarak) bağlı olarak 150-200 arasında olayı geniş yada özet bilgiler halinde koruma yeteneğine sahiptir. Cihazın ölçüm limitleri parçacık hızı için 0,127-253,97 mm/s ve gürültü için 100-142 desibel aralıkları düzeyindedir. Bu limitler içerisinde istenilen aralıklar ayarlanabilmektedir. Kaydedilecek olay süresi, kayıt biçimi (tek veya sürekli), istenilen birimler, çalışma sahası, kullanıcıya ait bilgiler önceden arzu edilen şekilde programlanabilmektedir. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3,2 de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Titreşim Ölçer InstanTEL Mini Mate Plus cihazının bazı teknik özellikleri

Sismik	ölçüm aralığı	0.125 - 254 mm/s
	Hassasiyet	0.0159 mm/s
	Tetik düzeyi	0.1 mm/s
	Tepe ivme	0.01-30g(hesapla)
	Tepe yer değiştirme	0.0001 - 1.5inc(hesapla)
	Frekans analizi	Tepe değerdeki frekansa ek olarak USBM/OSM ve DIN 4150 arazi frekans analizleri
	Doğruluk	15 Hz'lik ivme ölçer baz alındığında % 1
Hava şoku	Ölçüm aralığı	88-142 dB. 0.03625 psi, 250 Pa (tepe)
Lineer ve C” Ağırlıklı	Hassasiyet	0.0000725 psi (0.5 Pa)
	Tetik düzeyi	1 dB. 0.0000725 psi. 0.5 Pa
	Frekans analizleri	Hava şoku standardında frekans
“A” Ağırlıklı Ses	Ölçüm aralığı	55-110 dB
	Hassasiyet	0.2 dB
	Tetik düzeyi	0.2 dB
	Frekans tepkisi	0.5-8 kHz
Frekans	Örnekleme hızı	1024-4096 örnek/s
	Frekans tepkisi	Sismik ve lineer hava sokunda 1.5- 250 Hz
Tam Dalga Formu Kayıtları	Kayıt modları	El ile. Tek atım, Sürekli, Otomatik
	Sabit kayıt süresi	1 - 10 s
	Otomatik kayıt süresi	1 - 60 s
Uzun Grafik Kayıtları	Kayıt metodu	Diske
	Aralıklar	5 s, 15 s, 1 dak, 5 dak
	Analizler	Tepe, tepe frekansı, tepe vektör toplamı
	Maksimum kayıt süresi	Hafızaya 5 dakika aralıklarla 110 gün sürekli

3.3. Sarsıntı Ölçer Cihazların Kurulumu

Cihazların titreşim algılayıcısı, zemin ile sıkı sıkı temas edecek şekilde tesis edilmelidir. Sismografin algılayıcısının yerleştirildiği yer çok önemlidir. Gevşek olmayan zeminlere yerleştirilmelidir. Gevşek toprak, herhangi yumuşak malzeme ana kütlede bağımsız bir kayaç veya malzeme üzerine yerleştirilmemelidir. Eğer algılayıcı cihaz gevşek toprağa kurulursa, titreşim hareketi ile birlikte algılayıcı zeminden ayrılabilir ve titreşim kayıtları bu durumda doğru yer hareketini temsil etmeyebilir. Algılayıcının yerleştirildiği yer, bağımsız bir kütle değil zeminin tümüyle birlikte hareket edeceği bir yer olmalıdır [48].

Algılayıcıyı zemine gömmek için öncelikle altına üçayaklı parçası bağlanır ve vida ile sıkıca tutturulur. Daha sonra, en az 15 cm derinliğinde bir çukur kazılır. taban mümkün olduğunca düzgün ve pürüzsüz olmalıdır. Algılayıcının ok işaretinin yönü, patlatma yönüne bakacak şekilde deliğin dibine bastırılarak yerleştirilir. Üzeri dikkatlice toprak malzeme ile örtülür ve zemine iyice tutunması için sıkıştırılır. Daha sonra sarsıntı algılayıcının kablosu kayıt cihazına bağlanır ve cihaz aktif hale getirilir.

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları Türkiye Kömür İşletmeleri' ne bağlı Seyitömer Linyit İşletmesi (S.L.İ) ve Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ.) açık ocaklarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışılan formasyonlara ait bazı mekanik özellikler Çizelge 4.1. verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Çalışılan formasyonların bazı mekanik özellikleri [49].

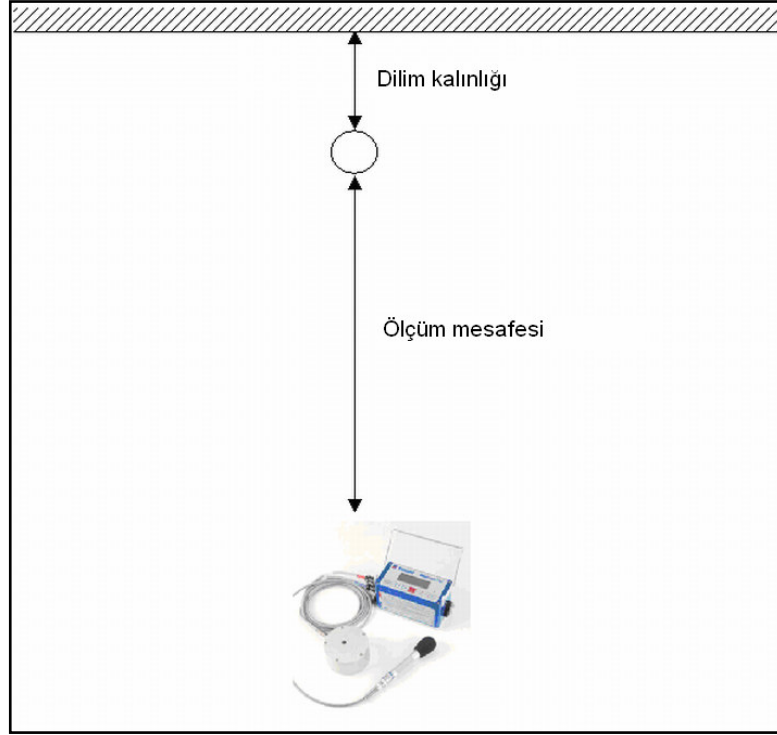
	S.L.İ	G.L.İ.
Yoğunluk(g/cm ³)	2,17	2,70
Tek Eksenli Basma Dayanımı (Mpa)	6,63	32,44
Endirekt Çekme Dayanımı (Mpa)	1,6	32,55
Schmidt Sertliği İndeksi	29,37	42,6
Nokta Yük Dayanımı (Mpa)	1,74	1.73
İçsel Sürtünme Açısı (°)	9	15
Kohezyon (Mpa)	3,4	16

Bu iki işletme de farklı dilim kalınlıklarında hazırlanan ve patlatılan tek delik ve üretim patlatmalarının farklı mesafelerde yersarsıntısı değerleri ölçülmüştür

Arazi çalışmaları iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Tek delik patlatmaları hem S.L.İ. hem de G.L.İ.' de gerçekleştirilmiştir. Üretim patlatmalarına ait ölçümler ise sadece S.L.İ.' de yapılmıştır.

4.1. Tek Delik Patlatmalarında Yapılan Ölçümler

Tek delik patlatmaları kapsamında, arazi çalışmaları Türkiye Kömür İşletmeleri'ne bağlı Seyitömer Linyit İşletmesi (S.L.İ) ve Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ.) açık ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki işletme de farklı dilim kalınlıklarında hazırlanan ve patlatılan tek delik patlatmalarının farklı mesafelerde yersarsıntısı değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1. S.L.İ ve G.L.İ.'de gerçekleştirilen tek delik patlatmalarının şematik görünümü

Tek delik patlatmalarında delik boyu, delik çapı, patlayıcı madde miktarı, şarj şekli gibi tüm değişkenler sabit tutularak sadece dilim kalınlığı değerleri değiştirilmiştir.

S.L.İ açık işletmesinde çalışmanın yapıldığı panoda, basamak yüksekliği 9 m ve basamak şev açısı 80° dir. Formasyon marndır. Patlatma için delinen delikler 152,4 mm (6 inç) çapında ve 10 m uzunluğundadır. Bu ocaktaki çalışma için 4 farklı dilim kalınlığı belirlenmiştir (4, 10, 12 ve 14 m). Tüm dilim kalınlıklarında delik başına 100 kg patlayıcı madde (ANFO) kullanılmıştır. Toplam 20 adet patlatma yapılmış ve değişik mesafelerden (25-150 m) yersarsıntısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2).

G.L.İ. açık işletmesinde çalışmanın gerçekleştirildiği pano marndan oluşmaktadır. Basamak yüksekliği 7,5 m ve basamak şev açısı 80° dir. Patlatma delikleri 152,4 mm (6 inç) çapında ve 8,5 m uzunluğundadır. Çalışma kapsamında belirlenen dilim kalınlıkları 3, 4, 5 ve 6 m' dir. Patlatmalar sonucu oluşan yersarsıntıları, 25, 50, 75 ve 100 m mesafelerden ölçülmüştür. Tüm patlatmalarda delik başına 62,5 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. Bu ocaktaki çalışmalarda toplam 16 adet patlatma gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3).

Atımlara ait örnek veri formları Ek- 1' de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. S.L.İ' de gerçekleştirilen patlatmalar ve ölçülen yersarsıntısı değerleri

Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Madde Miktarı (W, kg)	Ölçüm Mesafesi (R, m)	Dilim Kalınlığı (B, m)	Parçacık Hızı ve Frekansı						
			Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)
			mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s
100	25	4	59,1	8,3	115*	19,5	95,6	4,6	131
100	50	4	59,4	9,2	85	5,1	70,5	10,6	110
100	100	4	16,8	13,7	55,5	11,6	41,4	12,7	62,7
100	150	4	8,89	6,5	14,9	5,4	12,1	7,8	15
100	40	10	51,2	17,2	96,5	21,8	102	12	130
100	60	10	31,2	22,3	69,1	14,6	49,3	6,1	81,3
100	75	10	26,4	11,6	34,4	16,5	38,5	15,8	42,1
100	100	10	15,2	8,9	28,2	15,5	27,1	5,2	28,7
100	125	10	8,51	6,4	15,1	6,1	18,7	4,6	21,5
100	30	12	72,1	9,5	123	20,1	93,3	7	142
100	55	12	17,1	9,9	59,2	15,3	96,5	8,1	99,7
100	80	12	34	13,3	77,3	19,3	57,7	7,6	78,1
100	110	12	15,9	7	29,6	6	30,5	11,4	31,4
100	150	12	13	7,2	14,4	6	13,5	6,3	16,9
100	25	14	37,6	11,1	68,2	18,8	33	8	68,9
100	50	14	10,2	5,6	38,9	17,7	37,5	6,7	41,6
100	75	14	6,73	6,5	17,8	17,1	21,7	4,8	22
100	100	14	7,37	11	19	17,1	21,2	5	22
100	125	14	8,64	9,6	17,1	16,8	18,9	6,8	20,5
100	150	14	5,71	6,6	11,8	5,3	12,1	5	13,2

* Her bir atımdaki PPV değerleri koyu karakterle gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. G.L.İ.'de gerçekleştirilen patlatmalar ve ölçülen yersarsıntısı değerleri

Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Madde Miktarı (W, kg)	Ölçüm Mesafesi (R, m)	Dilim Kalınlığı (B, m)	Parçacık Hızı ve Frekansı						
			Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)
			mm/sn	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s
62,5	25	3	31,5	20,1	62,5	39,4	97,9*	12,8	113
62,5	50	3	13,7	43	30,4	18,3	27,1	19,9	35,6
62,5	75	3	11	23,3	13,8	10,7	15,7	21,6	17,7
62,5	100	3	10,7	21,8	18	10,4	11,6	13	18,6
62,5	25	4	39	31,5	75,3	30,6	44,6	37,2	85,4
62,5	50	4	9,27	19	28,7	18,6	18,3	16,9	30,4
62,5	75	4	9,14	21,1	25,1	18,1	12,2	20,1	26,5
62,5	100	4	5,21	25	16,5	11,9	12,8	16,1	18,8
62,5	25	5	34,9	16,8	74,2	25,6	91,9	14,9	98,5
62,5	50	5	16,9	14,1	18,9	23,5	18	28,8	23,8
62,5	75	5	13,2	24,7	11,7	24,4	12,4	12,4	15,7
62,5	100	5	11,3	62	25	17,5	15	16,1	25,5
62,5	25	6	21,3	31,5	95,2	12,7	63,9	8,6	104
62,5	50	6	6,48	16,4	16,1	18,3	13,3	22,5	17,6
62,5	75	6	11	25,6	24,6	16,5	21,6	20,7	27
62,5	100	6	9,27	17,2	10,9	24,7	13,2	15,8	15,7

* Her bir atımdaki PPV değerleri koyu karakterle gösterilmiştir.

4.2. Üretim Patlatmalarında Yapılan Ölçümler

Bu atımlar S.L.İ. de dekapajı müteahhit firma tarafından yapılan A14 panosunda gerçekleştirilmiştir. A14 panosunda, basamak yüksekliği 9 m ve basamak şev açısı 80° dir. Formasyon marndır. Patlatma için delinen delikler 228,66 mm (9 inç) çapında ve 10 m uzunluğundadır. Çalışmaya baz teşkil eden dilim kalınlığı değerleri 6-15 m arasında değişmektedir. Tüm patlatmalarda, gecikme başına patlayıcı madde miktarı, dilim kalınlığı ve ölçüm mesafesi değerleri alınmıştır. Toplam 26 adet patlatma yapılmış ve değişik mesafelerden (50-100 m) yersarsıntısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4. 4. SLİ’de gerçekleştirilen üretim patlatmaları ve ölçülen yersarsıntısı değerleri

Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (W,kg)	Dilim Kalınlığı (B,m)	Ölçüm Mesafesi (R,m)	Maksimum Parçacık (PPV) (mm/s)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (W,kg)	Dilim Kalınlığı (B,m)	Ölçüm Mesafesi (R,m)	Maksimum Parçacık (PPV) (mm/s)
70	6	50	80,6	37,5	15	66	26,9
50	6	50	28,3	720	7	75	63,5
1300	7	50	83,5	980	7	75	80,3
37,5	15	85	15,7	720	7	50	109,5
37,5	15	92	11	980	7	50	149,2
37,5	15	99	10,4	250	6	50	96,5
37,5	15	100	10,3	950	6	60	122
37,5	15	74	9,65	800	6	75	140
37,5	15	50	40,3	625	6	75	252
37,5	15	64	44,1	700	10	75	58,5
37,5	15	71	36,9	1025	10	50	242
37,5	15	50	49	1000	6	50	102
37,5	15	59	24,8	900	6	70	41,7

5. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tek delik patlatmaları ve üretim patlatmalarından elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

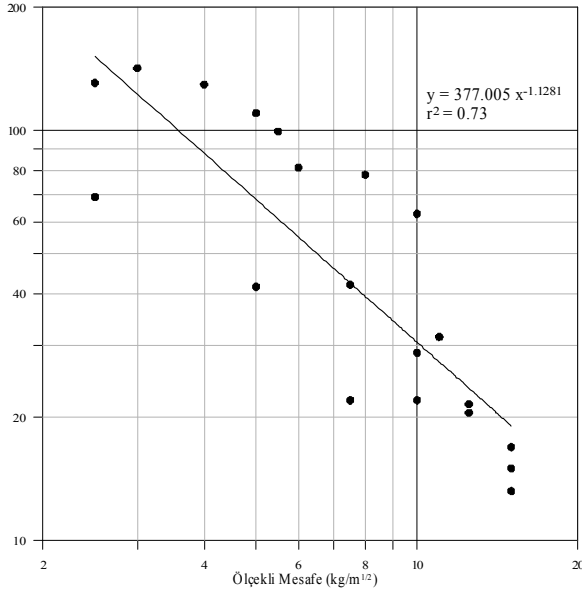
5.1 Tek Delik Patlatmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde elde edilen sonuçlar, yersarsıntılarının gelişimi üzerinde dilim kalınlığının etkisinin varlığını ve türünü belirlemek amacıyla iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada klasik yöntemlerle değerlendirme yapılmıştır. İkinci aşamada ise yersarsıntısı üzerinde dilim kalınlığının etkisi araştırılmıştır.

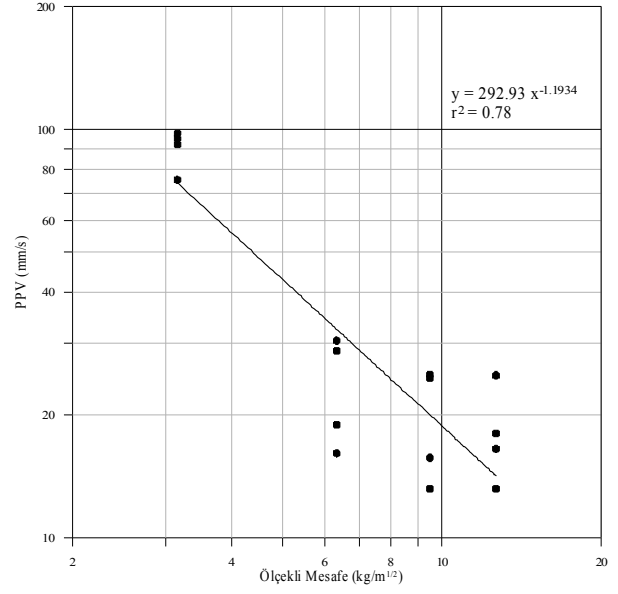
Aşama 1: Bu aşamada her iki işletmedeki patlatmalara ait parçacık hızı bileşenleri (PPVT, PPVV, PPVL, PPV) literatürdeki 11 değişik yöntemle değerlendirilmiş ve regresyon katsayıları Çizelge 4.5' de verilmiştir. Ayrıca veri dağılımının görülebilmesi amacıyla literatürde yaygın kullanıma sahip olan 2 nolu yöntemle göre (Nicholls ve ark, 1971), Maksimum Parçacık Hızı –Ölçekli Mesafe ilişkisi Şekil 5.1' de sunulmuştur.

Çizelge 5. 1. Değişik Yöntemlere Göre Elde Edilen Regresyon Katsayıları

Yöntem	S.L.İ. (regresyon katsayıları, r^2)				G.L.İ. (regresyon katsayıları, r^2)			
	PPVT	PPVV	PPVL	PPV	PPVT	PPVV	PPVL	PPV
1	0.61	0.73	0.64	0.73	0.68	0.76	0.81	0.78
2	0.61	0.73	0.64	0.73	0.68	0.76	0.81	0.78
3	0.61	0.73	0.64	0.73	0.68	0.76	0.81	0.78
4	0.61	0.73	0.64	0.73	0.68	0.76	0.81	0.78
5	0.61	0.73	0.64	0.73	0.68	0.76	0.81	0.78
6	0.61	0.76	0.76	0.80	0.73	0.83	0.89	0.89
7	0.61	0.76	0.76	0.80	0.73	0.83	0.89	0.89
8	0.61	0.76	0.76	0.80	0.73	0.83	0.89	0.89
9	0.61	0.76	0.76	0.80	0.73	0.83	0.89	0.89
10	0.61	0.76	0.76	0.80	0.73	0.83	0.89	0.89
11	0.61	0.66	0.47	0.63	0.80	0.87	0.80	0.91



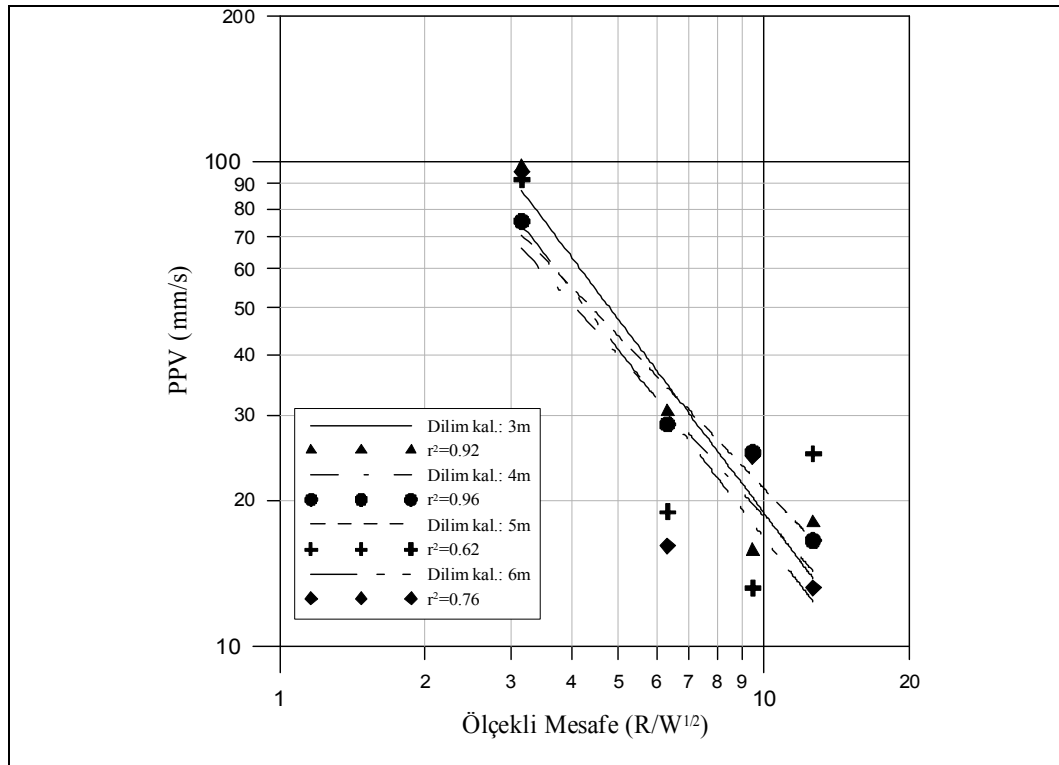
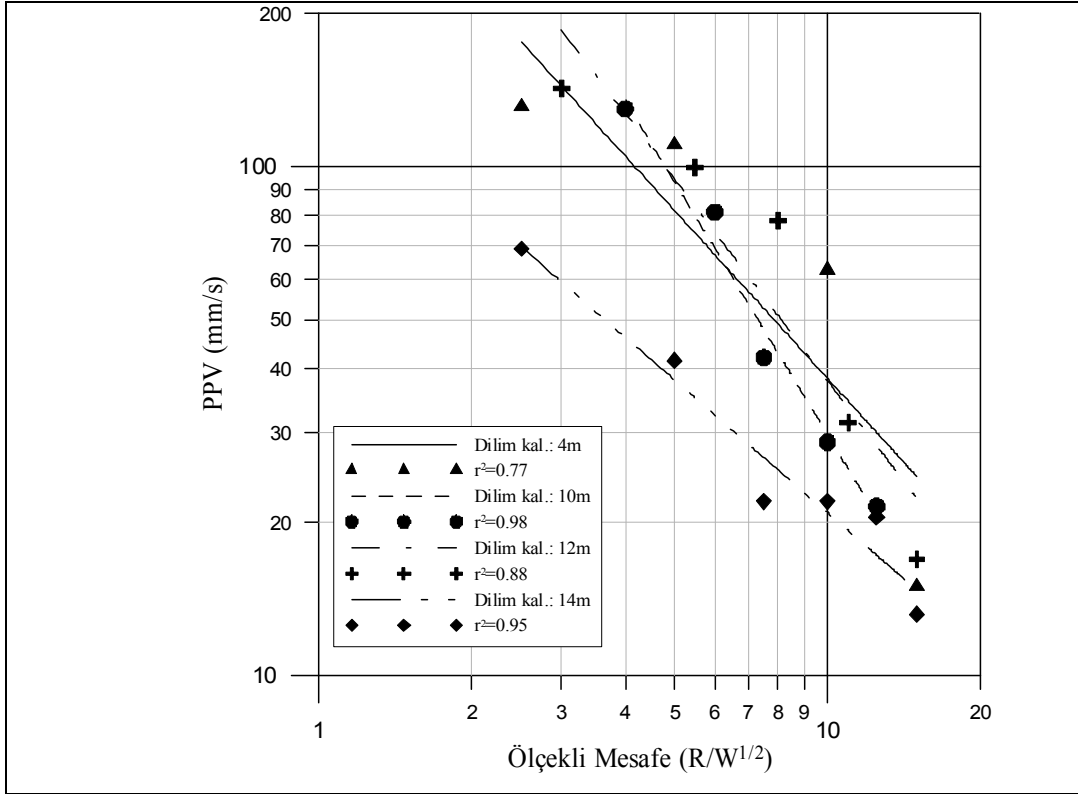
a) SLİ (Tüm Veriler)



b) G.L.İ. (Tüm Veriler)

Şekil 5. 1. Nicholls ve ark (1971) göre Maksimum Parçacık Hızı –Ölçekli Mesafe ilişkisi

Aşama 2: Bu aşamada dilim kalınlığının parçacık hızına etkisini belirleyebilmek amacıyla veriler, dilim kalınlıkları bazında sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.2’de S.L.İ, Şekil 5.3’de G.L.İ. ‘ye ait verilerin dilim kalınlığı bazında sınıflandırılması ile elde edilen grafikler ve korelasyon katsayıları görülmektedir. Verilerin dilim kalınlığı bazında sınıflandırılarak değerlendirilmesi sonucu elde edilen korelasyon katsayıları, tek kalemde değerlendirildiğinde elde edilen korelasyon katsayılarından daha yüksektir (Çizelge 5.2). Bu bilgi, dilim kalınlığı değişiminin parçacık hızı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 incelendiğinde, dilim kalınlığı arttıkça yersarsıntısının azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

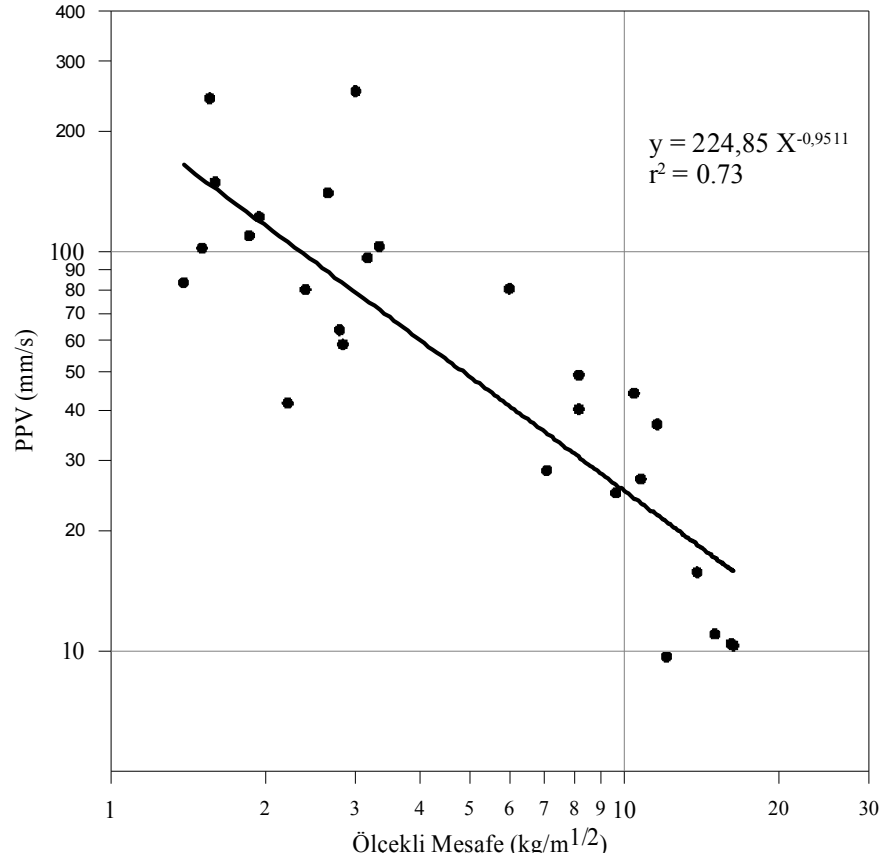


Çizelge 5. 2. Verilerin Dilim Kalınlığı Bazında Değerlendirilmesi İle Elde Edilen Korelasyon Katsayıları

Yöntem	G.L.İ. – PPV (regresyon katsayıları, r^2)				SLİ – PPV (regresyon katsayıları, r^2)			
	B=3m	B=4 m	B=5 m	B=6 m	B=4 m	B=10 m	B=12 m	B=14 m
1	0.92	0.96	0.62	0.76	0.80	0.98	0.83	0.95
2	0.92	0.96	0.62	0.76	0.80	0.98	0.83	0.95
3	0.92	0.96	0.62	0.76	0.80	0.98	0.83	0.95
4	0.92	0.96	0.62	0.76	0.80	0.98	0.83	0.95
5	0.92	0.96	0.62	0.76	0.80	0.98	0.83	0.95
6	0.98	0.97	0.99	0.84	0.97	0.98	0.98	0.95
7	0.98	0.97	0.99	0.84	0.97	0.98	0.98	0.95
8	0.98	0.97	0.99	0.84	0.97	0.98	0.98	0.95
9	0.98	0.97	0.99	0.84	0.97	0.98	0.98	0.95
10	0.98	0.97	0.99	0.84	0.97	0.98	0.98	0.95
11	0.97	0.98	0.86	0.89	0.85	0.98	0.82	0.98

5.2. Üretim Patlatmaları Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında yapılan patlatmalar, dilim kalınlığı bazında sınıflandırılmamıştır. Zira, dilim kalınlıkları belli düzende değildir. Verilerin değerlendirilmesinde, öncelikle yaygın olarak kullanılan 2. yöntem kullanılmıştır. Buna göre çizilen PPV- Ölçekli mesafe grafiği Şekil 5. 4' de görülmektedir.



Şekil 5. 4. Üretim patlatmalarının değerlendirilmesi ile elde edilen grafik

Şekil 5. 4' deki grafikten elde edilen eşitlik ve regresyon katsayısı ise Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$PPV = 224,85 SD^{-0,9511} \quad r^2 = 0,73 \quad (1)$$

Bu patlatmalarda dilim kalınlığının etkisini ortaya koyabilmek için, literatürde mevcut olan 11 yöntem içerisinde regresyon katsayısı en yüksek olan yöntem belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Buna göre belirlenen 10. yönteme dilim kalınlığı fonksiyonu eklenmiştir (Eşitlik 2). Bu değerlendirmeye göre elde edilen Eşitlik ve regresyon katsayısı Eşitlik 3'de verilmiştir.

Çizelge 5. 3. Değişik yöntemlere göre elde edilen regresyon katsayıları

Metot No	Denklem	r ²
1	$PPV = 1339,468 \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1,34}$	0,74
2	$PPV = 224,85 \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-0,95}$	0,73
3	$PPV = 84,0328 \left(\sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^{0,97}$	0,71
4	$PPV = 84,03153 \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{0,73}$	0,71
5	$PPV = 1610,127 R^{-1,38} W^{0,44}$	0,74
6	$PPV = 333,9127 \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-0,88} e^{-0,0074*R}$	0,74
7	$PPV = 1382,715 \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1,33} e^{-0,0011*R}$	0,74
8	$PPV = 164,0692 \left(\sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^{0,88} e^{-0,0106*R}$	0,74
9	$PPV = 164,0674 \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{0,66} e^{-0,0106*R}$	0,74
10	$PPV = 116,3502 \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-0,02} e^{-0,8634*(R/W)}$	0,79
11	$PPV = 198,7175 \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1} + 17,2190$	0,45

$$PPV = K * \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\alpha} * e^{-\beta \left(\frac{R}{W} \right)} * e^{\gamma B} \quad (2)$$

$$PPV = 76,29 * \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{0,09} * e^{-1,12 \left(\frac{R}{W} \right)} * e^{0,05B} \quad (r^2=0.78) \quad (3)$$

Bu değerlendirmelere göre, dilim kalınlığı ilave edilmeden önce 0,79 olan regresyon katsayısı 0,80 olarak elde edilmektedir. Katsayının yaklaşık olarak % 1 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu oran oldukça düşük bir oran olarak görülmektedir. Ancak retim patlatmalarında, dilim kalınlığının etkisinin düşük çıkmasının nedeninin, söz konusu panodaki düzensizliklerin olduğu düşünülmektedir. Zira, Tablo (izelge 4.4)'de grldğu gibi hemen hemen her patlatmada ayrı dilim kalınlığı mevcuttur. Bu patlatmalar kendi içerisinde de sabit bir dilim kalınlığına sahip değildir. Dilim kalınlığı değişik değer aralıklarında oluşmaktadır. Örneğin, bir patlatma sırasında, aynanın bir ucunda dilim kalınlığı 6 m iken, aynanın öbür ucunda bu değer 8 m olarak ölçülmektedir. Bunun dışında, bazı patlatmalarda aynanın önünde önceki patlatmadan kalan yığın bulunduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu etkenler, üretim patlatmalarında dilim kalınlığının etkisinin net olarak belirlenmesini engellemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dilim kalınlığının patlatma sonucu meydana gelen yersarsıntuları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, tek delik patlatması çalışmalarının iki farklı açık ocakta tek delik patlatmaları ve üretim atımları olmak üzere iki aşamalı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tek delik patlatması çalışmalarının sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde, farklı dilim kalınlıklarında yapılan atımlar sonucu ortaya çıkan parçacık hızı değerlerinin geniş bir yayılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5. 1). Parçacık hızı değerleri, dilim kalınlığı bazında sınıflandırılıp değerlendirildiğinde ise korelasyon katsayılarının yükseldiği ve dilim kalınlığı arttıkça parçacık hızı değerinin düştüğü görülmüştür (Şekil 5.2, 5.3). Bunun nedeni, düşük dilim kalınlıklarında, patlama sonucu açığa çıkan enerjinin çatlaklar ve kırıklar oluşturmasının yanı sıra daha yüksek kuvvette atmosfere ulaşması ve bu dalganın birim değişiminden kaynaklanan yansıma ile tekrar kaya kütlesi üzerinde ilerleyen dalgaların üzerine binmesi ve genliğin artmasına sebebiyet vermesi olarak açıklanabilir. Bu durum, GLi ve SLİ’de yapılan çalışmalarda seçilen dilim kalınlıkları incelendiğinde açıkça görülmektedir. Zira, GLİ’deki dilim kalınlıkları birbirine daha yakın, SLİ’de ise daha aralıktır. Bunun neticesinde, GLİ’deki ölçekli mesafeye bağlı parçacık hızı dağılımları nispeten dar bir alanı kapsar iken (Şekil 5.3), SLİ’deki dağılım daha geniş bir alanı kapsamaktadır (Şekil 5.2). Her ne kadar, dilim kalınlığı bazında yapılan analizlerde veri sayısının az olması ilişkilerin hassasiyetini düşündürse de, ortaya çıkan sonuçların paralelliği yaklaşımı destekler niteliktedir.

Tek delik patlatmalarından elde edilen sonucun teyit edilmesi için işletme tarafından yürütülen üretim patlatmaları sırasında da yersarsıntısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu atımların literatürdeki on bir yönteme göre değerlendirilmesi sonucu elde edilen denklemler ve regresyon katsayıları Çizelge 5. 3’ de görülmektedir. Bu verilere göre en yüksek regresyon katsayısı 10 numaralı yöntemle elde edilmiştir. Bu yöntemde denkleme dilim kalınlığı ilave edilmeden önce regresyon katsayısı 0,79 olarak elde edilmiştir. Denkleme bir fonksiyon olarak dilim kalınlığı ilave edildiğinde ise katsayı 0,80 olmaktadır. Buna göre regresyon katsayısının dilim kalınlığına bağlı olarak yaklaşık %1 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu oran nispeten düşük bir orandır. Ancak üretim patlatmalarında dilim kalınlığının etkisinin düşük çıkmasının nedeninin söz konusu panodaki düzensizliklerin olduğu düşünülmektedir. Zira üretim patlatmalarında tek delik patlatmalarının aksine değişken sayısı fazladır (patlayıcı madde miktarı, ateşleme sistemi, delik sayısı, gecikme düzeni). Bunların dışında her patlatmada ayrı dilim kalınlığı olmasının yanı sıra patlatmalar kendi içerisinde de sabit bir dilim kalınlığına sahip değildir. Örneğin bir patlatmada aynanın bir ucunda dilim kalınlığı 6m iken aynanın diğer

ucunda bu değer 8 m olarak ölçülebilmektedir. Bunun dışında bazı patlatmalarda aynanın önünde önceki patlatmalardan kalan yığın bulunduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu etkenler üretim patlatmalarında dilim kalınlığının etkisinin net olarak belirlenmesini engellemiştir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda tek delik patlatmalarından elde edilen net sonuçların üretim patlatmalarından elde edilememesine rağmen dilim kalınlığının yer sarsıntısı üzerinde bir etkisinin olduğu görülmüştür. Buna göre dilim kalınlığı arttıkça yer sarsıntısı azalmaktadır. Bu sonucun teyid edilebilmesi için sonraki çalışmalarda düzenli üretim patlatmalarında bu değerlendirmelerin devam ettirilmesinde fayda görülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1]. Uysal, Ö., Eleveli, B., Akçakoca, H., 2004; “Environmetally sensitive drilling and blasting design for a surface mining”, 13th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 1-3 September, Wroclaw, Poland
- [2]. Arpaz, E., 2000, “Türkiye’deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi ,Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Sivas
- [3]. Devine, J.F., Beck, R.H., Meyer, A.V.C., 1965 Vibration levels transmitted across a presplit fracture plane. RI 6695, US Bureau of Mines, p.29
- [4]. Prakash, A.J., Palroy, P., Mısra, D.D., 2004 Analysis of blast vibration characteristics across a trench and a pre-split plane. Fragblast, Vol. 8, No. 1, pp.51-60.
- [5]. Berzal, R.L., 1976, Blasting vibration levels transmitted across fracture planes. Mining Magazine, October, pp.361-363.
- [6]. Onargan, T., Yayla, N., Gönen, A., Kaya, E., Germen, M., 2003, “Açık ocak tasarımı ve planlaması, delik delme patlayıcı maddeler ve kullanımı, Eğitim Semineri”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, İstanbul
- [7]. Ünal, D.Eylül 2005.”Açık İşletmelerde Kullanılan Patlayıcılar ve Patlamalardaki Yeni Teknolojiler Ve Uygulamaları”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [8]. Anonim,1986, “Handbook of Explosives and Rock Blasting”, Atlas Powder Company, Texas,U:S:A.
- [9]. Bilgin,H.A., Mayıs 2006 ,”Delme Patlatma Eğitim Semineri” , TMMOB Maden Mühendis.L.İri Odası sürekli Eğitim Merkezi.,S,108-118, Ankara.
- [10]. Dick,R.A.,Fletcher,L.R.,D’andrea,D.V.,1983, “Explosives and blasting procedures manual” ,USBM,,IC 8560,44P,USA
- [11]. Bilgin,H.A., Esen, S., ve Kılıç,M.,”TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlamaların Yol Açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma”,Proje Kod No:97-03-05-01-08,ODTÜ, Ankara 100 sayfa, 1998.
- [12]. Siskind, D.E., Crum, S.V., Plis, M.N., 1993, Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Homes Near a Large Surface Coal Mine in Indiana, RI 9455, Bureau of Mines, 62 pages.
- [13]. Siskind,D.E.,Stagg,M.S.,Koop,J.W.,Dowding,C.H.; Structure response and damage Produced by Ground vibration from surface mine blasting, RI8507,Bureau of Mines , 74 Pages , 1980.
- [14]. Ak,H., 2006, “Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması” , Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Eskişehir.
- [15]. İşçen, H.İ., 1995, “Demirbilek köyüne verilen sarsıntının denetlenmesi”, MKEK Barutsan A.Ş:Genel Müdürlüğü, Haksa İnşaat Ve Ticaret A.Ş.K-3f Panosu Dekapaj İşİ ,Elmadağ, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

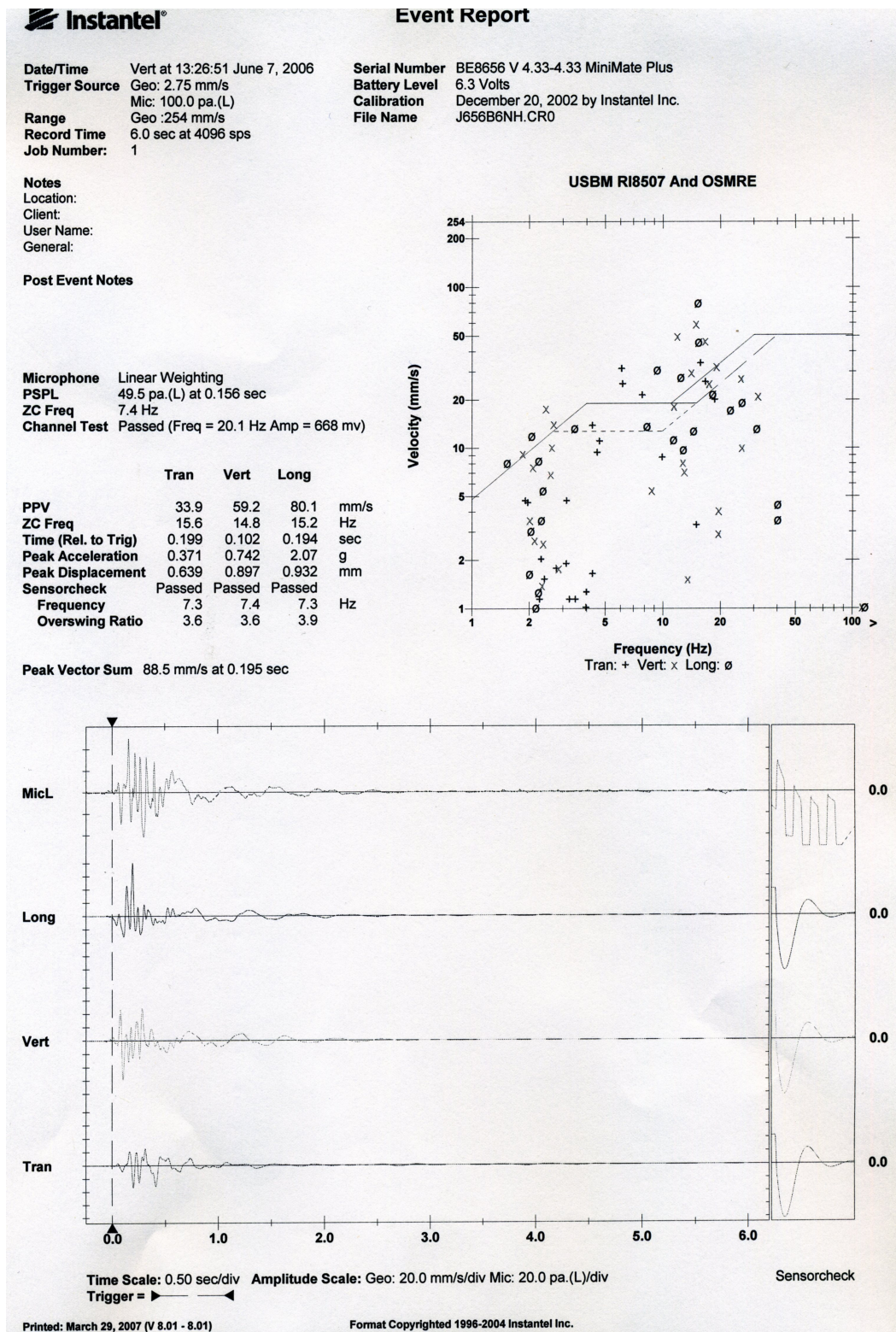
- [16]. Siskind, D. E., Crum, S. V., Otterness, R. E., Kopp, J. W., Comparative Study of Blasting Vibrations From Indiana Surface Coal Mines, RI 9226, Bureau of Mines, 41 Pages, 1989.
- [17]. Dowding, C. H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, 297 Pages,.
- [18]. Hoek, E., Bray, J.W., 1991, "Kaya şev stabilitesi",TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.), Ankara.
- [19]. Yağanoğlu, A., Altan ,A., 1993, "Patlatma Sonucu Oluşan Titreşimlerin İzlenmesi ve Analizi", 1. Delme ve Patlatma Sempozyumu ,s. 99-119,Ankara
- [20]. Konya, C.J., 1990; "Design Blasts with Uncertainty and Tolerance", Proceedings of the 16th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Feb. 4-9, Orlando-Florida, USA.
- [21]. Gustafsson, R., 1973; "Swedish Blasting Technique", Gothenburg, Sweden.
- [22]. Olofsson. S.O., 1988; "Applied Explosives Technology for Construction and Mining", Sweden.
- [23]. Ambraeys, N.R., Hendron, A.J., 1968; " Dynamic Behaviour of Rock Masses, In: Rock Mechanics in Engineering Practice, Editors: Stagg, K.G., Zienkiewicz, O.C., John Wiley and Sons, pp. 203-207, London.
- [24]. Nicholls, H.R, JOHNSON, C.F., DUVALL, W.I., 1971; " Blasting Vibrations and Their Effects on Structures", United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656
- [25]. Langefors, U., Khilstrom, B., 1973; "Rock Blasting", John Wiley And Sons, New York.
- [26]. Davies, B., Farmer, I.W., Attewell, P.B., 1964; "Ground Vibration From Shallow Sub-Surface Blasts", The Engineer, Vol. 217, pp. 553-559, London
- [27]. Attewell, P.B, Farmer, I.W., Haslam, D., 1965; "Prediction Of Ground Vibration Parameters From Major Quarry Blasts", Mining And Minerals Eng., December, Pp. 621-626.
- [28]. Shoop, S.A., Daemen, J.J.K., 1983; "Sire-Specific Predictions Of Ground Vibrations Induced By Blasting", Aime Spring Meeting, March, Atlanta
- [29]. Birch, W.J, Chaffer, R, 1983; "Prediction Of Ground Vibration From Blasting On Opencast Sites", Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Mining Industry), April
- [30]. Ghosh, A., Daemen, J.J.K., 1983; "A Simple New Blast Vibration Predictor (Based On Wave Propagation Laws)", 24th U.S. Symp. On Rock Mechanics, June, Pp. 151-161.
- [31]. Gupta, R.N, Roy, P.P., Singh, B., 1988; "On A Blast Induced Blast Vibration Predictor For Efficient Blasting", Proceedings Of The 22nd International Conference On Safety In Mines, 1015-1021.Beijing, China
- [32]. Roy, P.P., 1991; "Vibration Control In An Opencast Mine Based On Improved Blast Vibration Predictors", Mining Science And Technology, 12(1991)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [33]. Us, Osmre, 1983, Federal Register, Vol. 48, No. 46, Rules and regulations (30 CFR Parts 715, 780, 816, 817).
- [34]. Rockwell, E.K, 1934; "Vibrations Caused By Blasting And Their Effect On Structures", Wilmington, De: Hercules Powder Co.
- [35]. Thoenen, J.R., Windes, S.L., 1942, Seismic Effects On Quarry Blasting,U.S. Bureu Of Mines Bulletin442.
- [36]. Crandell, F.J., 1949; "Ground Vibration Due to Blasting and Its Effect Upon Structures", Reprinted from Journal of Boston Society of Civil Engineers.
- [37]. Langefors, U., Khilstrom, B., Westerberg, K, 1948; "Ground Vibrations in Blasting", Water Power,
- [38]. Edwards, At., Northwood, T.D., 1959; "Experimental Blasting Studies", National Resarch Council, Ottawa, Kanada
- [39]. Bauer, A., Calder , P.N., 1977; "Pit Slope Manual", Chapter 7, Canmet Report 77-14.
- [40]. Foster, G.A., 1983; "OSM's New Blasting Regulations: A More Reasonable Interpretation", Stone News.
- [41]. OSM, 1983; "Rules and Regulations", Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, Vol 46, 8 March, USA.
- [42]. Kahrıman, A., Karadoğan, A.K., Grgn, S., Tuncer, G., 1999, Taş Ocaklarında Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntısının llmesi ve Analizi, 2. Ulusal Kırma Taş Sempozyumu , İstanbul.
- [43]. Basu, D.,Sen, M., 2005, Blast Induced Ground Vivration Norms-A Critical Review, National Seminar On Policies, Statutes& Legislation İn Mines, Postale.
- [44]. 01.07.2005 Tarih Ve 25862 Sayılı Resmi Gazete, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Ynetmeliği.
- [45]. Konya, C.J., Walter, E.J., 1991; "Rock Blasting and Overbreak Control", NHI Course No: 13211, US Department of Transportation, Virginia, USA.
- [46]. ISRM, 1992; "Suggested Method for Blast Vibration Monitoring", International Society for Rock Mechanics,Commission on Testing Methods, Edited By The Secretariat In Lisbon, pp. 145-156, USA.
- [47]. White Industrial Seismology,1997,Mini Seis Digital Seismograph Operating Manual, web page:<http://whiteseis.com>,p.24.
- [48]. Konya, C.J., Walter, E.J., 1990, "Surface Blast Design"., Prentice Hall, ISMN,0-13-877994-5,EnG.L.İ.wood Cliffs,pp.20-22, New Jersey.
- [49]. Uysal, ., Arpaz, E., Berber, M., "STUDIES ON THE EFFECT OF BURDEN WIDTH ON BLAST INDUCED VIBRATION IN OPEN PIT MINES", (basımda), Environmental Geology.

EKLER

1. Atımlara Ait Örnek Veri Formları





Event Report

Date/Time Vert at 12:33:00 June 22, 2006
Trigger Source Geo: 0.750 mm/s
 Mic: 100.0 pa.(L)
Range Geo :254 mm/s
Record Time 3.0 sec at 4096 sps
Job Number: 1

Serial Number BE8656 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.4 Volts
Calibration December 20, 2002 by InstanTel Inc.
File Name J656B7F6.V00

Notes

Location:
 Client:
 User Name:
 General:

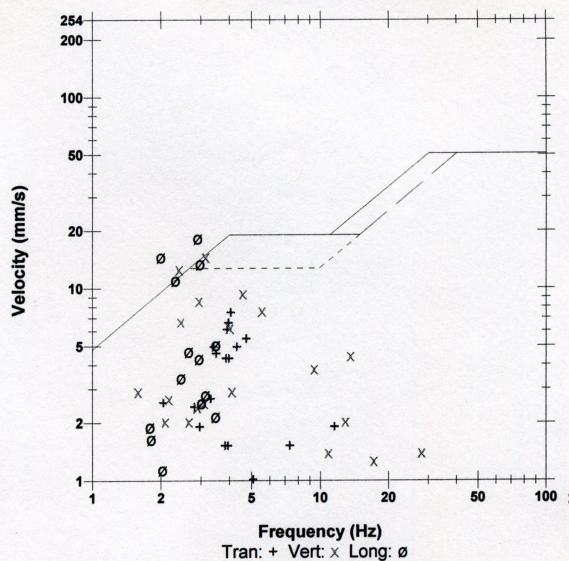
Post Event Notes

BARÝYER DELÝKLERÝNÝN ARKASINDAN YAPILAN ÖLÇÜM

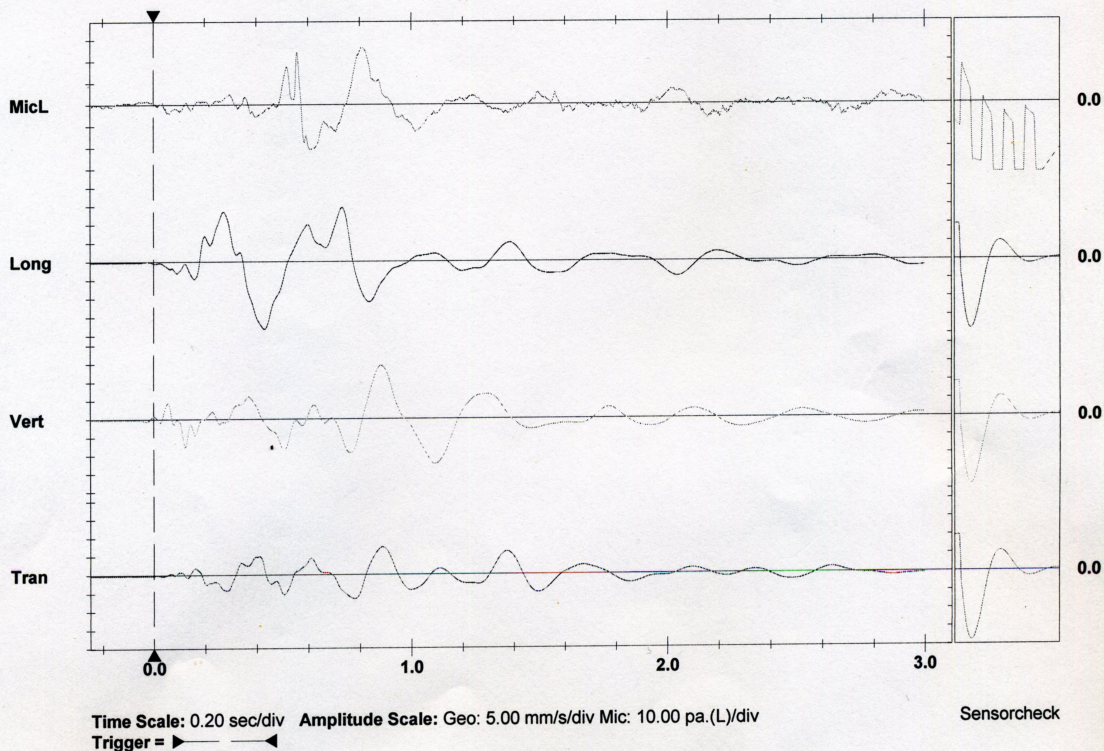
Microphone Linear Weighting
PSPL 26.8 pa.(L) at 0.811 sec
ZC Freq 2.9 Hz
Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 661 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.49	14.6	18.3	mm/s
ZC Freq	4.1	3.1	2.9	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.883	0.880	0.430	sec
Peak Acceleration	0.106	0.106	0.106	g
Peak Displacement	0.287	0.722	0.934	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.5	3.9	

USBM RI8507 And OSMRE



Peak Vector Sum 18.4 mm/s at 0.430 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]



Event Report

Date/Time Vert at 12:20:54 July 11, 2006
Trigger Source Geo: 0.510 mm/s
 Mic: 100.0 pa.(L)
Range Geo :254 mm/s
Record Time 3.0 sec at 4096 sps
Job Number: 1

Serial Number BE8656 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.2 Volts
Calibration December 20, 2002 by InstanTel Inc.
File Name J656B8EC.YU0

Notes

Location:
 Client:
 User Name:
 General:

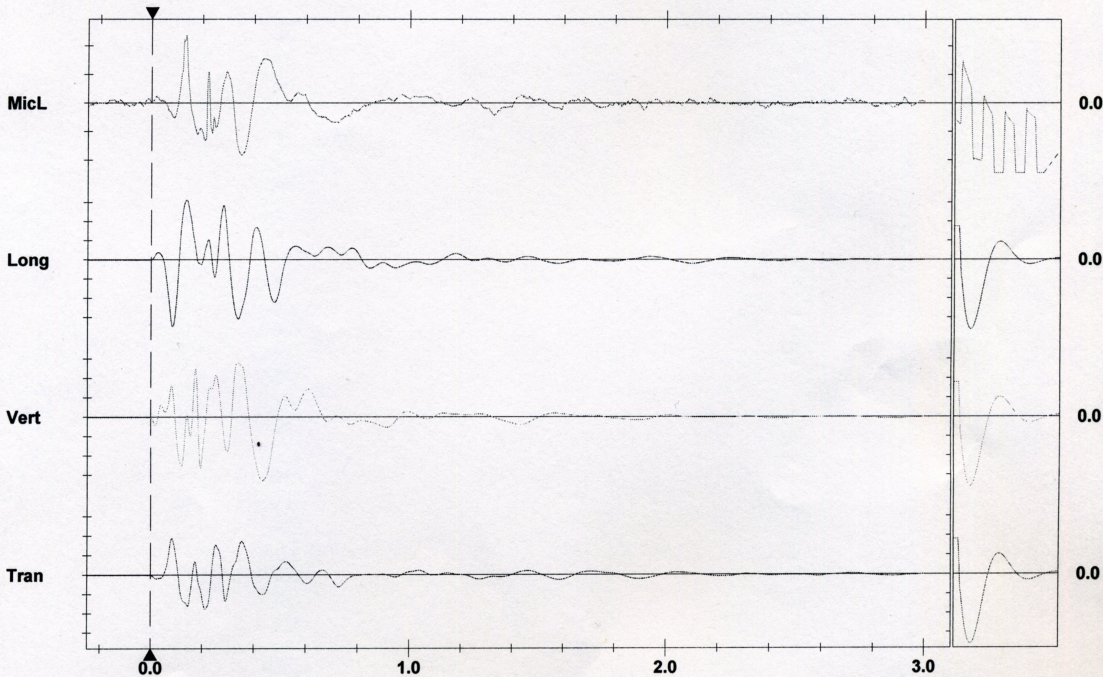
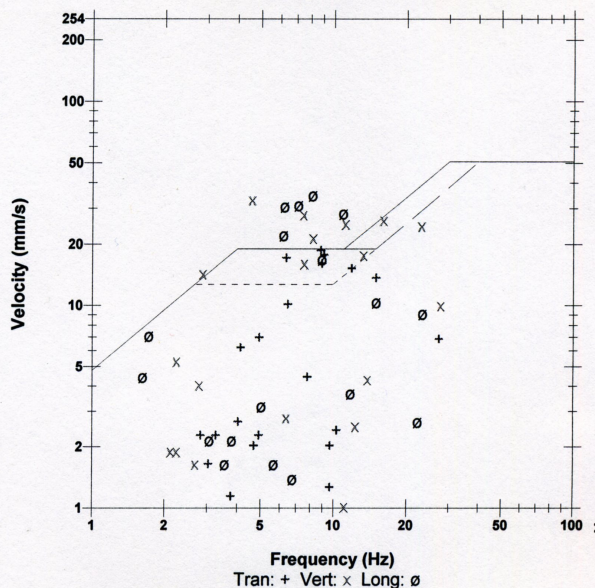
Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 47.5 pa.(L) at 0.135 sec
ZC Freq 10.6 Hz
Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 681 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	18.7	33.1	34.9	mm/s
ZC Freq	8.8	4.6	8.2	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.082	0.431	0.083	sec
Peak Acceleration	0.212	0.530	0.265	g
Peak Displacement	0.386	1.15	0.799	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.5	3.9	

Peak Vector Sum 43.0 mm/s at 0.341 sec

USBM RI8507 And OSMRE



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 10.00 mm/s/div Mic: 20.0 pa.(L)/div
 Trigger = \blacktriangleleft

Sensorcheck