



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN,
BAZI KAYA MADDE VE KÜTLE
ÖZELLİKLERİNE GÖRE İRDELENMESİ**

Bilgehan KEKEÇ

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2010
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Bilgehan KEKEÇ tarafından hazırlanan "Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin, Bazı Kaya Madde ve Kütle Özelliklerine Göre İrdelenmesi" adlı tez çalışması 27/12/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ali KAHRİMAN

Danışman

Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

Üye

Prof. Dr. Veysel ZEDEF

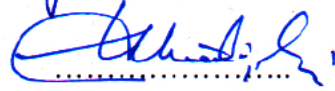
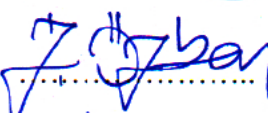
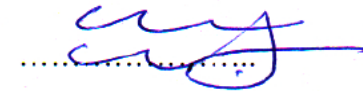
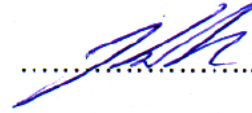
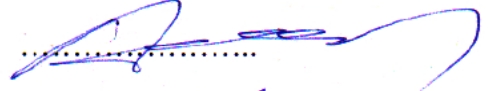
Üye

Doç. Dr. İhsan ÖZKAN

Üye

Yrd. Doç. Dr. Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 07101032 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Bilgehan KEKEÇ

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN, BAZI KAYA MADDE VE KÜTLE ÖZELLİKLERİNE GÖRE İRDELENMESİ

Bilgehan KEKEÇ

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY
2010, 213 Sayfa**

Jüri

Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

Prof. Dr. Ali KAHRİMAN

Prof. Dr. Veysel ZEDEF

Doç. Dr. İhsan ÖZKAN

Yrd. Doç. Dr. Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ

Bu çalışmada, patlatmalı kazı faaliyetleri neticesinde oluşan yersarsıntılarının mevcut kaya maddesi ve kaya kütlesi özelliklerine bağlı olarak, parçacık hızı değişim karakteristikleri araştırılmıştır.

Çalışma genel olarak laboratuvar çalışmaları ve arazi çalışmaları olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Laboratuvar çalışmaları, numunelerin temini, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, titreşim testleri için model numunelerin oluşturulması, patlatma kaynaklı yersarsıntılarını temsilen oluşturulan yapay titreşim dalgalarının oluşturulması ve kayaç üzerinde oluşturulan bu yapay titreşim dalgalarının farklı özelliklere sahip kayaçlar üzerinde meydana getirdiği maksimum parçacık hızlarının tespit edilmesi ve ilişkilendirilmesi işlemlerini kapsamaktadır.

Laboratuvar çalışmaları ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında 0,60-0,98 arasında değişen korelasyon değerleri (R^2) elde edilmiştir. Laboratuvar model numunelerinin 1. ve 3. grubunda yer alan modeller için bileşke maksimum parçacık hızı değerleri (PVS) sırasıyla ortalama % 28,81 ve % 21,76 oranında azalmıştır. Kuru ve suya doymun numunelerde ise, kuru numunelerin bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile suya doymun numunelerin bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasında ortalama % 38,22'lik bir değer kaybı meydana gelmiştir. Farklı tabaka kalınlığına sahip (4. grup model) numunelerin bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde ise tabaka kalınlığı azaldıkça ortalama % 20,85'lik bir artış meydana gelmiştir. Arazi çalışmaları kısmında, Konya Çimento Fabrikasına ait kireçtaşı ocağında yapılan patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin, ocak içindeki farklı noktalarda oluşturdukları maksimum parçacık hızı değerlerinin tespit edilmesi ve bu değerlerin, mevsimsel ve kaya birimine bağlı olarak değişimi araştırılmıştır. Arazi çalışmalarından elde edilen titreşim değerleri incelendiğinde, bunların bazı model numunelerden elde edilen titreşim değerleri ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme ve patlatma, Çevresel etkiler, Yersarsıntıları, Kaya kütlesi

ABSTRACT

Ph.D THESIS

BLASTING INDUCED GROUND VIBRATION DETERMINATION ACCORDING TO THE SOME ROCK MATERIALS AND ROCK MASS PROPERTIES

Bilgehan KEKEÇ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN MINING ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

2010, 213 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

Prof. Dr. Ali KAHRİMAN

Prof. Dr. Veysel ZEDEF

Assoc. Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

Asist. Prof. Dr. Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ

In this study, particle velocity differentiation characteristics of the blast induced ground vibration have been researched by considering some rock material and rock mass characteristics. This study consists of laboratory studies and field works. The laboratory studies included; collecting the rock specimens and determination of physical and mechanical properties of them. These studies included also the preparation of vibration tests model samples as well. Vibration test samples were used to determine the particle velocities caused by artificial vibration waves created.

When the laboratory test results were obtained; it was realized that there were correlation between couples of physico-mechanical properties of the rock samples and peak particle velocity values. The ratios were determined in the limit of 0.60-0.98. In these tests; peak vector sum (PVS) values were decreased about 28.81 % and 21.76 % with the number of discontinuities in the specimen Group-1 and Group-3 simultaneously. The peak vector sum values of dry model samples were determined about 38.22 % higher values with respect to the saturated model samples prepared from the same rock types. Peak vector sum values of the model samples were also determined while the layer thickness differentiated. In these tests, when the layer' thicknesses were decreased, determined peak vector sum values were averagely increased about 20.85 %.

In the performed field works, maximum particle velocities occurred at different rock blasting applications in Konya Cement Factory's limestone quarry were determined and the change of velocity values have been analysed according to seasonal rain conditions and rock type differentiation. When the field and laboratory model vibration values were compared, certain similarities have been recognized.

Keywords: Drilling and blasting, Environmental effects, Ground vibration, Rock mass

ÖNSÖZ

İnsanların günlük yaşantısında kullanmış oldukları birçok malzemenin hammaddesi olan madenlerin üretilmesi ve işlenmesi ilk çağlardan günümüze devam etmektedir. Üretilen ve işlenen malzemenin kullanım alanlarının yaygınlaşması ve artan nüfusla birlikte hammadde gereksinimin artmış olması, madencilğin yaygın bir iş kolu olarak gelişmesine yön vermiştir. Madencilik faaliyetlerinin bu şekilde artması, madencilik alanında teknolojik yeniliklere ve alanda uzman kişilerin yetişmesi zorunluluğunu ortaya koymuştur. Alanda uzman kişilerin yetişmesi ve tecrübelerle değişik üretim ve işletme yöntemleri geliştirilmiştir. Günlük yaşamın hemen her bölümünde kullanılan araç ve gereçlerin hammaddesi olan madenlerin ekonomik bir şekilde kazanılması yaşam kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir.

Üretim esnasında kullanılan yöntemlerden olan patlatmalı kazı faaliyetleri bilinen en ekonomik yöntemlerdendir. Doğada her maddede olduğu gibi tedbir alınmadan ve uzman kişiler tarafından yapılmayan patlatma faaliyetleri, olumsuz yönde çeşitli çevresel etkiler meydana getirebilmektedir. Tedbir alınmadığı takdirde bu etkiler madencilik sektörüne büyük zarar verebilmektedir.

Çalışma bölgelerinin mühendislik özelliklerinin bilinerek, kontrollü bir şekilde yapılan patlatmaların, çevreye herhangi bir olumsuz etkisi olmayacağı gibi maliyet hususunda da işletmeciye önemli katkı sağlayacaktır. Patlatmalardan dolayı oluşan sarsıntıların kayaç içinde ilerlemesinin, kayaç içi süreksizliklere ve kayaç özelliklerine bağlı olduğu vurgulanan bu çalışmada süreksizlik yönlerinin etkisi araştırılarak sarsıntının yayılmasını nasıl değiştirdiği ön plana çıkarılmıştır.

Bu çalışmanın her safhasında desteklerini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bilgi ve tecrübeleri ile yoluma ışık tutan danışmanın Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda bilgi ve deneyimleri ile yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Ali KAHRİMAN' a katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım. Tez çalışmamı değerlendirerek büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Veysel ZEDEF'e, Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a, Yrd. Doç. Dr. Hadi ÖZDENİZ'e ve manevi olarak daima yanımda olan Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Kadrosuna sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında her türlü kolaylığı sağlayan Konya Çimento A.Ş. yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu günlere ulaşmamı borçlu olduğum ve tez sürecince maddi ve manevi katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen babam Gazi KEKEÇ'e, annem Aysel KEKEÇ'e, ağabeyim Bahadır KEKEÇ'e, kardeşim Burak KEKEÇ'e, sevgili eşim Elçin KEKEÇ'e ve oğullarım İhsan ve Kutay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması için sağladığı desteğinden dolayı Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Bilgehan KEKEÇ
KONYA-2010

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| TEZ BİLDİRİMİ..... | iii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ..... | vi |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1.Genel..... | 1 |
| 1.2. Çalışmanın Önemi..... | 1 |
| 1.3. Çalışmanın İçeriği..... | 2 |
| 2. PATLATMA MEKANİĞİ, TEKNİKLERİ VE PATLAYICILAR..... | 5 |
| 2.1. Genel..... | 5 |
| 2.2. Delme ve Patlatmanın Amacı ve Önemi..... | 5 |
| 2.3. Delik Düzeni ve Geometrisi..... | 10 |
| 2.4.PatlayıcıMaddeler..... | 11 |
| 2.4.1. Patlatmanın tarihçesi ve madencilikteki önemi..... | 11 |
| 2.4.2. Patlayıcı maddelerin özellikleri..... | 12 |
| 2.4.3. Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması..... | 15 |
| 2.4.3.1. Yüksek nitelikli patlayıcılar..... | 15 |
| 2.4.3.1.1. Nitrogliserin esaslı patlayıcı maddeler..... | 16 |
| 2.4.3.1.2. Amonyum Nitrat esaslı patlayıcılar..... | 17 |
| 2.4.4. Patlayıcı maddelerin ateşlenmesi..... | 19 |
| 2.5. Kaya Parçalanma Teorisi..... | 23 |
| 2.6. Patlatmanın Çevresel Etkileri..... | 26 |
| 2.6.1. Yer sarsıntılarının genel özellikleri..... | 28 |
| 2.6.2. Patlatma kaynaklı sarsıntılara sinüzoidal yaklaşım..... | 37 |
| 2.6.3. Sarsıntıların etkilerinin ve etki alanlarının belirlenmesi..... | 40 |
| 2.6.3.1. Ölçekli mesafe kavramı..... | 41 |
| 2.6.3.2. Baskın frekans..... | 42 |
| 2.6.4. Maksimum parçacık hızı tahmini..... | 44 |
| 2.6.5. Patlatma hasar kriterleri ve geçmiş yıllarda yapılan çalışma özetleri.. | 47 |
| 2.7. Kaya Maddesi ve Özellikleri..... | 61 |
| 2.8. Kaya Kütlesi ve Özellikleri..... | 62 |
| 2.8.1. Süreksizlikler..... | 63 |
| 2.8.1.1. Süreksizlik türleri..... | 64 |
| 2.8.1.2. Süreksizlik aralığı..... | 69 |
| 2.8.1.3. Süreksizliklerin devamlılığı..... | 71 |
| 2.8.1.4. Süreksizlik yüzeylerinin açıklığı..... | 71 |
| 2.8.1.5. Dolgu malzemesinin özellikleri..... | 72 |
| 2.8.1.6. Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu..... | 73 |
| 2.8.1.7. Süreksizlik yönelimi..... | 73 |
| 2.8.2. Kaya kütlesinin su durumu..... | 74 |
| 2.8.3. Patlatma ve kaya kütlesi özelliklerinin ilişkilendirilmesi..... | 74 |

| | |
|--|------------|
| 3. MATERYAL VE METOD..... | 77 |
| 3.1. Genel..... | 77 |
| 3.2. Numune Bloklarının Temini..... | 77 |
| 3.3. Numunelerin Hazırlanması..... | 78 |
| 3.3.1. Kaya mekaniği deneylerinde kullanılan numunelerin hazırlanması.... | 79 |
| 3.3.1.1. Yoğunluk-gözeneklilik ve su emme kapasitesi belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması..... | 80 |
| 3.3.1.2. Kaya sertliği deneyi numunelerinin hazırlanması..... | 81 |
| 3.3.1.3. Tek eksenli basınç dayanımı belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması..... | 82 |
| 3.3.1.4. Dolaylı çekme (Brazilian) deneyi numunelerinin hazırlanması..... | 83 |
| 3.3.1.5. Nokta yükleme indeks deneyi numunelerinin hazırlanması..... | 84 |
| 3.3.2. Üzerinde yapay titreşim deneyleri yapılan numunelerin hazırlanması..... | 84 |
| 3.3.2.1. Titreşim değerleri ölçümünde kullanılan numuneler..... | 85 |
| 3.4. Yersarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sitemleri..... | 92 |
| 3.4.1. “Instanetl Minimate Plus” ölçüm cihazının tanıtımı..... | 94 |
| 3.4.2. Sarsıntı ölçer cihazların kurulumu..... | 95 |
| 3.4.3. Deney düzeneği ve yapay titreşimlerin oluşturulması..... | 96 |
| 4. KAYA MEKANİĞİ DENEYLERİ..... | 99 |
| 4.1. Genel..... | 99 |
| 4.2. Yoğunluk, gözeneklilik, su emme kapasitesi belirleme deneyi..... | 99 |
| 4.3 Schmidt sertlik deneyi..... | 100 |
| 4.4. Nokta yükleme indeks deneyi..... | 102 |
| 4.5. Dolaylı çekme dayanımı deneyi..... | 103 |
| 4.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi..... | 104 |
| 4.7. Mekanik Testlerin Değerlendirilmesi..... | 106 |
| 5. LABORATUARDA YAPILAN TİTREŞİM TESTLERİ..... | 107 |
| 5.1. Genel..... | 107 |
| 5.2. Titreşim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi..... | 107 |
| 6. LABORATUAR SONUÇLARININ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMELER..... | 122 |
| 6.1. Genel..... | 122 |
| 6.2. Fiziksel ve Mekanik Test Sonuçları ile Maksimum Titreşim Hızı Değerleri Arasındaki İlişkiler..... | 122 |
| 6.2.1. Fiziksel test sonuçları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler..... | 123 |
| 6.2.1.1. Yoğunluk ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler..... | 123 |
| 6.2.1.2. Sertlik değerleri ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler..... | 124 |
| 6.2.1.3. Toplam porozite ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler..... | 125 |
| 6.2.1.4. Su emme kapasitesi ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler..... | 126 |
| 6.2.2. Mekanik test sonuçları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler..... | 127 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler..... | 127 |
| 6.2.2.2. Endirekt çekme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler..... | 128 |
| 6.2.2.3. Nokta yükleme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler..... | 129 |
| 6.2.3. Dokuz farklı numune üzerinde yapılan titreşim değerleri..... | 130 |
| 6.2.3.1. Gri Tüf-1'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 131 |
| 6.2.3.2. Gri Tüf-1'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 132 |
| 6.2.3.3. Gri Tüf-1'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 133 |
| 6.2.3.4. Gri Tüf-1'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 134 |
| 6.2.3.5. Gri Tüf-1 numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 135 |
| 6.2.3.6. Gri Tüf-1 numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 136 |
| 6.2.3.7. Gri Tüf-2'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 136 |
| 6.2.3.8. Gri Tüf-2'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 137 |
| 6.2.3.9. Gri Tüf-2'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 138 |
| 6.2.3.10. Gri Tüf-2'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 139 |
| 6.2.3.11. Gri Tüf-2 numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 139 |
| 6.2.3.12. Gri Tüf-2 numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 140 |
| 6.2.3.13. Sarı Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 141 |
| 6.2.3.14. Sarı Tüf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 141 |
| 6.2.3.15. Sarı Tüf'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 142 |
| 6.2.3.16. Sarı Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 143 |
| 6.2.3.17. Sarı Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 144 |
| 6.2.3.18. Sarı Tüf numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 145 |
| 6.2.3.19. Siyah Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 145 |
| 6.2.3.20. Siyah Tüf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 146 |
| 6.2.3.21. Siyah Tüf'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 147 |

| | |
|--|-----|
| 6.2.3.22. Siyah Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri | 148 |
| 6.2.3.23. Siyah Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 149 |
| 6.2.3.24. Siyah Tüf numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 150 |
| 6.2.3.25. Pembe Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri | 150 |
| 6.2.3.26. Pembe Tüf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri | 151 |
| 6.2.3.27. Pembe Tüf'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri | 152 |
| 6.2.3.28. Pembe Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri | 153 |
| 6.2.3.29. Pembe Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 153 |
| 6.2.3.30. Pembe Tüf numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 154 |
| 6.2.3.31. Traverten-KRM'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 155 |
| 6.2.3.32. Traverten-KRM'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 156 |
| 6.2.3.33 Traverten-KRM'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 157 |
| 6.2.3.34. Traverten-KRM'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 157 |
| 6.2.3.35. Traverten-KRM numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 158 |
| 6.2.3.36. Traverten-KRM numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 159 |
| 6.2.3.37. Traverten-GDN'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 160 |
| 6.2.3.38. Traverten-GDN'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 161 |
| 6.2.3.39. Traverten-GDN'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 162 |
| 6.2.3.40. Traverten-GDN'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 163 |
| 6.2.3.41. Traverten-GDN numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi | 163 |
| 6.2.3.42. Traverten-GDN numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 164 |
| 6.2.3.43. Traverten-PLT'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 165 |
| 6.2.3.44. Traverten-PLT'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 166 |
| 6.2.3.45. Traverten-PLT'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 167 |
| 6.2.3.46. Traverten-PLT'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 168 |

| | |
|---|------------|
| 6.2.3.47. Traverten-PLT numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 168 |
| 6.2.3.48. Traverten-PLT numuneleri için, kuru ve suya doymuş numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 169 |
| 6.2.3.49. Bazalt'dan hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 170 |
| 6.2.3.50. Bazalt'dan hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 170 |
| 6.2.3.51. Bazalt'dan hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 171 |
| 6.2.3.52. Bazalt'dan hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri..... | 172 |
| 6.2.3.53. Bazalt numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi..... | 173 |
| 6.2.3.54. Bazalt numuneleri için, kuru ve suya doymuş numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 174 |
| 6.3. Laboratuvar deneylerinden elde edilen genel değerlendirme..... | 174 |
| 7. ARAZİ ÇALIŞMALARI..... | 176 |
| 7.1. Genel..... | 176 |
| 7.2. Çalışma Sahasının Tanıtımı..... | 176 |
| 7.2.1. Çalışma sahasının genel jeolojisi ve tektonik yapısı..... | 177 |
| 7.2.2. Çalışma sahasının jeolojisi..... | 179 |
| 7.2.3. Kireçtaşı ocağının tanıtımı..... | 182 |
| 7.3. Çalışmada Kullanılan Delme - Patlatma Yöntemleri..... | 184 |
| 7.3.1. Çalışmada kullanılan delme ve patlatma tasarımı..... | 184 |
| 7.3.2. Delik tasarımı..... | 185 |
| 7.3.3. Patlatma tasarımı..... | 186 |
| 7.4. Patlatma Kaynaklı Yersarsıntılarının Ölçümleri ve Değerlendirmeler..... | 188 |
| 7.4.1. Konya çimento kireçtaşı ocağında yapılan patlatma ve sarsıntı ölçümleri..... | 188 |
| 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... | 199 |
| 8.1. Kayaç Özellikleriyle Titreşim Parametreler Arasındaki İlişkiler..... | 200 |
| 8.2. Süreksizlik İçeren Laboratuvar Modellerinin Titreşim Analiz Sonuçları..... | 202 |
| 8.3. Suya Doymuş ve Kuru Laboratuvar Modellerinin Titreşim Analiz Sonuçları..... | 203 |
| 8.4. Arazi Şartlarında Uygulanan Titreşim Analiz Sonuçları..... | 203 |
| 8.5. Sonuç Olarak..... | 205 |
| KAYNAKLAR | 207 |
| ÖZGEÇMİŞ | 213 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|-----------------------|--|
| E_{md} | : Formasyonun elastisite modülü (GPa) |
| ν | : Poisson oranı |
| δ | : Formasyonun yoğunluğu (g/cm^3) |
| U | : Maksimum yerdeğiştirme (deplasman) (mm) |
| K | : Dalga sayısı sabiti |
| w | : Açısal frekans (Hz) |
| t | : Zaman (s) |
| λ | : Dalga boyu |
| c | : Dalga yayılma hızı (mm/s) |
| T | : Periyot |
| u | : Parçacık deplasmanı (mm) |
| \dot{u} | : Parçacık hızı (mm/s) |
| \ddot{u} | : Parçacık ivmesi (m/s^2) |
| SD | : Ölçekli mesafe ($m/kg^{1/2}$) |
| Q | : Bir defada patlayan patlayıcı miktarı (kg) |
| R | : Ölçüm ile patlatma arasındaki uzaklık (m) |
| 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 |
| $e^{-\alpha R}$ | : İnelastik seyrelme faktörü |
| $e^{-\alpha(R/W)}$ | : İnelastik sönme faktörü |
| A | : Yer sarsıntısının genliği |
| C | : Şarj miktarı (kg) |
| d | : Uzaklık (m) |
| ER | : Enerji oranı |
| a | : İvme (m/s^2) |
| f | : Frekans (Hz) |
| V_0 | : Düşey parçacık hızı (mm/s) |
| F_k | : İnşaat kalite faktörü |
| F_d | : Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe |
| F_t | : Patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresi |

Kısaltmalar

| | |
|----------|--|
| USBM | : Birleşik devletler maden bürosu |
| OSM | : Birleşmiş milletler açık ocak madenciliği |
| PVS | : Bileşke titreşim değerleri (mm/s) |
| Ort. PVT | : Ortalama Enine titreşim değerleri (mm/s) |
| Ort. PVV | : Ortalama Düşey titreşim değerleri (mm/s) |
| Ort. PVL | : Ortalama Boyuna titreşim değerleri (mm/s) |
| Ort. PVS | : Ortalama Bileşke titreşim değerleri (mm/s) |
| KM | : Kaya maddesi |
| KK | : Kaya kütlesi |

| | |
|----|---------------------------|
| Co | : Dokanak |
| B | : Tabakalanma |
| F | : Fay |
| FZ | : Fay zonu |
| SZ | : Makaslama Zonu |
| J | : Eklem |
| Fo | : Foliasyon (Yapraklanma) |
| C | : Klivaj (Dilinim) |
| S | : Şistozite |
| V | : Damar |
| L | : Laminasyon |
| F | : Fisür |

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Patlatma faaliyeti, madencilik ve benzeri kazı faaliyetlerinin ana unsurlarından birini oluşturmaktadır. Kazı faaliyetlerinde maliyet açısından en ekonomik yöntem genellikle patlatmalı kazı faaliyetleridir. Son yıllarda, nüfusun artmasıyla birlikte hammadde ihtiyacı da büyük ölçüde artmıştır. Gerekli olan hammadde ihtiyacını karşılamak için madencilik faaliyetleri yerleşim bölgelerine, tarihi ve kültürel bölgelere yaklaşmaktadır. Patlatmalı kazı yöntemiyle üretim yapan bu tip işletmeler patlatma neticesinde oluşan çevresel etkilere karşı tedbir almak durumundadır. Aksi takdirde gürültü kirliliği ve istenmeyen sarsıntılar oluşturan işletmeler, özellikle patlatma kaynaklı sismik hareketlerden kaynaklanan şikâyetlerin önünü alamayacaklardır. Patlatma konusunda duyarsız işletmelerin madencilik sektörüne özellikle, pozitif kamuoyu oluşturma konusunda verdiği zarar, bazı durumlarda küçümsenmeyecek kadar büyük olabilmektedir. Dolayısıyla, madencilik ve benzeri kazıların çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlı bir şekilde yapılan patlatma faaliyetleri şirket yararına olacağı gibi patlatmanın olumsuz etkilerini de en aza indirecektir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Patlatma sonucunda oluşan çevresel etkiler, eğer gerekli önlemler alınmamış ve iyi bir patlatma tasarımı yapılmamışsa, patlatmanın yapıldığı bölgede önemli ölçüde hasarlara sebep olabilmektedir. Bu sebeple, patlatma faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelere yakın yerleşim alanlarında yaşayan insanlar, konutların patlatma kaynaklı yersarsıntılarında dolayı hasar gördüğünü iddia edebilmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel etkilerin en önemlilerinden birisi yer sarsıntısıdır. Tıpkı deprem dalgaları gibi hareket eden ve çok uzaklara taşınabilme kabiliyeti olan bu dalgalar önlem alınmadığı takdirde büyük zararlara yol açabilmektedir.

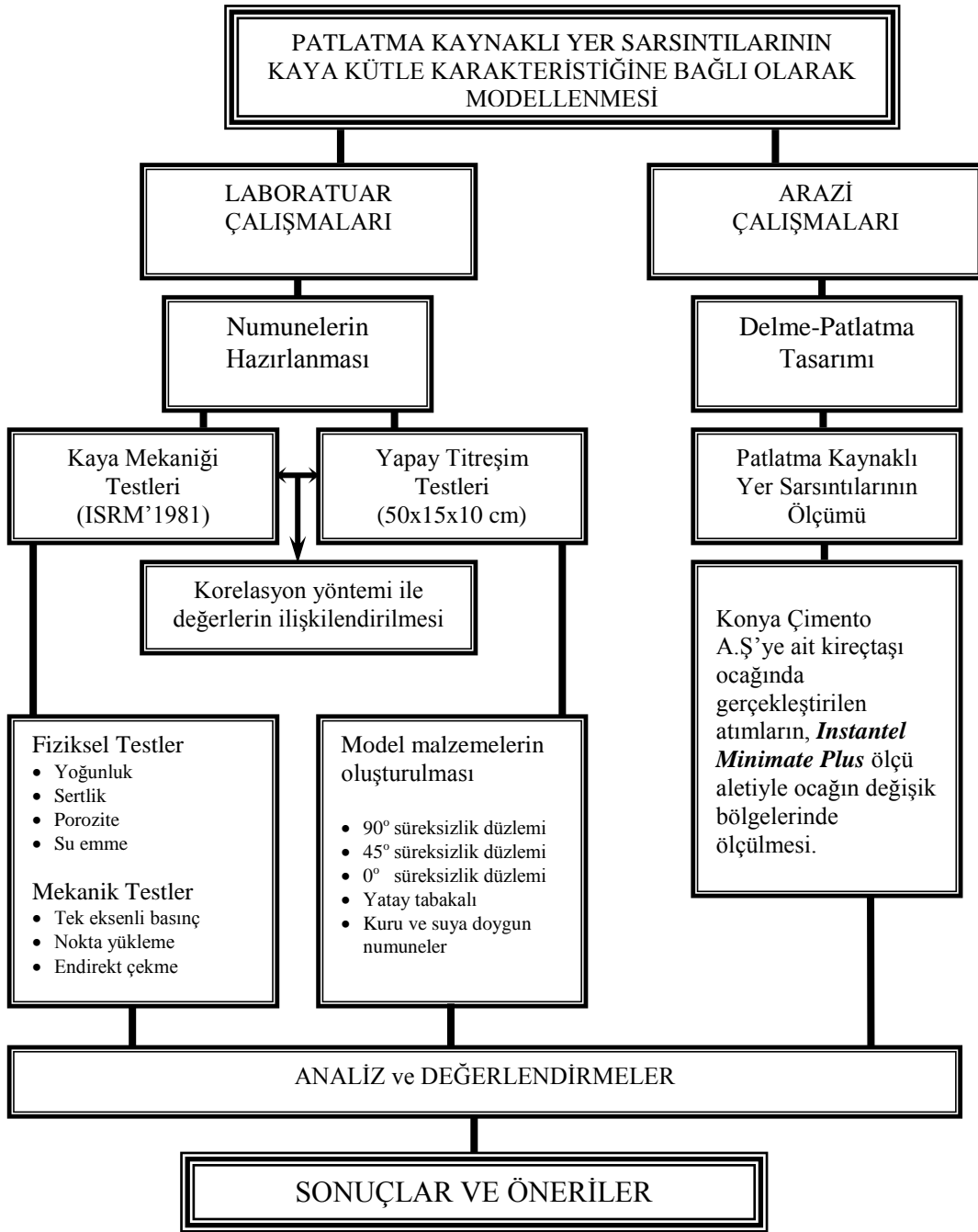
Bu durum; patlatma kaynaklı yersarsıntılarının takip edilmesinde, yapılan patlatmaların mühendislik sınırları içinde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin kontrol edilmesinde, patlatmaya bağlı herhangi bir hasar oluşması durumunda, ilgili hasar niteliğinin araştırılmasında uzman kişilerin çalışmasını gerektirmektedir.

Mühendislik hizmetleri için yapılan patlatma etkilerinin, kaya kütle özellikleriyle birlikte incelenmesi yeni yeni uygulama alanı bulmuş konular arasındadır. Ancak halen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu konuda araştırma yapmanın maliyeti yanında, patlatma yapan açık ocak işletmelerinin ilgili araştırmalara izin vermesindeki zorluklar, patlatmayla ilgili araştırma sayısının yetersizliğine neden olabilmektedir. Bunun yanında patlatma sonucu oluşan yersarsıntılarıyla, depremler sonucu oluşan sarsıntıların benzerlikler göstermesi, depremlerden etkilenen ülkelerde yersarsıntısı araştırma alanında yapılan incelemelerin önemini her zaman üst seviyede tutacaktır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarını temsilen oluşturulan, yapay titreşim hareketleri sonucu oluşan maksimum parçacık hızlarının, kaya kütlesi özelliklerine bağlı olarak değişiminin araştırıldığı bu tezde, yürütülen çalışmalar ve bu çalışmaların işlem akım şeması aşağıda sunulmaktadır (Şekil 1.1).

Bu araştırma kapsamında öncelikli olarak; yersarsıntısı dalgalarının bazı kaya kütlesi ve kaya maddesi özelliklerine bağlı olarak yayılım mekanizması belirlenmek istenmiştir. Bu amaçla farklı mühendislik özelliklerine sahip kayalar üzerinde oluşturulan yapay dalgaların meydana getirdiği maksimum parçacık hareketleri incelenmiştir. Patlatmaya bağlı yersarsıntılarını arazi uygulaması bazında incelemek için, Konya şehir merkezi içinde kalmış, bu nedenle yerleşim yerlerine oldukça yakın bir lokasyonda delme-patlatma ile üretim yapan Konya Çimento kireçtaşı işletmesindeki üretim atımları ele alınmıştır. İlgili kireçtaşı ocağı Konya Çimento Fabrikasının hemen yanında bulunan kireçtaşı formasyonunda açılmıştır. Fabrikanın kurulduğu yıllarda şehirden 10 km dışarıda bulunan fabrika ve kireçtaşı ocağı, son yapılan yeni yerleşim mahalleleriyle birlikte artık neredeyse şehir trafiğinin içinde yer almak durumunda kalmaktadır (Şekil 1.2). Bu lokasyon parametreleri nedeniyle, çimento üretimi amacıyla patlatılan kireçtaşlarının çevreyi rahatsız etmeden parçalanması bir zorunluluk olmuştur. Bu amaçla ocakta kullanılan zaman ayarlı kapsüllerin sarsıntıyı azaltmış olması, ocağın üretimini durdurmaya yönelik resmi başvurularının geri çevrilmesine neden olduğu da burada belirtilmesi gereken konular arasındadır.



Şekil 1.1. Çalışmanın akım şeması

Bu çalışmanın birinci Bölümde çalışmanın önemi ve içeriği vurgulanmıştır. İkinci bölümde patlatma faaliyetleri, yersarsıntısı dalgalarının özellikleri, yayılım mekanizması ve ilgili konularda daha önce araştırma yapan kişilerin çalışmaları özetlenmiştir. Bu tez çalışması raporunun 3. bölümde; çalışmada kullanılan ekipmanlar, malzemeler ve üzerinde denemeler yapılan test numunelerinin hazırlanışı özetlenmiştir. Bu bölüm ayrıca araştırmada kullanılan yöntemlerin anlatımını da içine almaktadır. Dördüncü bölümde, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kaya mekaniği testleri ve

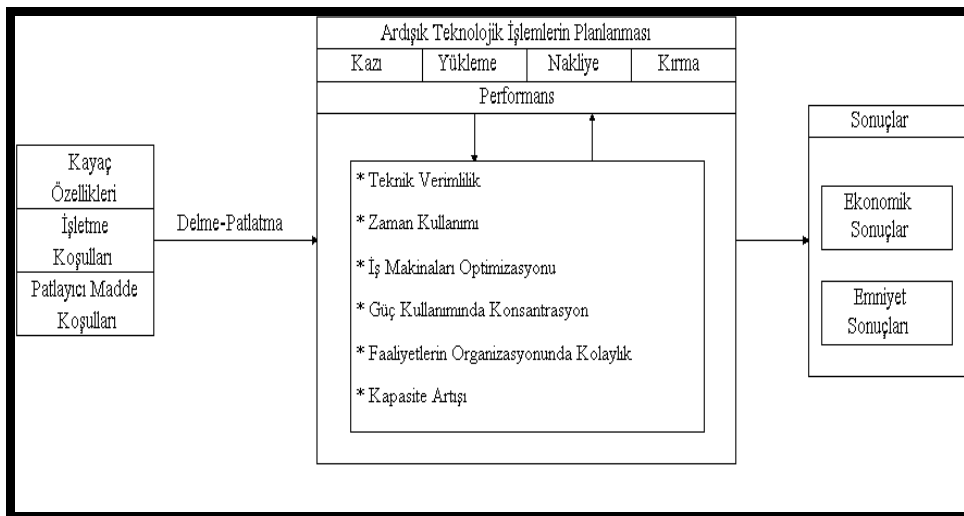
2. PATLATMA MEKANİĞİ, TEKNİKLERİ VE PATLAYICILAR

2.1 Genel

Bu bölümde madencilik faaliyetlerinde vazgeçilmez bir unsur olan delme-patlatmanın amacı ve önemi, kullanılan patlayıcı maddeler, ateşleme elemanları, kaya parçalanma mekanizması, patlatma sonucu oluşan çevresel etkiler, kaya maddesi ve kaya kütlesi özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve sunulmuştur.

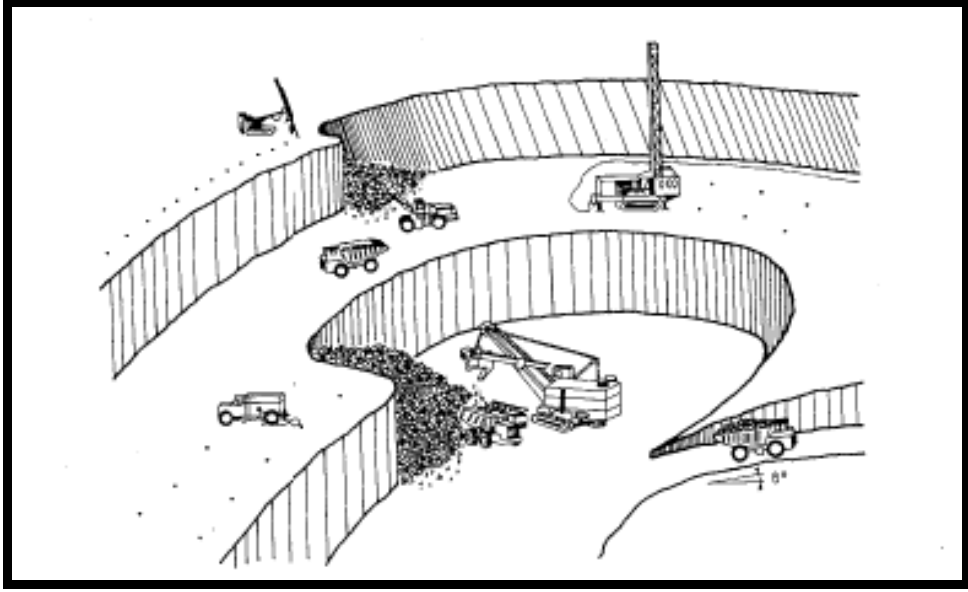
2.2. Delme ve Patlatmanın Amacı ve Önemi

Maden ocaklarında kazı işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla patlatma teknikleri kullanılmaktadır. Yükleme ekipmanlarıyla kolayca kazılamayan doğal kayaçlar (örtü tabakası veya cevherler) yerinde patlatılarak gevşetilir ve yüklemeye uygun hale getirilir. Doğal kaynakların yerinden kopartılıp taşınması sırasında kullanılan yöntemler arasında mekanize kazıyı (tünel açma makineleri, kollu kazı makineleri vb.), mekanize kesimleri (telle mermer kesimi, kollu testerelerle mermer blok kesimi vb.) ve suyla kazıyı (hidrolik madencilik) saymak mümkün olsa da, etkili ve ekonomik olarak en çok kullanılan yöntem delme-patlatma üretim yöntemidir. Delme-patlatma üretim yöntemi, diğer kazı yöntemlerine nazaran teknolojik olarak daha kolay ve günümüz şartlarında daha ekonomiktir. Şekil 2.1’de üretim sürecinde delme-patlatmanın önemi şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2.1. Delme ve patlatmanın üretim sürecindeki yeri ve önemi (Arpaz,2000)

Patlatmalı kazı faaliyetlerinin kullanıldığı işletmelerde, kayaç içerisine patlayıcı maddelerin yerleştirilmesi amacıyla deliklerin açılması gerekmektedir. Bunlara patlatma delikleri denilmektedir.



Şekil 2.2. Açık ocak faaliyetleri (Tamrock, 1984)

Patlatma delikleri pratik anlamda manuel veya mekanize olarak delinebilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde hiçbir işletmede manuel delik açma işlemi (balyoz-murç kullanılarak) yapılmamaktadır. Günümüz şartlarında delici makinelerin kullandığı farklı mekanik yöntemlerin birbiriyle rekabeti sürmekte, farklı ortamlarda farklı delicilerin üstünlükleri birbirine göre karşılaştırılarak deliciler seçilmektedir. Mekanize yöntemler dışında önerilen patlatma deliği açma yöntemlerinin pratik açıdan kullanılabilirlikleri sağlanamadığından yaygın olarak kullanılan yöntemler olamamışlardır.

Mekanik delme işlemlerinde, kayaç içerisinde açılan deliklerde ilerleme aşağıdaki üç ana yöntem ile yapılmaktadır.

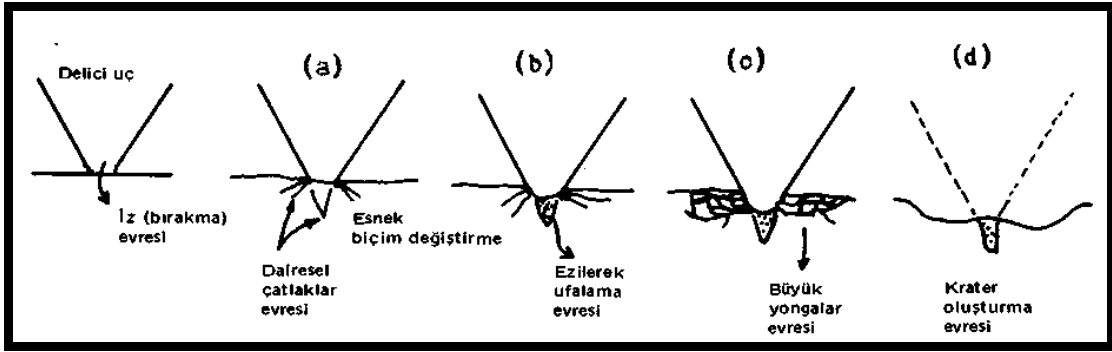
- Vurarak (darbeli) delik delme
- Dönerek delik delme
- Kombine (Vurarak (darbeli)-Dönerek) delik delme

Vurarak delik delme: Bu tür delik delmede delici uç devamlı olarak delik tabanında orta sert- sert nitelikli kayaca ardı ardına vuruş yaparak parçalanmayı sağlamaktadır. İlerleme bu vuruşlar neticesinde kayacın parçalanmasıyla gelişmektedir (Şekil 2.3). Vuruş işlemini yapan pistonun her vuruşundan sonra matkap bir miktar

dönmektedir. Bu dönme hareketi matkabın aynı noktaya vurmasını önleyerek delik dibinde sürekli bir sonraki pozisyondaki kayaca vurmasını sağlamaktadır. Burada;

- Yüzeyde çıkıntılar ezilir ve kaya esneyerek biçim değiştirir,
- Yüzey altında çekme gerilmesi nedeniyle ana çatlaklar oluşur ve delici uç çevresindeki gerilme yığılımlarından aşağıya doğru yayılır,
- Delici uç çevresinde ezilerek parçalanma başlar,
- İkincil çatlaklar yüzey boyunca ilerleyerek kesme gerilmesi yaratır ve delik tabanında daha büyük parçalar koparır.

Kırılıp kopan parçacıklar, basınçlı hava ile yukarı atılır ve matkap ucundaki delik tabanında V biçimli bir oyuk oluşur.



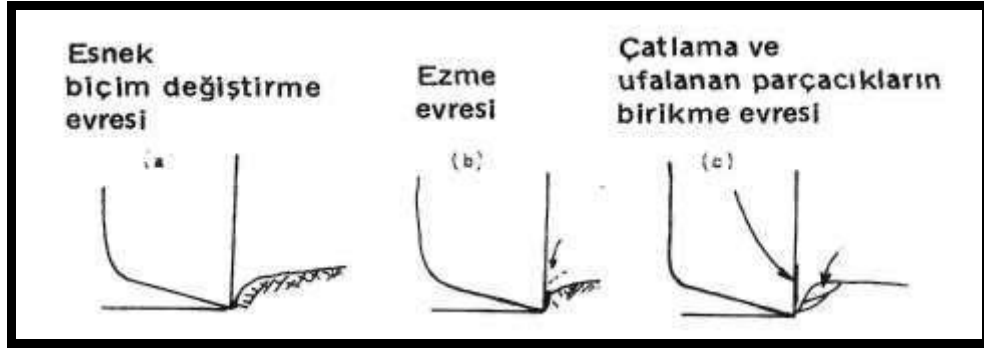
Şekil 2.3. Darbeli delik delme işleminde kayanın yenilme evreleri (Köse ve ark., 2001)

Dönerek delik delme: Bu yöntemde parçalanma ucun dönmesiyle sağlanmaktadır. İlerleme patlatma deliği tabanına uygulanan baskı ve dönme (tork) ile sağlanmaktadır.

Genellikle yumuşak ve orta sertlikteki kayalarda patlatma deliği açmak için bu yöntem uygulanmaktadır (Saltoğlu, 1976).

Bu tür delik delme işleminde, delik tabanında yeralan kayanın yenilme evreleri aşağıda verilmiştir.

- Delici ucun kayaya dokunduğu noktada kaya, uygulanan baskı ve dönme kuvvetlerinden dolayı “esnek biçim değiştirme” evresindedir,
- Delici uca bitişik yüksek gerilme bölgesinde bulunan kaya maddesinde çatlamlar oluşur,
- Kesme gerilmesinin de etkisiyle çatlaklar en yakın kayaç yüzeyine ilerleyerek küçük kırıntıların, çentiklerin, kopmasına neden olur,
- Koparılan kırıntılar basınçlı hava ile dışarıya atılır.



Şekil 2.4. Dönerek delik delme işleminde kayanın yenilme evreleri (Köse ve ark., 2001)

Vurarak-Dönerek delik delme: Bu yöntem diğer iki yöntemin birlikte kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde delik, matkabın hem vurarak hem de dönerek kayacı parçalaması ve kesmesiyle delinmektedir.

Yukarıda anlatılan patlatma deliği delme mekanizmalarına ilave olarak aşağıda verilen yöntemlerinde kullanılması mümkün olmakla birlikte, günümüz şartlarında pratik olarak kullanılamamaktadır. Fakat teknolojinin gelişmesine bağlı olarak bu yöntemlerin ileride daha işlevselliği kazanma ihtimalini de göz önünde bulundurmak gereklidir. İşlevselliği çok az olan bu yöntemler;

1. Termik delme: Termik delme işleminde ısıdan faydalanılmaktadır. Bu yöntemde delik tabanındaki kayacın ısıtılarak parçalanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla delik tabanında ihtiyaç duyulan yüksek ısıyı oluşturacak alev (veya daha farklı ısı dalgası) delik dibine iletilmekte ve buradaki kayacın ani ısınması sağlanmaktadır. Kayaç içinde oluşan 2000°C civarındaki sıcaklık, delik tabanındaki kayaç içinde farklı genleşmelerden dolayı parçalanmaya neden olmakta ve basınçlı havayla yeryüzüne taşınabilecek parçaların delik tabanından kopmasını sağlamaktadır. Bu işlemin uygulanabilmesi ve iş veriminin yüksek olması kayaçların ısıya karşı göstermiş olduğu ayrışma mukavemetinin yenilmesine bağlıdır.

2. Diğer delik delme yöntemleri: Bu kapsamda sayılabilecek yöntemler sırasıyla; basınçlı su ile delik delme, sonik delik delme ve kimyasal delik delme yöntemleridir. Ancak bu yöntemler madencilikte yaygın (ekonomik) olarak kullanılan patlatma deliği açma yöntemleri değildir. Çünkü madencilik uygulamalarında açılması düşünülen patlatma deliği boyutları 10m yüksekliğindeki bir açık ocak şev yüksekliği için ortalama 10cm çapında ve 12m uzunluğunda olduğu düşünülürse, patlatma deliği delinirken delik içindeki yerinden kopartılıp yeryüzüne çıkartılması gereken kaya maddesi miktarı en az 94200 cm^3 civarındadır. Madencilikte kullanılan delme işlemlerinde kullanılacak delik

delme mekanizasyonu ele alındığında; kaya maddesinin delik tabanında ekonomik olarak parçalanmasının yanında, parçalanmış kırıntıların boyutlarının küçük olması ve bunların basınçlı havayla delik yüzeyine çıkartılabilmesinin önemi de, patlatma deliği delme makinelerinin tasarlanmasında özel öneme sahip tasarım aşamalarındandır.

Madencilikte kullanılan patlatma deliği delme sistemleri Çizelge 2.2’de delinmesi gereken kaya maddesi özelliklerine göre verilmektedir. Bu çizelgede delik delme sistemleri kayaç sertliği, delik çapı ve uygulama alanına bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.2. Patlatma deliği delme işlemlerinde kullanılan sistemlerin karşılaştırılması (Ceylanoğlu, 1991)

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|---------------|-----|----|--------------|----------------------|---------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| Sert Kayaç | Üstten Darbeli | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Delik İçinde Darbeli | | Döner Kırmalı (Makaralı Matk.) | | | |
| Yumuşak Kayaç | Döner Kesmeli (Kanatlı Matkap) | | | | | | | | | | |
| Delik Çapı | inch | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 3,5 | 5 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| | mm | 22 | 38 | 51 | 64 | 89 | 127 | 152 | 230 | 300 | 381 |
| Taşıyıcı Eleman | | Elde taşınır | | | Vagon delici | | | Kuleli delme makineleri | | | |
| Uygulama Alanı | | Küçük Basamak | | | | | Büyük Basamak | | | | |

Kayacın sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özellikleri delme işlemini etkileyen önemli parametrelerdir. Uygulamalar sırasında, iri tanelerden oluşmuş ve gevrek taneli yapıya sahip kayaçların daha kolay delinebildiği saptanmıştır. Kayaçların delinebilmesinde kayaç sertliğinden çok delinmek istenen kaya formasyonunun delinmeye karşı göstermiş olduğu direnç ve ilgili kaya kütlesi içindeki süreksizlikler önemlidir. Süreksizliklerin fazla olduğu formasyonlarda delik delme işleminin daha zor olduğu (Köse ve ark., 2001) daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir.

Delik delme işlemi sırasında matkabın kayaç veya cevher kütlesi içindeki ilerleme hızına delme hızı denilmektedir. Birimi cm/dk olarak ifade edilir. Delik delme hızını etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunlar;

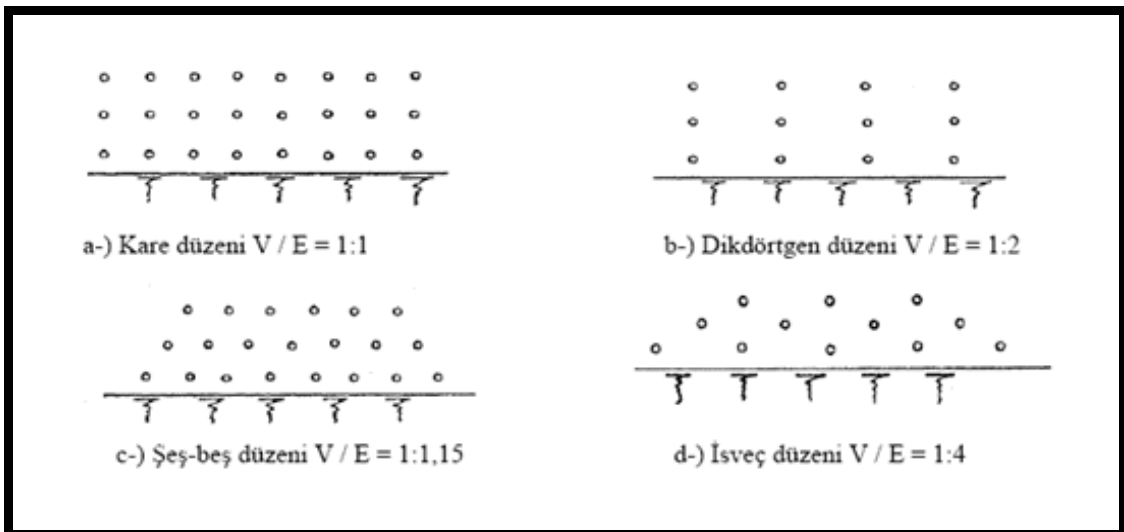
- Kayacın mineralojik yapısı,
- Kayacın klivaj durumu,
- Kayacın sertliği,

- Delme makinesinin teknik özellikleri,
- Matkap ve delici ucun yapıldığı malzemenin cinsi,
- Delik çapı ve derinliği,
- Delik dibi temizliği,
- Patlatma deliğinin eğimi (eğimli veya dik delik),
- İşçilik,

olarak sıralanabilmektedir.

2.3. Delik Düzeni ve Geometrisi

Açık ocaklarda delik düzenleri kare, dikdörtgen, şaşbeş, ve İsveç düzeninde seçilebilmektedir. Kare düzeninde dilim kalınlığı (B) ve delikler arası mesafeler (S) eşittir. İsveç delik düzeninde dilim kalınlığı, delikler arasındaki mesafeden azdır (Yıldız ve Köse, 2003). Bu düzende aynı sıradaki deliklerin birbirleriyle yardımlaşması daha az olacağından bu düzen daha çok masif, homojen ve sert yapıdaki kayalar için uygundur. Şaşbeş delik düzeninde ise dilim kalınlığı ile delikler arasındaki mesafe eşit olabilir. Şaşbeş delik düzenindeki tek fark arka sıradaki deliklerin, ön sıra deliklerinin ortasına delinmesidir. Kare ve dikdörtgen delik düzenlerinin araziye uygulanmaları daha kolaydır. Fakat şaşbeş delik düzeni, patlatma açısından daha etkin ve faydalı olması nedeniyle daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Yaygın olarak kullanılan delik düzenleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Açık ocaklarda yaygın olarak uygulanan delik düzenleri (Ceylanoğlu, 1991)

2.4. Patlayıcı Maddeler

Patlayıcı madde, ısı, darbe veya sürtünme gibi belirli şartlar altında çok hızlı bir şekilde reaksiyona giren, patlayarak ayrılan ve genellikle gaz haline dönüşerek yüksek basınç oluşturan organik veya inorganik bileşimlerdir.

Reaksiyon hızları, patlayıcı maddelerin türünü tayin eder. Reaksiyon hızı ses altı (ses hızından daha az, subsonik) olursa “*parlayıcı maddeler*”, ses üstü (ses hızından daha hızlı, süpersonik) olursa “*patlayıcı maddeler*” olarak tanımlanırlar.

2.4.1 Patlatmanın tarihçesi ve madencilikteki önemi

Kaya yakma ve ısıtma yöntemleri ile yapılan kazı, kara barutun bulunması ile yerini, delme ve patlatma işlemlerine bırakmıştır. Kara barutun bulunması ile birlikte kaya gevşetme işlemleri hızlanmış ve kara barut yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. William Bickford’un 1831 yılında “emniyetli fitili” bulması ateşleme işlemini emniyetli hale getirmiş ve kara barutun kullanımını artmıştır. Sonraki yıllarda İtalyan Ascanio Sobrero, 1846 yılında Nitrogliserini keşfetmiş ve bulduğu bu maddenin imalat ve kullanımının riskli ve tehlikeli olduğunu belirtmiştir (Olofsson, 1988). Bu maddenin ticari anlamda dünya ya tanıtılması 1864 yılında Alfred Nobel’in ilk nitrogliserin üreten fabrikayı kurmasıyla başlamıştır. Nobel öncelikle nitrogliserinin güvenli bir şekilde ateşlenmesi için gerekli mekanizmayı keşfetmiş daha sonra da bu maddenin güvenli bir şekilde taşınmasını sağlayacak ticari formu tasarlamıştır. Nitrogliserinin sıvı olması, darbeye ve sarsıntıya karşı aşırı hassasiyeti (patlayabilme tehlikesi) nedeniyle Nobel öncelikle bu konuyu çözmeye yönelmiştir. Nitrogliserin üretimine başlamasından 3 yıl sonra, 1867 yılında ürettiği nitrogliserini “diatomit” kayacına emdirerek güvenle taşınabilecek ticari patlayıcılardan ilkinin, *dinamit*’i icat etmiş ve piyasaya sürmüştür. Yirminci yüzyılın başlarında dinamit teknolojisindeki gelişmelerle “grizu güvenli” dinamitlerin ve sıvı oksijen patlayıcıların geliştirilmesi sağlanmıştır.

Günümüzde özellikle açık ocak madencilik uygulamalarında çok fazla kullanılan, bazı durumlarda ana patlayıcı konumunda bulunan Amonyum Nitrat bazlı patlayıcıların fark edilmesi 1956 yılında ABD olan bir kazayla başlamıştır. Daha sonraları Amonyum Nitratın patlama hızını artırmak için içine karıştırılan karbon temelli yakıttan (fuel oil veya mazot) dolayı ismi Amonyum Nitrat-Fuel Oil’in

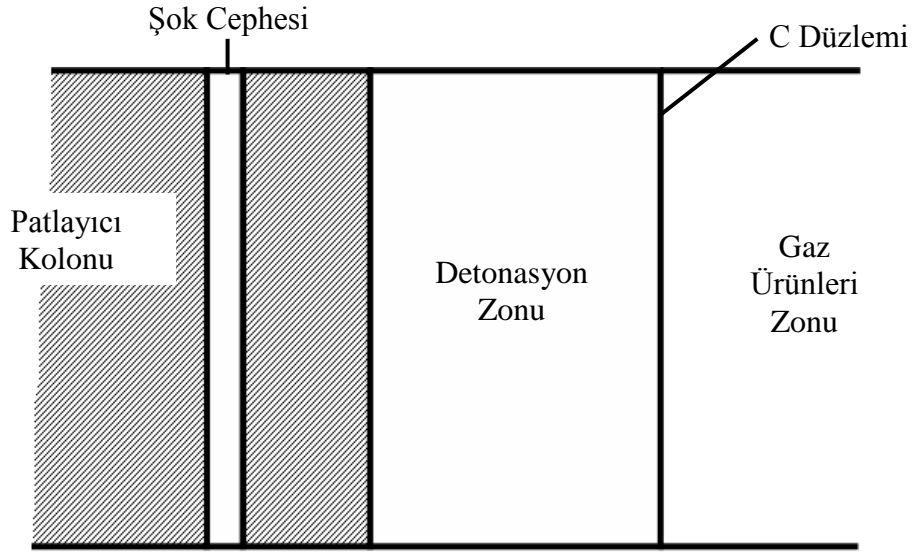
kısaltması olarak, ANFO şeklinde yaygınlaşmıştır. Sıvı oksijen patlayıcıların ömrü ANFO'nun madencilikte yaygın olarak kullanılmasıyla son bulmuştur. ANFO'nun suya karşı dayanıksız olması, su içeren deliklerde kullanılması durumunda ortaya çıkan olumsuzluklar nedeniyle, sulu patlayıcı karışımlar üzerinde çalışmalar başlatılmış ve 1957 yılında Cook tarafından sulu deliklerde kullanılmasında hiçbir sakınca bulunmayan ilk bulamaç patlayıcı (slurry explosives) üretilmiştir. Patlayıcıların ateşlenmesini sağlayan elektrikli kapsüller 20. yüzyılın başlarında keşfedilmiştir. Bu sistemin ateşleme fitiline göre üstünlükleri bulunmakla beraber elektrik temelli kıvılcım oluşturma sistemi nedeniyle; elektrik yükü fazla olan bulutlu ve yağışlı iklim şartlarında, üzerinde çok fazla potansiyel elektrot yüklü kullanıcıların temasında kapsüller bazen patlayarak ölümlere veya yaralanmalara neden olmuştur. Bu dezavantajlı durumu fark eden bazı şirketler 1970 yılında elektriksiz ve barutsuz ateşleme sistemlerini geliştirmişlerdir. Günümüzde kaya gevşetme işlemlerinde en çok kullanılan patlayıcı ANFO ve türevleri olup, ANFO'nun ateşlenmesi için yeni geliştirilen bu sistemler kullanılmaktadır.

2.4.2 Patlayıcı maddelerin özellikleri

Kullanılacak olan patlayıcı maddenin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin iyi bilinmesi, patlayıcının kullanılacağı yere göre seçim yapılabilmesinde önemli rol oynamakta ve daima verimli sonuçlar vermektedir. Günümüzde, madenlerde işletme maliyetinin bir kısmını patlatma faaliyetleri (delik delme, patlayıcılar, ateşleme sistemleri vb) oluşturmaktadır. İşletme maliyetlerinde bu denli önemli yeri olan patlatma işlemlerinin gerekli hassasiyetle yapılabilmesi ve patlayıcı maddelerden maksimum verimin alınabilmesi ancak doğru patlayıcı madde seçimi ve uygun delik geometrisi ile sağlanabilir (Bilgin ve ark., 1993).

Patlayıcı maddelerin, maden mühendisliği açısından dikkate alınması gereken bazı özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

Detonasyon: Ateşleme neticesinde ortaya çıkan patlatma dalgasının patlayıcı madde sütununda birim zamandaki ilerleme miktarı olup, m/sn birimi ile ifade edilmektedir. Detonasyon hızının yüksek olması, pratikte patlayıcının kuvvetli olduğunun bir işaretidir. Patlayıcı maddeler sütunu içerisinde oluşan detonasyonun elemanları Şekil 2.6'daki gibidir.



Şekil 2.6. Patlayıcı maddelerde patlama sırasında oluşan detonasyon zonları (Köse ve ark., 2001)

Buna göre detonasyon elemanları; şok cephesi, detonasyon zonu, şok zonu, gaz ürünleri zonu olarak sınıflandırılabilir. Her patlayıcı maddenin kendine özgü bir detonasyon zon uzunluğu vardır. Dolayısıyla detonasyon patlayıcı maddelerin özelliklerini saptayan parametrelerden bir tanesi olmaktadır. Detonasyon zon uzunluğu fazla olan patlayıcıların parçalama, düşük olan patlayıcıların öteleme özellikleri vardır. Yüksek detonasyon hızlı patlayıcıların kırma, parçalama özelliği daha fazladır, detonasyon hızı düşük olan patlayıcıların ise öteleme ve yığma özellikleri daha fazladır (Meyer, 1977).

Özgül enerji: Patlayıcı maddelerin termodinamik olarak hesap edilen parametrelerinden birisidir. Özgül enerji, patlayıcı maddelerin patlaması sonrası oluşan gazların, patlama esnasında genişerek bir iş enerjisi oluşturmasıdır. Spesifik enerjinin yüksek olması patlayıcı maddenin kuvvetli olduğunun bir göstergesidir. Bu enerji metre-ton/kg veya Joules olarak ifade edilir.

Duyarlılık ve patlama özelliği: Bir patlayıcı maddenin patlayabilmesi için gerekli minimum enerji ihtiyacına duyarlılık denir. Duyarlılık ve patlama özelliği, patlayıcı maddenin emniyetli bir şekilde hazırlanabilmesi açısından oldukça önemli olmaktadır. Patlayıcı maddeler kapsüle duyarlı patlayıcılar ve kapsüle duyarlı olmayan patlayıcılar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Patlayıcı maddelerin, özellikle darbeye ve sürtünmeye karşı duyarlılığının bilinmesi; bunların taşınması, depolanması ve deliklere

şarjı esnasında oluşabilecek tehlikelerin bilinmesi ve emniyet açısından büyük önem taşımaktadır.

Kıvılcım ve alev etkisiyle ateş alma: Kuvvetli patlayıcı maddeler kıvılcım ve ateşe karşı az duyarlıdırlar. Bunun aksine toz patlayıcılar aleve karşı çok duyarlı olduğundan patlama riski fazla olmaktadır.

Yoğunluk: Bir patlayıcı maddenin kapsadığı hacme oranla, ağırlığı olarak tanımlanabilmektedir. Genellikle kg/m^3 cinsinden ifade edilmektedir. Detonasyon süresince birim zamanda devreye giren kütleyi işaret etmektedir. Patlama şiddeti ile patlayıcı yoğunluğu birbiri ile doğru orantılı olup genel olarak yoğunluğu fazla olan patlayıcı madde kullanmak demek, aynı hacimde daha fazla patlama enerjisi bulundurmaktır (Köse ve ark., 2001). Bu nedenle bazı patlayıcılar kalıplama ve presleme yolu ile yüksek yoğunluklarda imal edilirler.

Suya karşı dayanıklılık: Patlayıcının suya karşı dayanıklılığı su altında kalan patlayıcının daha sonra patlayabilme yeteneğini devamlılığı olarak nitelendirilebilir. Patlayıcı maddeler, sudan iki şekilde etkilenir. Birincisi patlayıcının bünyesinde bulunan organik tuz, suda çözünüp ayrılabilir. İkincisi de su basıncı nedeni ile duyarlılığı temin eden hava kabarcıklarının miktarı ve boyutları azalır. Patlayıcı maddelerin suya karşı dayanıklılık özelliklerinin iyi bilinmesi uygulama esnasında uygun patlayıcı maddenin seçimi açısından oldukça önemli olmaktadır. Sulu ve nemli bir ortamda suya karşı dayanıksız bir patlayıcının kullanılması patlatma verimini çok düşürebilir. Bazı durumlarda patlamanın yapılamamasına neden olarak yüksek maliyet ve risklere yol açabilmektedir.

Dona karşı dayanıklılık: Patlayıcı maddelerin soğuk havaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanabilmektedir. Bazı patlayıcı maddeler soğuk ve donlu havalarda özelliklerini kaybedebilmektedir. Bunun yanı sıra düşme çarpma ve sürtünmeye karşı duyarlılıkları artabilmekte ve tehlikeler oluşturabilmektedir.

Patlatma sonucu açığa çıkan gazlar: Patlayıcı maddeler patlatıldığında, bileşimlerinde bulunan ve patlayıcı maddelerin cinslerine göre değişiklik gösteren gazlar (CO_2 , CO , NO_2 , ve N_2O vb.) açığa çıkabilmektedir. Bu gazların zehirlilik veya tahriş etkileri, patlayıcı madde cinsine göre farklılık göstermektedir. Özellikle havalandırılması iyi olmayan yeraltı maden ocaklarında bu gazların yol açacağı tehlikelerin iş ve işçi sağlığı açısından bilinmesi gerekmektedir.

Patlama alev süresi ve büyüklüğü: Grizu tehlikesi ve kömür tozu patlama tehlikesi yoğun olan işletmelerde alev süresi ve büyüklüğünün en az olması istenmektedir.

Depolama Ömrü: Patlayıcı maddelerin uzun sürelerde uygun olmayan koşullarda bekletilme olasılığı mevcuttur. Bu nedenle ticari olarak satın alınan patlayıcı maddelerin depolanma ömrü büyük önem taşımaktadır. Patlatma işlemi yapılan her işletmede patlayıcı maddelerin bir süre depolanması kaçınılmazdır. Bunun için seçilen patlayıcı maddenin depolama ömrünün uzun olması ve işletmenin depolama şartlarına uygun olması gerekmektedir.

2.4.3. Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması

Gelişen teknoloji ile birlikte, farklı içerik ve özellikteki patlayıcı maddeler endüstrinin hizmetine sunulmuştur. Patlayıcı maddeler, ticari amaçlı (endüstriyel) ve askeri amaçlı olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırılabilir (Dowding ve Aimone, 1992; Bilgin ve ark., 1998). Kaya parçalamada ticari amaçlı patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Ticari amaçlı patlayıcı maddeler; yüksek nitelikli patlayıcılar ve patlayabilir karışımlar olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Tamrock, 1984).

2.4.3.1. Yüksek nitelikli patlayıcılar

Bu patlayıcılar; yüksek detonasyon hızlar, yüksek basınçlı şok dalgası oluşturmaları, yüksek yoğunlukları ve kapsül ile ateşlenebilme hassasiyetleri nedeniyle diğer patlayıcılardan ayırt edilebilir. Yüksek nitelikli patlayıcılar birim zamanda yüksek miktarda enerji üretebilmektedir. Yüksek nitelikli patlayıcılar üç grupta incelenebilmektedir.

- Nitrogliserin esaslı patlayıcılar (Dinamitler),
 - Emülsiyon patlayıcılar,
 - Jelatinit dinamit,
 - Sismik dinamit,
 - Antigruzutin dinamit,
 - Gom II-A1 dinamit,
 - El-bar 1 dinamit.

- Amonyum Nitrat Esaslı patlayıcılar
 - ANFO
 - Bulamaç (slurry) türü patlayıcılar
 - TNT, Methylamin, Nitrate (MAN) ve diğer patlayıcı komponentlerle hassaslaştırılmış, (Waterngels) patlayıcılar,
 - Emülsiyon patlayıcılar,
 - Emülan patlayıcı,
 - Emülite patlayıcı.

2.4.3.1. 1. Nitrogliserin esaslı patlayıcı maddeler

Alfred Nobel kurduğu ilk üretim fabrikasıyla insanlığın kullanımına sunduğu nitrogliserin bazlı ticari patlayıcılar, günümüzde bile temel patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Değişik amaçlar için farklı türleri üretilmektedir. İlk önceleri diatomit toprağı ile karıştırılıp duyarlılığı (dengesizliği) kontrol altına alınan nitrogliserin esaslı patlayıcılarda, daha sonraları jelâtinleştirici, donmayı önleyici katkıları katılmaya başlanmıştır. Zaman zaman gereğinden kuvvetli patlayıcı üretmemek, buna bağlı olarak gereksiz maliyet artışından kaçınmak için, Amonyum Nitrat katkılı olanları üretilmeye başlanmıştır (Alpaydın ve ark., 2004 ve Köse ve ark., 2001).

Nitrogliserin esaslı dinamitlerde, depolama şartları hayati önem göstermektedir. Uygun şartlarda yapılmayan depolamalarda veya süresinden uzun bekletilmiş ürünlerde, Nitrogliserin kusması görülebilmektedir. Serbest kalan nitrogliserin ise en ufak bir darbeye karşı duyarlıdır. Nitrogliserin esaslı dinamitlerin yarattığı diğer bir olumsuzluk, bunları çok fazla kullanan insanlarda (madenlerdeki barutcular vb.) şiddetli baş ağrısına neden olmasıdır. Tüm bu nedenler ile günümüzde nitrogliserin esaslı dinamitlerden vazgeçilmekte, harç halindeki patlayıcılar veya emülsiyon patlayıcıların kullanımı artış göstermektedir.

Jelatinit, GOMII A1, Sismik, Grizu güvenli Antigruzutin, ve Elbar 1 dinamitler nitro gliserin esaslıdır. İçlerinde değişik oranlarda nitroselüloz, nitrogliserin, dinitrotoluen vb. bulunmaktadır (Eskikaya ve ark., 2008).

2.4.3.1.2. Amonyum Nitrat esaslı patlayıcılar

Amonyum Nitrat kimyasal formülü NH_4NO_3 olan oksijen taşıyıcı kimyasal bir maddedir. Açıkta bırakıldığında ortamın nemini alabilmekte ve suda çabuk çözünebilmektedir (Alpaydın ve ark., 2004). Amonyum Nitrat (AN) hemen hemen bütün ticari patlayıcı maddelerin ana hammaddelerinden bir tanesidir.

a) *ANFO (Amonyum Nitrat-Fuel Oil)*: Madencilikte, inşaat ve tünel yapımında kaya gevşetme işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan patlayıcı türü olup, % 94,5 teknik Amonyum Nitrat ile % 5,5 oranında mazot karışımından elde edilmektedir.

Açık ocaklarda kullanılan ANFO, daha geniş çaplı patlatma deliklerinin kullanımını artırmıştır. Bu uygulama herhangi bir maden sahasında yapılması gereken bir patlatmada kullanılacak patlatma deliklerinin sayısını azaltmıştır. Belirli bir patlayıcı yüklemesi için açılacak patlatma deliği sayısı; deliklerin geniş çaplı olması durumunda daha küçük çaplı deliklere göre daha az olmaktadır. Bu durumda delik delme maliyeti azalmaktadır. ANFO'nun darbelere karşı mukavemeti nedeniyle kullanım emniyeti oldukça yüksektir. Ancak, ANFO'nun suya mukavemeti çok zayıf olduğundan, kuru deliklerde doğrudan şarj edilebilen ANFO, sulu deliklerde plastik torbalara konulmak suretiyle kullanılabilir. ANFO'nun verimli olarak kullanılabilmesi için, homojen bir mazot karışımı, optimum detonasyon hızını verebilecek yoğunluk ve nemsiz bir ortam gerektiği unutulmaması gereken bir durumdur.

b) *Bulamaç (slurry) tipi patlayıcılar*: Çok verimli ve güvenli bir patlayıcı olan ANFO, suya karşı dirençsizdir. Su seviyesinde çalışan maden ocaklarında genellikle patlatma delikleri su ile dolmakta ve ANFO kullanımını olumsuz hale getirmektedir. Bu problemin üstesinden gelinmesi amacıyla yine temel hammaddesi Amonyum Nitrat olan bulamaç patlayıcılar geliştirilmiştir. Suyu karşı zayıflığı olan amonyum nitrat çok yüksek konsantrasyonlarda çözeltiler verir. Yürütülen araştırmalar böylesi çözeltilerin içine bazı bitkisel zamların katılması ile suda erimeye dirençli, kıvamlı karışımların elde edilebileceğini göstermiştir. İlerleyen dönemlerde, karışımın içine katılan mazotun yerini alabilecek yakıtlar aranmış öncelikle TNT sonrasında ise alüminyum tozu kullanılmaya başlanmıştır.

Karışımlarda değişik kimyasal maddelerin kullanılması, bunların zaman içerisinde birbirlerini etkilemesine yol açabilmekte ve karışımın bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle alüminyum tozunun kullanıldığı karışımlarda alüminyum ile

suyun reaksiyonundan hidrojen gazı salınmakta ve geride alüminyum hidroksit kalmaktadır. Bu nedenle alüminyum tozu özel bir şekilde kaplanmaya başlanmış ve su ile teması önlenmiştir. Ayrıca, karışımın pH'ını ayarlamak için katılan nitrik asit, çevre kayalar ile (özellikle kireçtaşı) reaksiyona girerek sorunlar yaratmıştır. Bunun sonucunda, özellikle uzun süre depolanacak olan patlayıcılarda, kimyasal dengeyi sağlayacak olan önlemler alınmıştır.

c) *Watergel Patlayıcılar*: Temel hammaddesi Amonyum Nitrat olan karışımlardır. Amonyum Nitrat oksijen verici bir rol oynamakta olup karışım %10-30 arasında su içermektedir. TNT Alüminyum veya Methylamin Nitrate (MAN) gibi organik bileşiklerle duyarlı hale getirilmiştir. Kapsüle duyarlı veya kapsüle duyarlı olmayan türlerde üretilmektedir. Watergel patlayıcılar bazen slurry patlayıcılar olarak da isimlendirilmektedir.

d) *Emülsiyon patlayıcılar*: Nitrogliserin bazlı dinamitlerin üretimi, depolanması, nakliyesi ve kullanımının çok zor ve tehlikeli olması, ANFO'nun ise suya dayanıklı olmaması, zayıf ve patlama hızının çok düşük olması gibi nedenlerle, çok daha güvenli ve geniş kullanım alanlarına sahip modern patlayıcılara ihtiyaç duyulmuştur. Buna bağlı olarak, 1970'li yılların sonunda emülsiyon tipi patlayıcılar keşfedilmiş ve 1984 yılında Nitro-Nobel firması tarafından "Emülite" ticari ismiyle piyasaya sürülmüştür.

Emülsiyon patlayıcılar iki türde oluşmaktadır. Birinci türde, esas ortamı su oluşturmakta ve yağ zerrecikleri bu ortam içerisinde bulunmaktadır (su içerisinde yağ emülsiyonu). İkinci türde ise esas ortam yağdan oluşmakta ve su zerrecikleri bu ortam içerisinde yer almaktadır (yağ içerisinde su emülsiyonu). Emülsiyon patlayıcılar iki çeşit olarak incelenebilirler, bunlar;

d-1) *Emülite patlayıcı*: Emülsiyon türü patlayıcılardan olan Emülite, esas itibarıyla oksitleyici (amonyum nitrat ve sodyumnitrat), yağ veya fuel-oil, mikrocamlar, su ve emülsifer karışımından ibarettir. Bu damlacıkları birbirinden ayıran ve özel yağların karışımından oluşan yağ filminin kalınlığı onbinde bir milimetreden azdır. Böylelikle, yakıt ile oksidan arasında çok geniş kontakt yüzeyi sağlamış olup, sonuçta çok hızlı ve tam bir yanma elde edilir. Amonyum nitrat damlacıklarını çevreleyen özel yağ karışımlarından oluşan ince zar, aynı zamanda suya karşı bir dayanıklılık sağlar. Bu nedenle Emülite, sulu deliklerde uzun süre bekletilebilir.

Emülite'in yüksek ve sabit bir patlama hızı vardır. Deliklere şarj edilen Emülite patlayıcısı özelliğini kaybetmeden aylarca durabilir, patlayıcının bu özelliği üretim planlamasında büyük esneklik sağlar. İyi kaya kırma özelliği ve yüksek patlama hızı

sayesinde Emülite, patlatma deliklerinde ANFO'nun altına dip şarjı olarak doldurulabilmektedir. Bu özelliklerine ilave olarak Emülite patlayıcının sürtünme, yanma ve diğer mekanik etkilere karşı daha duyarsız olmasından dolayı, diğer sivil patlayıcılara göre üretilmesi, nakliyesi, depolanması ve kullanılması daha kolay ve güvenlidir.

d-2) Emülan patlayıcı: Emülan, ANFO ile Emülite'in karıştırılması ile elde edilen bir patlayıcıdır. ANFO'ya Emülite'in katılması daha güçlü bir patlayıcı elde edilmesini sağladığı gibi, yeni karışımın hacim kuvveti ve suya dayanıklılığını da geliştirmiştir. Emülite ve ANFO'nun karışım oranları değişik patlatma şartlarını karşılamak üzere ayarlanabilir. Emülan, değişik kaya tipleri için farklı patlayıcı özelliklerine ihtiyaç duyulması nedeniyle geliştirilmiş bir patlayıcıdır. Yumuşak ve orta sertlikteki kayalarda en iyi verimi gösterir.

2.4.4. Patlayıcı maddelerin ateşlenmesi

Ateşleme sistemleri, patlatma operasyonlarının başlangıç kısmını oluşturmakta ve önemli bir kademesini teşkil etmektedir. Patlatma işlemlerinin başarısı, ateşleme elemanları ile ateşleme yönteminin uygunluğu ile sağlanabilmektedir. Patlayıcı maddelerin ateşlenmesi çeşitli ateşleme sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Ateşleme sistemleri aşağıda verilen şekilde gruplandırılabilir;

a) Elektriksiz ateşleme sistemleri: Elektriksiz ateşleme sistemlerini 3 ana başlık altında incelemek mümkündür. Bunların özellikleri kısaca özetlenmek istenirse;

Emniyetli fitil (PVC Fitol)- Adi Kapsül: Eski bir ateşleme yöntemidir. İlke olarak, kapsül içindeki birincil şarjı alevle patlatmaya dayanır. Bu adi kapsülün kullanımında, deliklerin düzenli bir sırada patlatılmasına olanak yoktur. Gecikme uygulanamaz.

İnfilaklı fitil: Dünyada çok yaygın olarak kullanılan ateşleme sistemlerinden birisidir. Emniyetli fitilden farklı olarak PETN içerir ve kendisinde kapsülle ateşlenir. Sürtünmeye ve çarpmaya karşı hassas değildir. Statik elektrikten etkilenmez. Bu özelliği nedeni ile elektrikli kapsül kullanımlarının sakıncalı olduğu ortamlarda ve uygun olmayan hava koşullarında emniyetle kullanılabilir. İnfilaklı fitil ile ateşlemede, bu ateşleyici için özel geliştirilmiş gecikme elemanları kullanılır. Gecikme elemanının türüne göre bu gecikme 5–50 msn. Arasında değişebilir. İnfilaklı fitiller metresinde içerdiği patlayıcı miktarına göre sınıflandırılır.

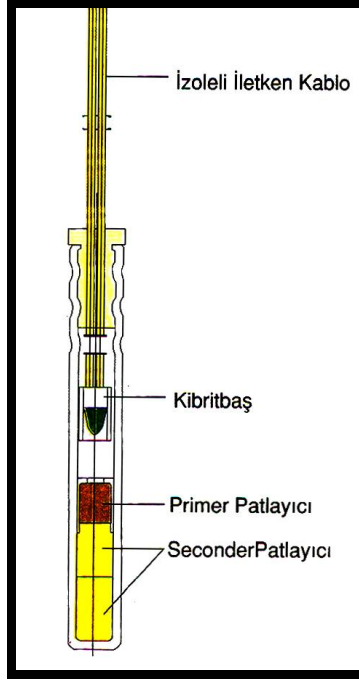
Elektriksiz kapsüller: Bu kapsüller detonatör ile detonatöre bağlı bir plastik tüpten oluşur. Kablo şeklindeki bu plastik tüp içerisinde bulunan reaktif madde yardımıyla iletilen şok aracılığı ile ateşleme gerçekleştirilmektedir. Sürtünme ve ateşten etkilenmeyen bu kapsüller özel manyeto ile ateşlenmektedir. Elektriksiz kapsül ve patlayıcılar deliğe yerleştirildikten ve deliğin sıkılması yapıldıktan sonra, patlatma deliğindeki elektriksiz kapsülden gelen plastik tüpün diğerleriyle bağlantısı yeryüzünde yapılmaktadır. Bu bağlantı sırasında istenirse her patlatma deliği için farklı zaman ayarlı gecikme elemanları bağlanabilmektedir.



Şekil 2.7. Nonel kapsüller

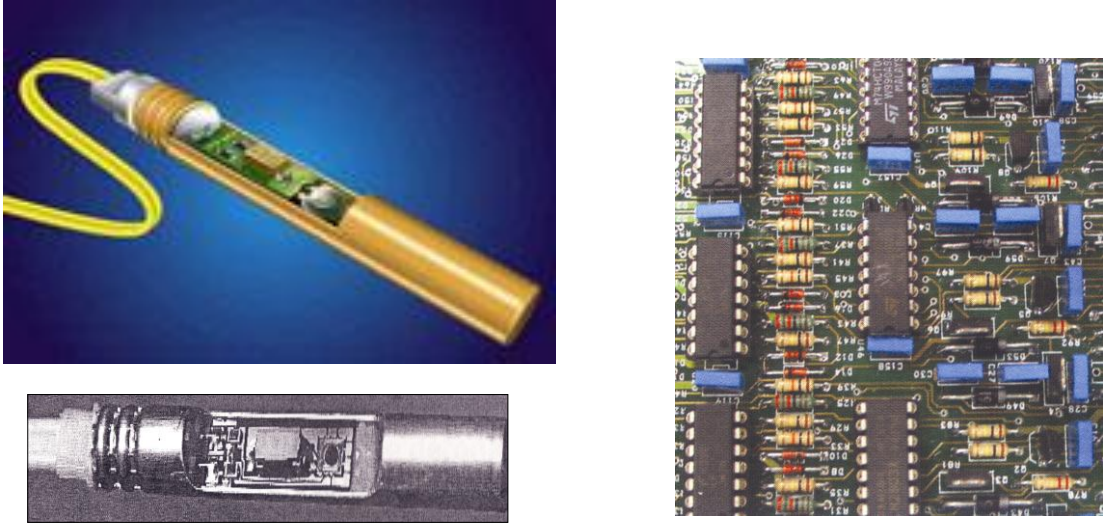
b) Elektrikli ateşleme sistemleri: Elektrikli ateşleme sistemleri aşağıdaki başlıklar halinde incelenebilmektedir.

Elektrikli kapsüller: Adi kapsüllerin yarattığı zamanlama sorununu ortadan kaldırmak ve deliklerdeki patlayıcıları, istenilen zamanda ve milisaniye mertebesinde aralıklar ile patlatabilmek için, elektrikli kapsüller kullanıma girmiştir. Gecikmesiz elektrikli kapsüller, milisaniye gecikmeli elektrikli kapsüller, yarım saniye gecikmeli kapsüller olmak üzere çeşitleri mevcuttur.



Şekil 2.8. Elektrikli kapsülün şematik görünüşü

c) **Elektronik ateşleme sistemleri:** Teknolojik gelişmelerle birlikte mikro elektronik devreler hemen hemen tüm endüstriyel uygulamalar içerisinde kullanılmaya başlanmıştır. Patlatma uygulamalarında da mikro işlemcili elektronik kapsüller kullanılabilir. Bu amaçla hazırlanan mikro işlemciler patlatma devresi elemanlarına, kapsüllerin içine veya patlatma devresi elemanlarına entegre edilebilir. Böylece patlatma zaman ayarlaması elektronik olarak ayarlanabilen ateşlemeler yapılabilir. Patlatma delikleri için gecikme zaman ayarı bu devreler sayesinde mili saniyeler seviyesinde gerçekleştirilebilir. Bu ateşleme sistemlerinin kullanılmasıyla, delikler arasında gecikme zamanının istenildiği gibi ayarlanabilmesi (farklı tasarımlara uygun olması), patlatma sonucu oluşan parça boyutunun ve çevresel etkileşimlerin kontrolünde ek faydalar sağlayabilir.



Şekil 2.9. Elektronik kapsüller

d) Manyetolar: Ateşleme araçlarının en başta gelen parçası manyetolardır. En fazla kullanılanı, dinamo yardımıyla akım oluşturan, dinamo tipi ateşleme elemanıdır. Ateşleme işinde pil ve aküler ile normal elektrik şebekesi de kullanılmaktadır. Dinamo tipi manyetolar, prensip olarak elle hareket ettirilen bir dinamodur. Dinamoya hareket verme, bir kolu bastırmak veya bir kolu çevirmek suretiyle olur. Bu hareketi her zaman aynı kuvvetle yapabilmek için, önce alettaki yay gerdirilir sonra düğmeye basmakla dinamo harekete geçirilmiş olur. En fazla kullanılan tipleri, elle hareket ettirilenleridir. Bu da büyük ateşlemeler için dilsiz kollu, küçük işler için döner kollu manyetolar şeklinde olmaktadır. Manyetolar bir anda ateşleyebileceği kapsül sayısına göre özel olarak üretilirler. Bu sayı manyetonun üzerindeki bir plakada yazılıdır. Patlatılacak delik sayısı veya kullanılan kapsül sayısının manyeto üzerindeki sayıya uyması halinde, ateşleme yapılabilir. Kapsül sayısı fazla ise hiçbir zaman ateşleme yapılmamalıdır.



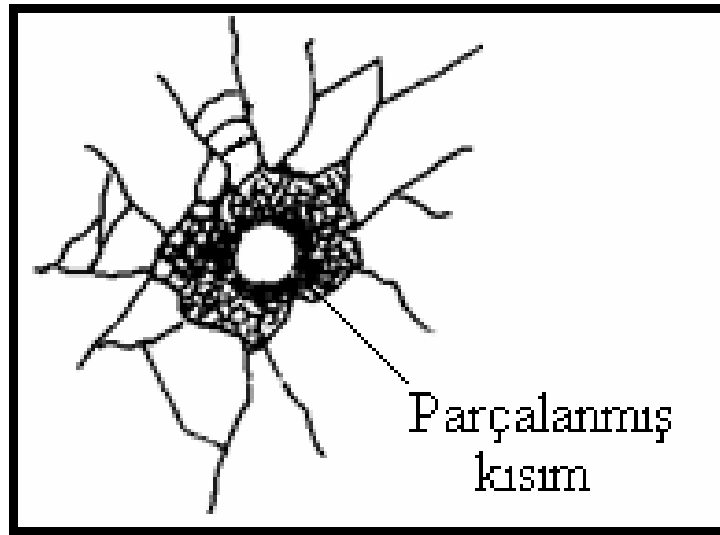
Şekil 2.10. Çeşitli manyeto tipleri

e) **Ateşleme telleri:** Ateşleme telleri, manyetonun elektrikli kapsüllerle bağlantısını sağlayan bakır veya demir alaşımlı tellerdir. Tellerin mutlaka yalıtkan bir madde ile kaplanmış olması gerekir. Aksi halde kaçak akım, kısa devre yaparak zamansız patlamalara neden olacağı gibi, çıplak telin toprağa veya başka yerlere değmesiyle direnç büyüyeceğinden, manyeto etkisiz kalabilir. Ayrıca, patlatma deliklerini birbirine bağlayan elektrik devresinde gidiş ve dönüş tellerinin muhakkak ayrı olması gerekir.

2.5. Kaya Parçalanma Teorisi

Patlatma deliğine yerleştirilen patlayıcıların ateşlenmesiyle kayaçta parçalanma olayı üç aşamada meydana gelmektedir (Olofsson, 1988).

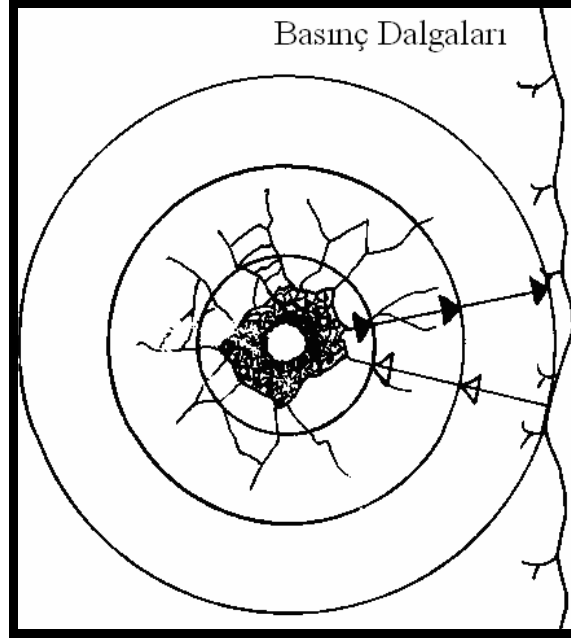
Birinci aşama: Patlatma deliğine şarj edilen patlayıcının patlatılması ile ortaya çıkan basınç dalgasının sonik dalga hızında kayanın her yönüne doğru basınç yaparak yayılması ilk aşamayı oluşturmaktadır. Bu aşamada patlatma delik duvarları kırılarak genişleme başlamaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Patlatma delik duvarlarının parçalanarak genişlemesi (birinci aşama)

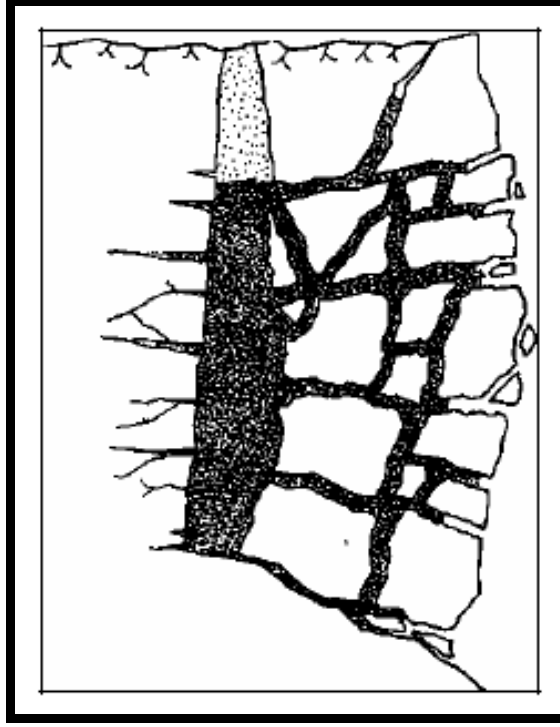
İkinci aşama: Sıkıştırıcı basınç dalgasının delik civarında bulunan serbest yüzeylere (süreksizlikler, şev aynası, tünel ve galeri aynası vb.) çarparak tekrar geri yansımaları takip eden süreçte, kaya kütlesi içerisinde oluşan gerilmeler ikinci aşamayı

belirler. Bu etkileşim sürecinde serbest yüzey ve patlatma deliği arasındaki kaya kütlelerinde çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Basınç dalgasının kaya kütlelerinin dayanımını aşmasıyla çatlaklardan ve kütle içinden geçen gerilim ve yansıma dalgaları kayayı parçalamaya başlar (Şekil 2.12).



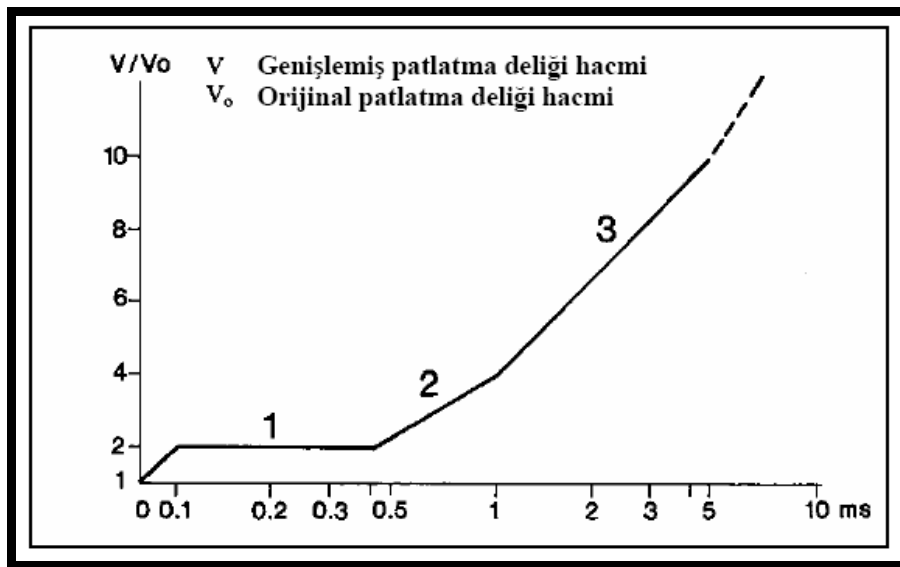
Şekil 2.12. Sıkıştırıcı basınç dalgaları (ikinci aşama)

Üçüncü aşama: Patlama ile oluşan yoğun basınçlı gazlar, hızlı ısı boşalması ile genişleyerek ilk oluşan çatlakların arasına sızarak çatlakların genişleyip ilerlemesine neden olurlar. Sonuçta çatlaklar genişleyerek “serbest yüzeyi” ileri doğru iterek hareket ettirirler (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kırılmış kayaç kütleğinde gazın yayılması (üçüncü aşama)

Patlatma deliğinde meydana gelen patlatma reaksiyonları çok hızlı gerçekleşmektedir. Patlatma işi tamamlandığında orijinal patlatma deliği hacmi yaklaşık 5 milisaniyede 10 katına kadar çıktığı rapor edilmektedir. Bu konuda Olofsson, (1988)'in sunduğu, patlatma deliği hacminin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 2.14'de verilmektedir.



Şekil 2.14. Patlatma deliğinin zamana bağlı olarak genişlemesi (Olofsson,1988)

Şekil 2.14’de gösterilen eğri incelendiğinde aşağıda özetlenen değerlendirmeler yapılabilecektir;

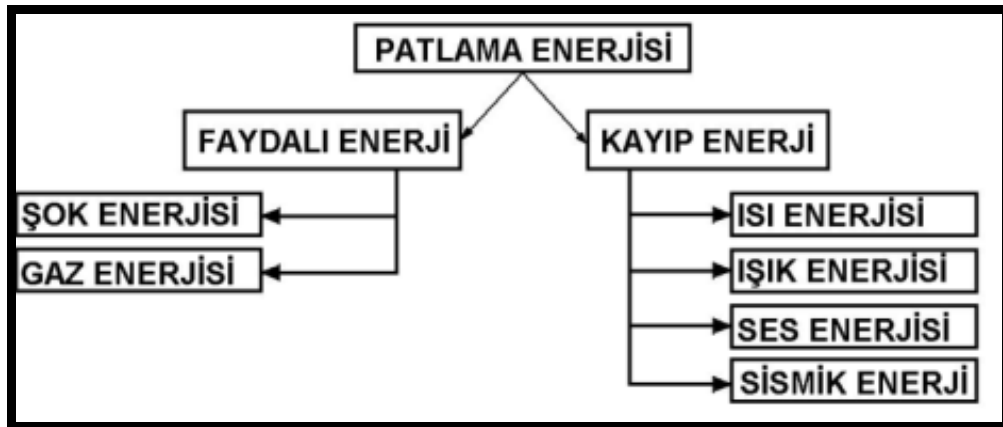
1. Kayanın parçalanmasını sağlayan şok dalgalarının başlamasıyla patlatma deliği orijinal hacminin iki katı kadar genişler. Patlatma deliğinden etrafa ışınsal kırıklar açılmaya başlamadan önce uzun bir süre (0.1 – 0.4 milisaniye) bu hacimde kalacaktır.

2. Doğal çatlakların yanı sıra, serbest yüzeyde hareket eden şok dalgalarının yansımasıyla oluşan çekme gerilmeleri ve patlatma deliği civarındaki stres bölgesi arasındaki etkileşimle yeni çatlaklar oluşmaktadır. Patlatma sonucu oluşan kimyasal reaksiyon ürünleri, normal hacminin dört katı kadar genişleyen patlatma deliğinden, kırıkların içine girerek genişler. Reaksiyon ürünlerinin, hacmi yaklaşık dört kat kadar genişleyen patlatma deliklerinden çatlakların içine doğru ilerlemesi ve buralarda ek genişletme etkisinde bulunmasıyla kayaçta parçalanma başlar.

3. Reaksiyon ürünü gazların kayaç içindeki çatlaklara iyice yayılmasıyla kaya kütlesi hareket eder.

2.6. Patlatmanın Çevresel Etkileri

Patlatma esnasında çeşitli enerji tipleri açığa çıkar (Konya,1990). Bunlar faydalı enerjiler ve kayıp enerjiler olmak üzere iki ana başlık altında toplanır. Bu enerji çeşitleri Şekil 2.15’de gösterilmektedir. Faydalı enerjiler yapılan patlatmanın amacını oluşturan yani kayacın gevşetilip kazılabilirliğini kolaylaştırma işini gerçekleştiren enerjilerdir. Kayıp enerjiler ise amaca herhangi bir katkısı olmayan ısı, ışık, ses, titreşim gibi çevresel etkileri oluşturan enerji tipleridir.



Şekil 2.15. Patlatma neticesinde açığa çıkan enerji türleri (Konya, 1990)

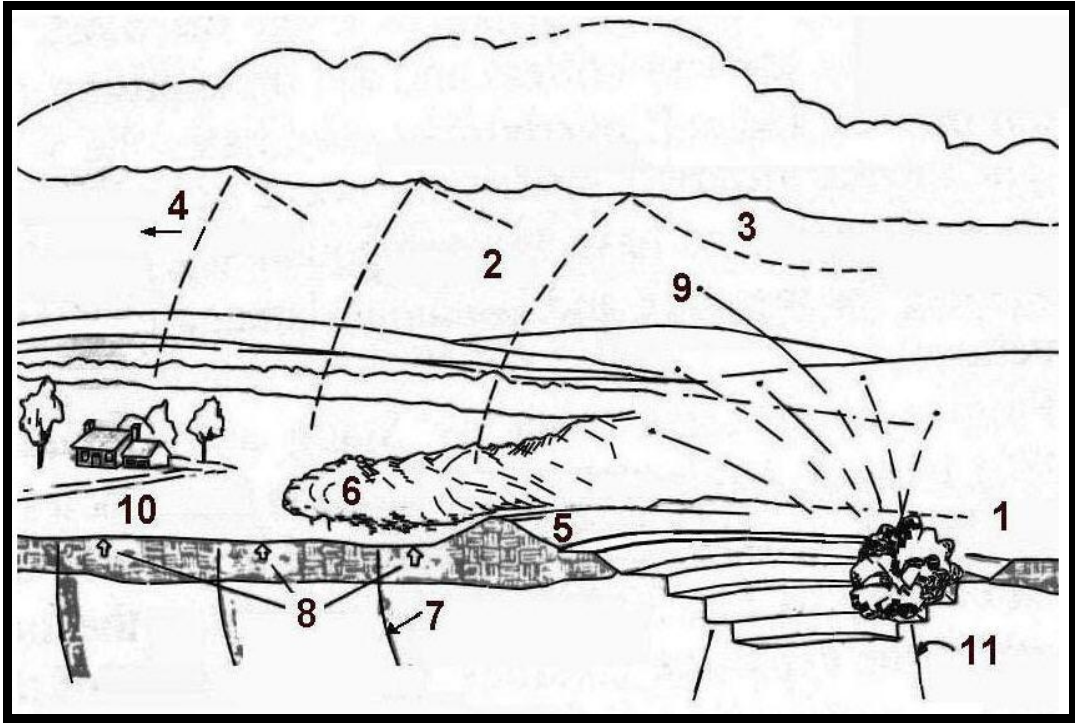
İyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan birisi de atımın çevresel etkiler bakımından emniyetli olmasıdır (Kahriman, 1995). Dolayısıyla, madencilik ve benzeri kazıların çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlı bir şekilde yapılan patlatma faaliyetleri işletme yararına olacağı gibi patlatmanın olumsuz etkilerini de en aza indirecektir.

Başta madencilik sektörü olmak üzere patlatmalı kazı faaliyetleri neticesinde oluşan çevresel etkiler sıkça karşılaşılan ve tartışılan problemlerdir. Patlatma sonucunda oluşan çevresel etkiler, patlatmanın yapıldığı bölgede önemli ölçüde hasar oluşturabilmektedir. Bu sebeple, patlatma faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelere yakın yerleşim alanlarında yaşayan insanlar, meskenlerinin patlatma kaynaklı yersarsıntularından dolayı hasar gördüğünü iddia etmekte ve bunu dava konusu yaparak işletmelerden tazminat talebinde bulunabilmektedirler.

Bu tür şikâyetler başlıca;

- Psikolojik şikâyetler: Bulunduğu bölgeye yakın bir yerde patlatma faaliyetleri ile kazı yapıldığını bilen bir kişi, yapılan faaliyet ne kadar zararsız olsa da psikolojik olarak etkilenebilmektedir.
- Bilgisizlikten kaynaklanan şikâyetler: Patlatmadan kaynaklanan titreşimler ve hava şoku değerleri ölçülebilen değerler olup kontrol altında tutulabilmektedir. Yapılan patlatmaların bu etkileri her ne kadar kabul edilebilir sınırlar içerisinde de olsa çeşitli nedenlerden dolayı oluşan hasarların (zemin oturması, yaşlanma, heyelan) patlatma faaliyetlerine atf edildiği görülmektedir.
- Kötü niyetli şikâyetler: Bazı şikâyetler belirli bir menfaat sağlamak amacıyla yapılabilmektedir. Şikâyeti yapan kimseler patlatma faaliyetleri neticesinde maddi hasara uğradıklarını iddia ederek işletmelerden tazminat alabilmektedirler.
- Haklı Şikâyetler: Düzenli olarak faaliyet göstermeyen bazı işletmeler patlatma faaliyetlerini uygun olmayan koşullarda yapabilmekte ve teknolojik olmayan ateşleme elemanları ile büyük miktarlarda patlayıcıları tek seferde ateşleyebilmektedir. Özellikle galeri tarzı patlatmalar ve yüksek miktardaki patlayıcı maddelerin aynı anda ateşlenmesi çevresel etkilere neden olabilmektedir.

Bahsedilen bütün bu durumlar patlatma kaynaklı yersarsıntılarının takip ve kontrol edilmesinde ve hasar analizlerinin değerlendirilmesinde, bu konuda çalışmış uzman kişilerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Patlatma faaliyeti yapılan bir açık ocak görünüşü ve oluşan çevresel etkileri şematik olarak Şekil 2.16'daki gibi gösterilebilmektedir.



Şekil 2.16. Patlatma faaliyeti yapılan bir açık ocak görünüşü. Burada; 1.Açık ocağı, 2.Hava şokunu, 3. Hava şokunun yansımaları, 4.Rüzgar yönünü, 5.Topoğrafyayı, 6.Bitki örtüsünü 7.Yer sarsıntısını, 8.Ölçüm istasyonlarını, 9.Taş savrulmasını, 10.Yerleşim yerini, 11.Cevheri göstermektedir (Alpaydın ve ark., 2004)

Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin en önemlisi yer sarsıntılarıdır. Bunun sebebi, yer sarsıntılarının, patlatma kaynaklı diğer etkilere nazaran çok daha uzak mesafelere ulaşabilmesi, yani daha büyük bir bölgeyi etkilemesidir. Ayrıca patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının, deprem dalgaları ile benzer hareket etmeleri yapılar üzerindeki hasar etkilerini artırmaktadır. Bütün bu özellikleri itibariyle yersarsıntıları, özel olarak irdelenmesi gereken bir çevresel etki olmaktadır.

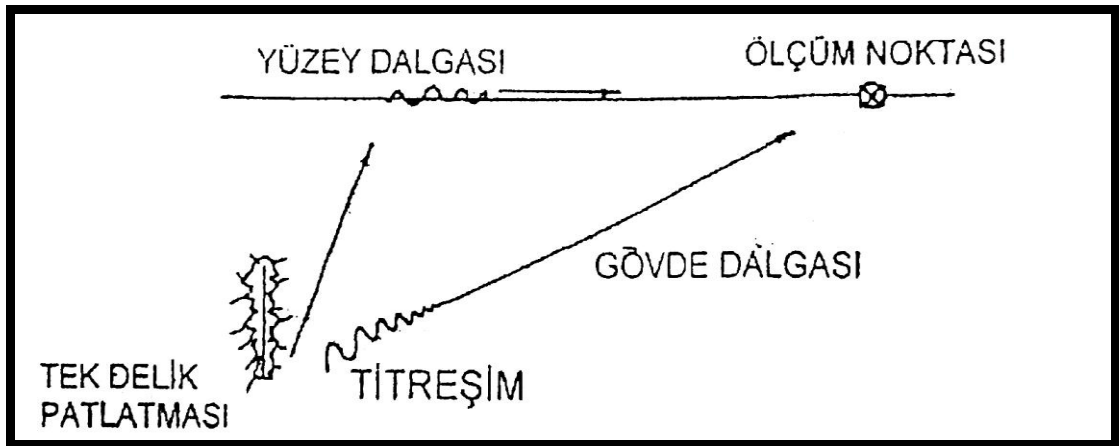
2.6.1. Yer sarsıntılarının genel özellikleri

Kayaç içerisinde delinen patlatma delikleri şarj edilip, ateşlendiği zaman kayıp enerji grubunda yer alan titreşim dalgaları oluşmaktadır. Bu dalgalar farklı parçacık

hızlarına sahiptir ve malzeme içinde farklı dalga hızlarında yol alırlar. Dalgalar etkileri ve hissedilebilmeleri açısından farklı özelliklere sahiptirler. Yersarsıntıları, sahip oldukları enerji düzeylerinden dolayı yapılara hasar verebilmektedir. Bu enerji düzeyleri birkaç parametreye bağlı olarak ölçülebilmektedir. Bu parametreler; deplasman (zemin yer değiştirmesi) (mm), sarsıntının hızı (m/s), sarsıntının ivmesi (m/s^2) ve frekans (Hz) parametreleridir (Bilgin ve Çakmak 2006).

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yer hareketleri, kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki parçacığın hareket hızına sarsıntı (titreşim) hızı denilmektedir. Titreşim hızı sıfırdan başlar, giderek en yüksek değerine ulaşır ve sönümlenir. Ayrıca patlatma yapılan kaya kütlelerinde formasyon özellikleri ve yapısal özellikler de sarsıntı üzerinde etkili olmaktadır (Yücel, 2008).

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 (Siskind ve ark, 1980). Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını inceleyen zeminde ilerleyen dalga türleri dikkat edilmesi gereken bir konudur. Çünkü farklı dalga türleri binalar üzerine farklı kuvvetlerde etkiye bulunmaktadır. Karakteristik özelliklerine ve yer içinde yol aldıkları konuma göre sismik dalgalar gövde ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gövde ve yüzey dalgalarının yayılım yönleri Şekil 2.17’de sunulmuştur.



Şekil 2.17. Yüzey ve gövde dalgaları yayılım yönleri (Karakuş,2000)

1. Gövde (cisim) dalgaları

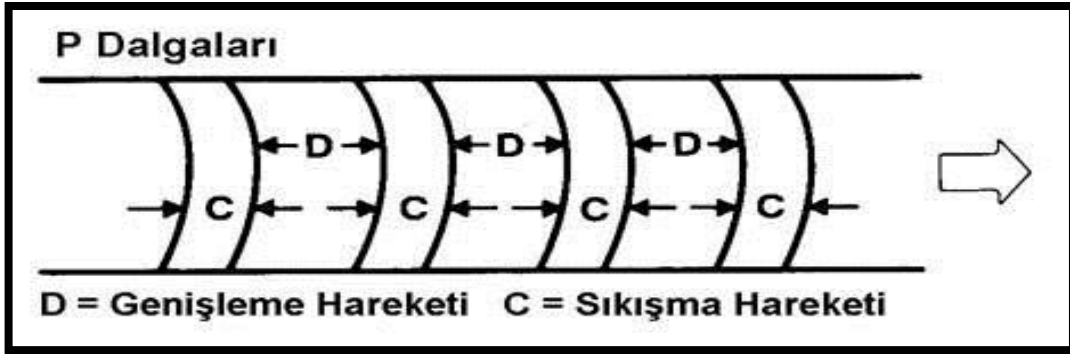
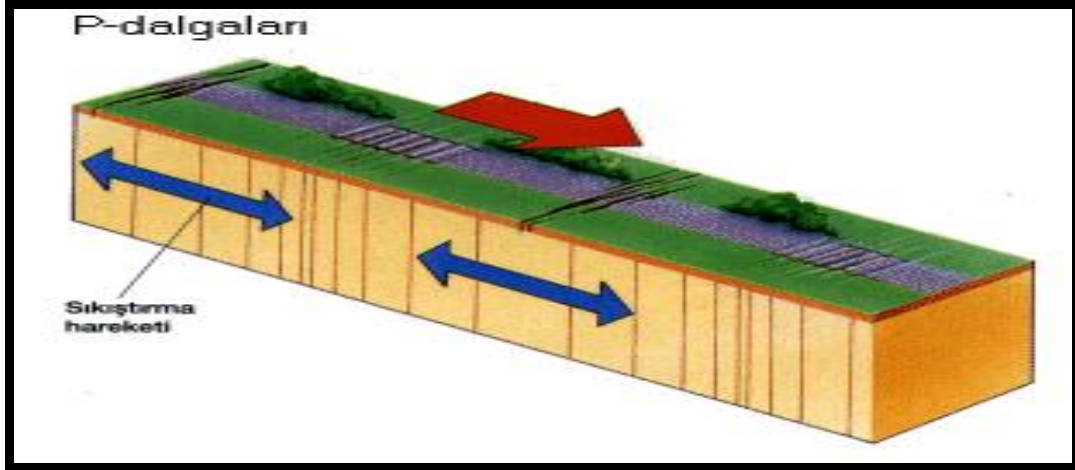
Kaya kütlesi boyunca geçen dalgalar gövde dalgaları olarak adlandırılırlar. Kayaç parçalanmasında etkin olan dalgalardır ve iki temel gruba ayrılırlar. Bunlar yer içerisinde farklı hızlarda yayılan ve kayıtlarda ilk görünen dalgalardır. Cisim dalgaları, yerin derinliklerinde yerin yüzeyine oranla daha hızlı yayılırlar. Bunlar sıkışma (basınç) ve kesme dalgaları olarak adlandırılan;

- a) *P* (Primary veya *Pressure*), basınç dalgası
- b) *S* (Secondary veya *Shear*), kesme dalgasıdır.

- Birincil (P) veya basınç dalgaları

Yer içerisinde en hızlı yayılan ve bir sismik kayıt istasyonuna hızından dolayı ilk olarak ulaşan dalga olup sismometreler tarafından ilk algılanan dalgalardır. Sismik kaynaktan itibaren radyal olarak her yöne yayılan ve gövdenin şeklini bozmaksızın hacmini bozan dalgalardır. Birincil (primary), sıkışma (compressional) veya boyuna (longitudinal) dalga olarak da tanımlanırlar. Bunun anlamı, dalganın yayılma doğrultusu üzerinde bulunan taneciklerin ileri-geri hareketinden dolayı yerin sıkışma ve genişlemeye maruz kalmasıdır. Sıkışma dalgaları, yaptıkları bir çeşit itme-çekme hareketinden dolayı, geçtikleri ortamın hacimsel değişimine neden olurlar. Ortam üzerinde herhangi bir şekil bozukluğu gözlenmez. P- dalgaları, hem katılar, hem sıvılar hem de gazlar içerisinde kolayca yayılabilirler. Yayılım hızları, S-dalgası hızının yaklaşık 1,7-1,8 katı kadardır. Havadaki hızları yaklaşık 330 m/sn, sudaki hızları 1450 m/sn ve granit içerisindeki hızları ise yaklaşık 5000 m/sn'dir. Depremi merkez üssüne yakın bölgelerde bu dalgalar, özellikle hayvanlar tarafından, işitilebilmektedir.

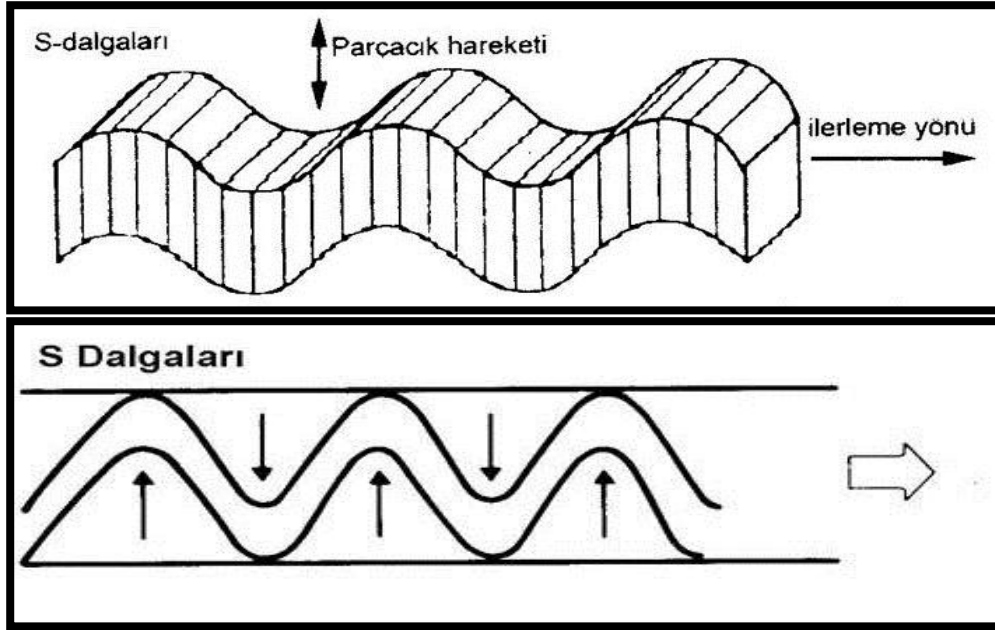
Bir basınç dalgası sıkıştırma ve genişletme türünde bir etki yaratarak ilerler, yani kaya tanecikleri dalgalanan yayılım yönünde olmak üzere ileri ve geriye doğru salınırlar, sismolojide P-dalgası olarak da adlandırılırlar (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. P Dalgası (Yığıter, 2008)

- İkincil (S) veya kesme dalgaları

P-dalgasından sonra istasyonlara gelen ikinci “cisim dalgası”dır. Sismolojide ikincil (secondary), kesme (shear) veya enine (transverse) dalga tanımları da kullanılmaktadır, ayrıca bu dalga, meydana geldiği yere göre (düşeyde veya yatay düzlemde) düşeyde veya yatayda kesme dalgası (SV, SH) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.19). Kesme dalgaları enine dalgalardır ve dalga yayılma yönüne dik olan düşey bir düzlemde saat yönünün tersi bir eliptik yörüngede oluşan bir parçacık titreşim etkisi gösterir. Bu hareket bir halatın burulması ve bu sırada halatın aşağı yukarı hareketi ile anlatılabilir ki bu sırada dalga halatın diğer ucuna doğru yayılım göstermektedir bunun sonucunda geçtikleri ortamda şekil bozukluğuna yol açarlar.



Şekil 2.19. S-dalgası (Alpaydın ve ark., 2004)

S-dalgaları, kesme kuvvetlerine karşı direnci olmayan, yani katılık katsayısı sıfır ($\mu = 0$) olan sıvılar ve gazlar içerisinde kesinlikle yayılamazlar. Bu nedenle S-dalgaları sadece katılar içerisinde ilerler.

P ve S dalgalarının farklı formasyonlarda hızlarının belirlenmesi için, söz konusu formasyonun elastik sabitlerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir. Bazı ortamlar için sismik dalga türlerine ait hız değerleri Çizelge 2.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Bazı ortamlar için sismik dalga türlerine ait hız değerleri (Kuzu, 2009)

| Ortam | P-dalgası, m/sn | S-dalgası, m/sn | Yoğunluk, gr/cm ³ |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| Granit | 4000-6000 | 2100-3300 | 2,67 |
| Bazalt | 5600 | 3000 | 3,00 |
| Kumtaşı | 2500-4200 | 1000-3000 | 2,45 |
| Kireçtaşı | 3000-6000 | 2700-3200 | 2,65 |
| Şeyl | 1800-4000 | 1100-2200 | 2,35 |
| Mermer | 5700 | 3200 | 2,75 |
| Şist | 4500 | 2800 | 2,80 |
| Kil | 1200-2500 | 570 | 1,40 |
| Toprak | 150-170 | 100-550 | 1,1-2,0 |
| Kum | 1400 | 500 | 1,93 |
| Su | 1500 | 0 | 1,00 |
| Hava | 341 | 0 | - |
| Çelik | 6000 | 3000 | 7,70 |
| Beton | 3500 | 2100 | 2,7-3,00 |
| Lastik | 1000 | 30 | 1,15 |

Formasyon özelliklerine bağlı olarak P ve S dalgalarının hızı, Brady (1985) tarafından aşağıda verilmiş olan eşitlikler kullanılarak bulunmuştur.

$$V_p = \frac{\sqrt{E_{md}}(1-\nu)}{\delta(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (\text{km/s}) \quad (2.1)$$

$$V_p = \frac{\sqrt{E_{md}}}{\delta 2(1+\nu)} \quad (\text{km/s}) \quad (2.2)$$

Burada;

E_{md} = Formasyonun elastisite modülü,

ν = Poisson oranı,

δ = Formasyonun yoğunluğu (g/ cm³) dur.

Bu gövde dalgaları başka bir kaya tabakası, zemin veya yüzeyle karşılaşınca

kadar dışarıya doğru küresel bir şekilde yayılırlar. Bu karşılaşmada yüzey dalgaları oluşur.

2. Yüzey dalgaları

Bir sismik kaynaktan çıkarak yerkürenin serbest yüzeyi boyunca cisim dalgalarından daha yavaş olarak yayılan, zemin sarsılmasına neden olan ve “yüzey dalgaları” olarak adlandırılan başka tür dalgalar da vardır. Patlatma noktasından itibaren, gövde dalgalarının zamanla ortamın jeomorfolojik yapısına bağlı olarak şekil, hız ve titreşim özelliklerinin değişmesi ile ortaya çıkarlar. Bu dalgalar, gövde dalgalarının formasyon sınırları veya süreksizliklerle karşılaşmaları sonucunda oluşurlar yani bu dalgaların yayılabilmesi için cisim dalgalarının tersine sınırlı yani yarı-sonsuz bir ortam gereklidir, homojen ortamlarda yüzey dalgası oluşumu söz konusu değildir, ayrıca bu dalgalar yeraltında var olmazlar. Yer kürenin kabuğu bu dalgaların oluşmasında yarı-sonsuz ortamı oluşturur, yani yüzey dalgaları kaya kütleleri ve tabakalarının dış yüzeyleri boyunca yayılırlar ve iç kısımlarına dalmazlar.

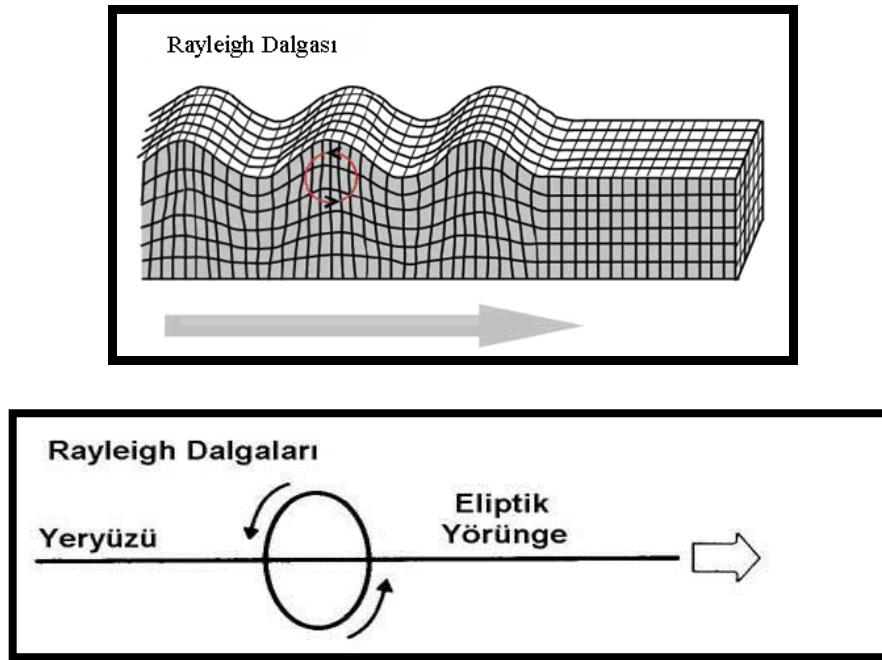
Deprem veya patlatma gibi yüzeye yakın herhangi bir sismik kaynak tarafından oluşturulan sismik enerjinin bir kısmı yüzeye yakın bu yarı-sonsuz ortam içerisinde hapis olur ve bu ortam içerisinde yayılırlar. Yüzey dalgaları, cisim dalgalarından daha düşük frekans içeriğine sahiptir. Düşük frekansa ve büyük genliklere sahip olmalarından dolayı yüzey dalgaları depremde yapılara zarar veren dalga türüdür. Patlatma sonucu oluşan titreşimler açısından, daha büyük enerji taşıyıcısı olduklarından daha büyük titreşime sebep olurlar. Başlıca iki tür yüzey dalgası vardır. Bunlar; Rayleigh Dalgası ve Love Dalgasıdır.

- *Rayleigh dalgası*

Rayleigh dalgaları tıpkı bir su birikintisinde (göl, deniz) yayılan dalgalar gibi yerin yüzeyi boyunca yuvarlanarak ilerleyen dalgalardır. Bu dalgalar aynı zamanda “yer yuvarlanması (ground roll)” olarak da bilinir ve “R” harfi ile gösterilirler. Rayleigh dalgaları yerkürenin yüzeyi boyunca yayılırken bir çeşit yuvarlanma hareketi yaptıklarından dolayı, geçtikleri ortam içerisinde bulunan tanecikler, yayılma doğrultusu boyunca ters bir elips hareketi çizerler. Taneciklerin yapmış olduğu bu elips hareketi derinlere doğru gittikçe küçülmekte ve daha sonra gözden kaybolmaktadır.

Rayleigh dalgalarının oluşabilmesi için serbest bir yüzey ile sınırlandırılmış yarı sonsuz esnek bir ortamın bulunması gereklidir. Ancak böyle bir ortam içerisinde, serbest yüzeye yakın bir yerde P ve S dalgalarının girişimi sonucu Rayleigh dalgaları oluşur

Titreşimlerin zararı açısından Rayleigh dalgası en önemli dalgadır. Çünkü bu dalga yüzeyden hareket etmekte ve genliği ulaştıkları mesafeye göre P ve S dalgalarına göre daha geç sönmektedir. Rayleigh dalgalarında, parçacık hareketi, dalga yayılım yönündeki dik düzlemde olmak üzere, saat yönünün tersi bir eliptik yörüngede gerçekleşir (Şekil 2. 20).

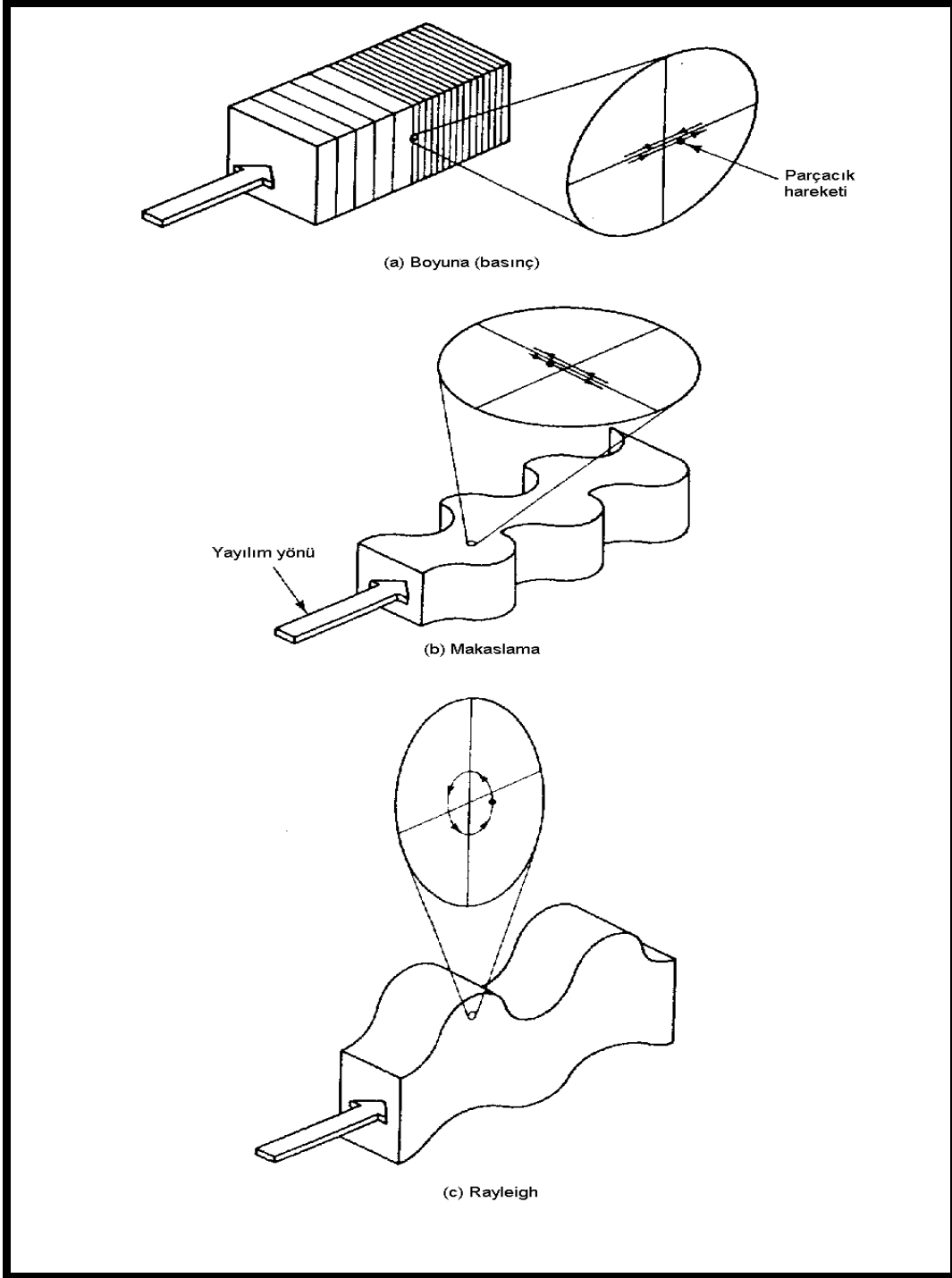


Şekil 2.20. Rayleigh dalgası (Alpaydın ve ark., 2004)

Patlatma kaynaklı titreşimler için en önemli dalga, yüzey dalgalarından Rayleigh dalgalarıdır. Patlatma yerine yakın alanda gövde dalgaları etkili olmaktadır.

- Love dalgası

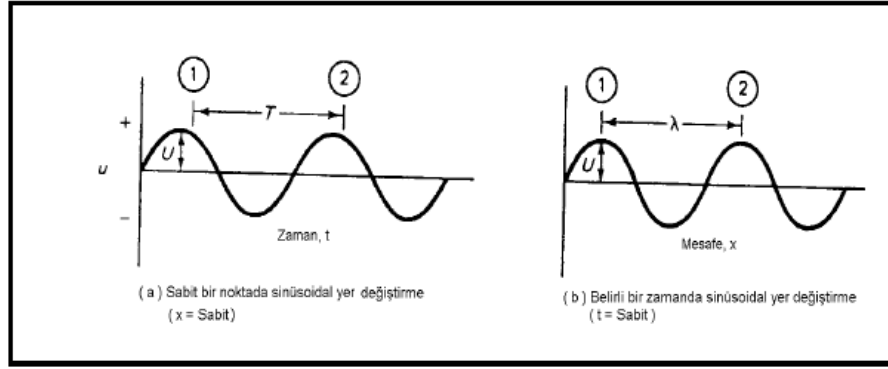
Love dalgaları, Rayleigh dalgalarından daha hızlıdır. Bu yüzden sismogramlarda Rayleigh dalgalarından daha önce görülür ve “L” harfi ile gösterilir. Bu iki dalga arasındaki hız farkı sismogramlar üzerinde gözlenemeyecek kadar küçüktür. Love dalgalarının oluşabilmesi için elastik, tekdüze ve yarı sonsuz bir yüzey katmanının bulunması gereklidir. Yer kürenin kabuğu bu görevi üstlenmektedir. Love dalgaları,



Şekil 2.22. Farklı dalga türlerinin yapılar üzerindeki etkileri (Dowding,1985)

2.6.2. Patlatma kaynaklı sarsıntılara sinüzoidal yaklaşım

Patlatma titreşimleri sinüzoidal şekilde ifade edilebilir (Şekil 2.23). Sinüzoidal davranışta titreşimin deplasmanı, hızı ve ivmesi hesaplanabilir. Patlatma titreşimlerinin sinüzoidal hareketi suya atılan bir taşın yarattığı dalgalara benzetilebilir.



Şekil 2. 23. Sinizoidal yaklaşım; a) Sinizoidal hareket (hız-zaman) b) Sinizoidal hareket (hız-yerdeğiştirme) (Dowding, 1985)

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarını neticesinde hareket eden parçacığın yer değiştirme formülü aşağıdaki gibidir.

$$u = U \sin (Kx + wt) \quad (2.3)$$

Burada;

u = Parçacağın yerdeğiştirmesi,

U = Maksimum yerdeğiştirme (deplasman),

K = Dalga sayısı sabiti,

w = Açısal frekans,

t = Zaman.

olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 2.23b' de, zaman ve frekans sabit olduğunda yerdeğiştirmedeki değişim u , aşağıdaki eşitlikle tanımlanır. Burada tekrarlanan dalgalar arasındaki mesafe dalga boyu (λ) olarak tanımlanmaktadır. K , dalga boyuna eşit miktarda her defasında x kadar tekrarlanan sinüs fonksiyonunda $2\pi / \lambda$ eşit olmaktadır.

$$u = U \sin (Kx + sabit) \quad (2.4)$$

Benzer şekilde dalga boyu ve lokasyon sabit olduğunda (Şekil 2.23a) zamana bağlı olarak deplasman değişimi aşağıdaki eşitlik ile tanımlanacaktır.

$$u = U \sin (sabit + wt) \quad (2.5)$$

Sinüzoidal hareket grafiğinde bulunan iki tepe noktası arasındaki süreye periyot (T) denilmektedir ve $w = 2\pi / T$ ye eşit olur. Bir saniyedeki dalga tekrarlamalarının sayısına frekans (f) denir ve $1 / T$ ye eşittir. Bu durumda dairesel frekans aşağıdaki gibi ifade edilecektir.

$$w = 2\pi\left(\frac{1}{T}\right) = 2\pi f \quad (2.6)$$

Sinüzoidal yaklaşımda dalga boyu λ , ve dalga yayılma hızı, c ve periyot, T arasında aşağıdaki ilişki aşağıdaki eşitlikteki gibidir;

$$\lambda = cT = c\left(\frac{1}{f}\right) \quad (2.7)$$

Şekil 2.23a' da dalga, 1. pozisyonundan 2. pozisyonuna T süresince, λ dalga boyu ile c hızı ile hareket etmektedir.

Parçacık deplasmanı u, parçacık hızı \dot{u} , ivmesi \ddot{u} , arasındaki ilişki sinüzoidal yaklaşım sayesinde oldukça basitleşmiştir ve aşağıdaki şekilde kolayca hesaplanır.

$$u = U \sin(Kx + wt) \quad (2.8)$$

$$\dot{u} = \frac{du}{dt} = Uw \cos(Kx + wt) \quad (2.9)$$

$$\ddot{u} = \frac{d\dot{u}}{dt} = -Uw^2 \sin(Kx + wt) \quad (2.10)$$

Patlatmalarda maksimum dalganın mutlak yer değiştirme değeri hesaplanır ve buradan hız ve ivmeye geçilir.

$$u_{\max} = U \quad (2.11)$$

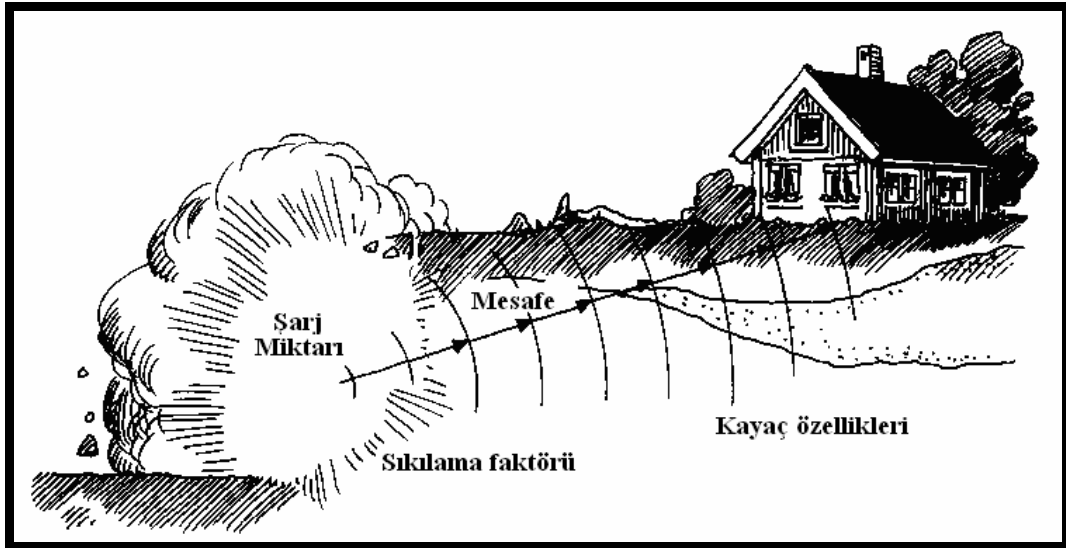
$$\dot{u}_{\max} = Uw = U2\pi f = 2\pi f u_{\max} \quad (2.12)$$

$$\ddot{u}_{\max} = Uw^2 = U4\pi^2 f^2 = 2\pi f \cdot \dot{u}_{\max} \quad (2.13)$$

Eğer hareketinin yaklaşık sinüzoidal formu biliniyorsa parçacık davranışı ve frekansı buradan çok kolay bir şekilde bulunabilir.

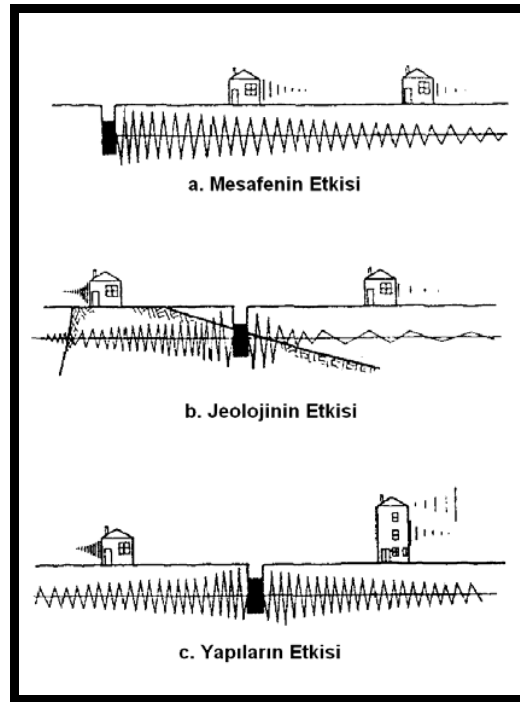
2.6.3. Sarsıntıların etkilerinin ve etki alanlarının belirlenmesi

Patlatma bölgesine yakın yerlerde bulunan yapılar, daha çok patlatma tasarımı, delik düzeni, bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı ve gecikme süresinden etkilenir. Ancak patlatma bölgesinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yersarsıntısı dalgasının iletiildiği kayaç ve zemin ortamı özelliklerinden etkilenmektedir (Siskind ve ark., 1980).



Şekil 2.24. Kaya ve zemin frekanslarının özellikleri (Olofsson, 1988)

Patlatma neticesinde oluşan sarsıntıların değerleri ve sarsıntıları etkileyen değişkenler birçok araştırmacı tarafından araştırılmaktadır (Hoek ve Bray, 1991). Şekil 2.25'de patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına etki eden faktörler gösterilmektedir. Araştırmalar sırasında ortaya konulan çeşitli ampirik ilişkilerden en çok güvenilir olanları; ölçekli mesafeyi ve sarsıntı hızını esas alanlardır (Karadoğan, 2008).



Şekil 2.25. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını etkileyen faktörler (Jimeno ve ark., 1995)

2.6.3.1. Ölçekli mesafe kavramı

Bir defada patlayan patlayıcı maddenin miktarı sarsıntılarını etkisini belirleyen en önemli hususlardan birisidir. Yapılan patlatmalar sonucu oluşan sarsıntılarının ölçümleriyle elde edilen parçacık hızları ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkilerin bulunabilmesi için ilk olarak ölçekli mesafe değerinin hesaplanması gerekmektedir. Ölçekli mesafe, ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafenin (R) bir defada patlayan patlayıcı madde miktarının (Q) kareköküne oranı ile belirlenmektedir. Ölçekli mesafe (SD), aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır (Dowding, 1985).

$$SD = \frac{R}{\sqrt{Q}} \quad (2.14)$$

Burada;

SD: Ölçekli mesafe,

Q: Bir defada patlayan patlayıcı miktarı,

R: Ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki uzaklık.

Ölçekli mesafe için; $SD = \frac{R}{\sqrt{Q}}$ şeklindeki görgül ilişki geniş bir kabul görmüştür. $SD = \frac{R}{Q^{0.333}}$ ilişkisi de yine birçok araştırmacı tarafından kabul görmüş bir eşitliktir (Konya, 1990; Gustafsson, 1973; Olofsson, 1988; Dick ve ark., 1983; Hoek ve Bray, 1991; Johnston ve Durucan, 1994).

Patlatma sismografları ölçüm yapılacak yerlere yerleştirilip ölçekli mesafeler hesaplandıktan sonra yanal, düşey, boyuna ve en yüksek vektörel bileşke eksenlerinde en yüksek parçacık hızı değerleri belirlenir ve ölçekli mesafe ilişkisinin belirlenmesi gerekir. Bu ilişki aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir (Dowding, 1985).

$$PPV = k(SD)^{-\beta} \quad (2.15)$$

Burada;

PPV: En yüksek parçacık hızı,

k: Ölçüm yapılan kayanın sarsıntı iletme katsayısı,

β : Kayanın sönümlenme katsayısı.

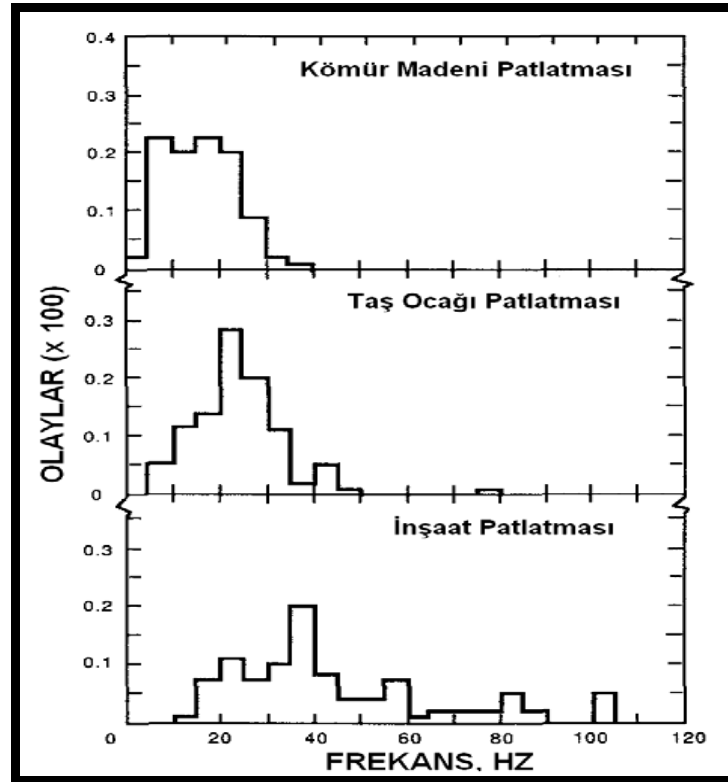
Patlatma yapılan bölgeye ait kayacın özelliklerini de göz önünde bulunduran bu yöntem, sonraki patlatmalarda kullanılacak olan patlayıcı madde miktarı ile patlatmanın ne kadar mesafede ne kadar büyüklükte bir sarsıntı vereceğini tahmin etmekte kullanılabilir.

2.6.3.2. Baskın frekans

Patlatma sonucu ortaya çıkan yer sarsıntılarını değerlendirmede sarsıntı hızının yanında dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise frekanstır. Yer sarsıntılarına karşı “*insan tepkileri*” ve “*bina tepkileri*” sarsıntının frekansın değerlendirilmesinin iki önemli sebebidir. Yer titreşiminin frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenmektedir. Bunlar; a) Patlatma yapılan kayaç yapısı ve bu kayaçla birlikte ilgili lokasyonun genel yapısal jeolojisi, b) Gecikmeli ateşlemelerde, ateşleme aralığıdır, (Dowding, 1985).

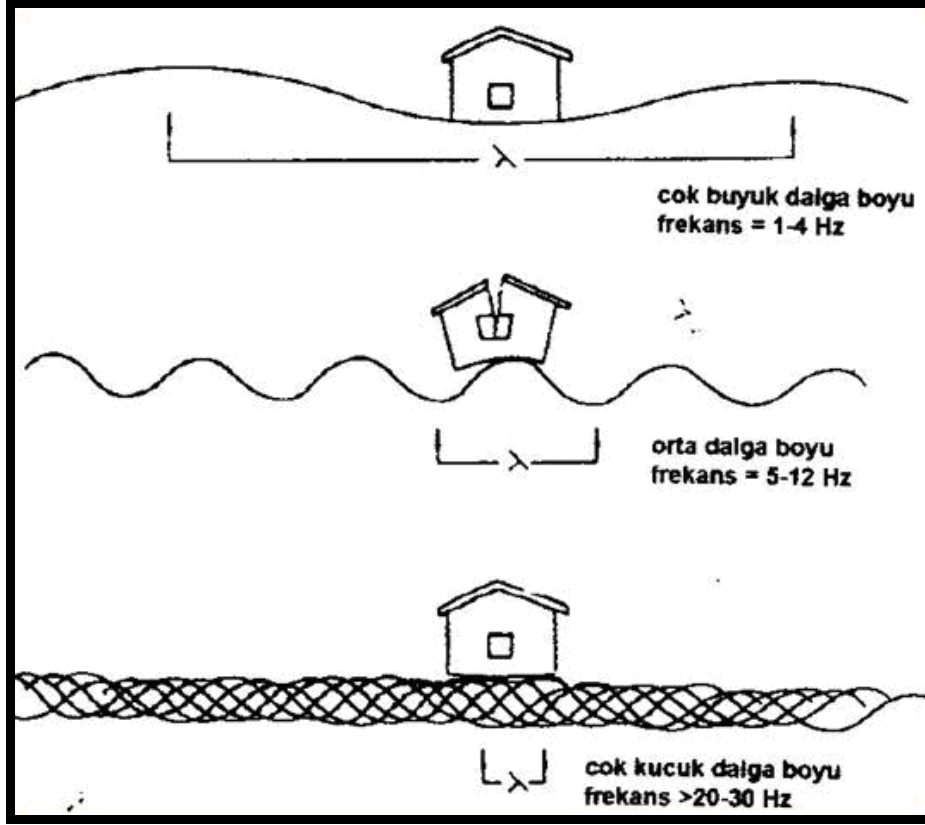
Frekans seviyelerine bakıldığında, genelde 10'dan küçük frekansları insanların üzerinde hissedilebilir etkisinin yanı sıra zeminde de büyük yer değişimlerine neden olduğundan dolayı hasar verme olasılıkları yüksektir (Siskind ve ark., 1980).

Patlatma titreşimleri baskın frekans 0,5-200 Hz arasında değişmektedir. Ayrıca farklı birimlerde ve farklı sektörlerde yapılan patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin frekansları farklılıklar göstermektedir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Farklı birimlerde ve farklı sektörlerde yapılan patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin frekansları (Dowding, 1985)

Binaların doğal frekansları ile sarsıntı dalgalarının frekanslarının örtüşmesi durumunda binalar rezonansa girerek maruz kaldıkları sarsıntı dalgalarını büyütme ve zeminde ölçülen sarsıntı değerinden daha büyük bir değerde ve daha uzun süre sarsılmaktadırlar. Bu durum en çok, sarsıntı frekanslarının, binaların doğal frekans aralığı olan 5–10 Hz değerlerinde olduğu zaman görülür (Şekil 2.27). Bu nedenle zeminde oluşan sarsıntı değerleri limitlerde bile olsa bina rezonansa girerek sarsıntıyı birkaç kat artırabilmektedir. Binaların bu şekilde sarsıntıyı artırmalarına “ Büyütme Faktörü ” denilmektedir (Bilgin ve Çakmak, 2006).



Şekil 2.27. Farklı frekanslı dalgaların binalar üzerindeki etkileri (Alpaydın ve ark., 2004)

2.6.4. Maksimum parçacık hızı tahmini

Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin en önemlisi olan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu konu birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızının tahmini üzerine bazı görgül yaklaşımlar elde edilmiştir. Bu yaklaşımlar kronolojik sırayla aşağıda verilmektedir;

- a) Ambraseys ve Hendron (1968)

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

b) Nicholls, Johnson ve Duvall (1971)

$$PPV = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta \quad (2.17)$$

c) Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = k \left(\sqrt[3]{\frac{W}{R^2}} \right)^\beta \quad (2.18)$$

d) Hindistan Standartları Enstitüsü (Bülten No : 6922, 1973)

$$PPV = k \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^\beta \quad (2.19)$$

e) Davies ve ark., (1964), Attewell ve ark., (1965), Shoop ve Daemen (1983)

$$PPV = k.R^\alpha.W^\beta \quad (2.20)$$

f) Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} .e^{-\alpha R} \quad (2.21)$$

g) Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = k \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta} .e^{-\alpha R} \quad (2.22)$$

h) Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = k \left(\sqrt[3]{\frac{W}{R^2}} \right)^\beta e^{-\alpha R} \quad (2.23)$$

i) Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = k \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{\beta} e^{-\alpha R} \quad (2.24)$$

j) Gupta ve Arkadaşları (1988)

$$PPV = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} e^{-\alpha \frac{R}{W}} \quad (2.25)$$

k) CMSR (Roy, 1991)

$$PPV = n + k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1} \quad (2.26)$$

l) Bilgin ve Arkadaşları (1998)

$$PPV = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha} B^{\beta} \quad (2.27)$$

Burada;

PPV : Maksimum parçacık hızı, (mm/sn),

B : Dilim kalınlığı, (m),

R : Patlatma noktasından uzaklık, (m),

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı, (kg),

k, β , α , n: Saha sabitleri,

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

$e^{-\alpha(R/W)}$: İnelastik sönme faktörü' dür.

2.6.5. Patlatma hasar ölçütleri ve geçmiş yıllarda yapılan çalışma özetleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından uzun yıllar patlatma hasar ölçütleri araştırılmış ve çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşımlar, Kahrıman (2001), Karadoğan (2008) ve Ak (2006) derlenmiştir. Araştırmacılar tarafından derlenen bazı önemli hasar tahmini ölçütleri aşağıda sunulmuştur.

a) Hasar kriteri olarak titreşim enerjileri

- i. Rockwell'in enerji formülü, 1934 (Frekans ve genlik),
- ii. USBM formülü, 1942 (Genlik ve mesafe),
- iii. Crandell'in enerji kavramı, 1949 (Frekans ve ivme).

b) Hasar kriteri olarak maksimum parçacık hızı

- i. Kihlström ve Westerberg, 1957, Langefors parçacık hızı kriteri (Parçacık hızı ve hasar kriteri),
- ii. Edwards ve Nortweed, 1959 (Parçacık hızı hasar tipi),
- iii. USBM'nin Parçacık hızı kriteri (Parçacık hızı hasar tipi),
- iv. Hint Standart Enstitüsü, 1973 (Parçacık hızı ve Kayaç tipi),
- v. Canmet, Bauer ve Calder'in parçacık hızı kriteri, 1977 (Parçacık hızı yapı ve hasar tipi).

c) Hasar kriteri olarak maksimum parçacık hızı ve frekans

- i. Langefors ve Kihlström'ün çizelgesi, 1967 (Titreşim hızı, frekans, ivme, mesafe),
- ii. Medearis yaklaşımı, 1976 (Parçacık hızı, frekans),
- iii. Siskind ve arkadaşlarına göre USBM kriterleri, 1980 (Parçacık hızı, frekans, yapı ve hasar tipi),
- iv. Alman standardı DIN 4150, 1984 (Maksimum parçacık hızı, frekans, yapı tipi),
- v. Hindistan standardı, 1987 (Maksimum parçacık hızı, frekans, yapı özelliği).

d) Hasar kriteri olarak ölçekli mesafe maksimum parçacık hızı

- i. Birleşmiş milletler açık ocak madenciliği (OSM), 1983 (Müsaade edilebilir maksimum parçacık hızı, ölçekli mesafe ve frekans).

e) Yol gösterici olarak proje, yapı kalitesi, maksimum parçacık hızı

- i. İsveç standartlarına göre (P dalgasına bağlı olarak hesaplanan maksimum parçacık hızı, bina faktörü, bina malzemesi faktörü, mesafe faktörü ve proje süresi).

f) Hasar kriteri olarak maksimum parçacık hızı ve mesafe

- i. Morlock ve Rosenthal, 1987 (Maksimum parçacık hızı, mesafe, bina tipi).

f-a) Hasar kriteri olarak titreşim enerjileri

- i. Rockwell'in Enerji Eşitliği

Rockwell (1934) yılında patlatma kaynaklı titreşim enerjisinin $f^2 \times A^2$ ile orantılı olduğunu belirtmiştir. Burada;

f: frekans,

A: Genliği ifade etmektedir.

- ii. USBM'nin Eşitliği

Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM), 1942 yılında titreşim hareketinin genlik değerini şarj miktarı ve uzaklığa bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplamıştır (Thoenen ve Windes, 1942).

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

Burada;

A : Yer sarsıntısının genliği (inç),

C : Şarj miktarı (libre),

d : Uzaklık (feet).

iii. Crandell'in Enerji Oranı Eşitliği

Crandell 1949 yılında "Enerji Oranı" yaklaşımını geliştirmiştir (Eşitlik 2.29). Hasar tahminini enerji oranına bağlı olarak Çizelge 2.4'deki gibi açıklamıştır.

$$ER = \frac{a^2}{f^2} \quad (2.29)$$

ER : Enerji oranı,

a : İvme,

f : Frekans.

Çizelge 2.4. Crandell'in Enerji Oranına Bağlı Hasar Kriteri (Crandell, 1949)

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

f-b) Hasar kriteri olarak maksimum parçacık hızı

i. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı (1957)

Langefors, Kihlström ve Westerberg 1957 yılında hasar tahminini parçacık hızına bağlı olarak Çizelge 2.5'deki gibi açıklamıştır.

Çizelge 2.5. Langefors ve Arkadaşlarının (1957) Parçacık Hızını Esas Alan Hasar Kriteri

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

ii. Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı

Edwards ve Northwood 1959 hasar tahminini parçacık hızına bağlı olarak Çizelge 2.6'daki gibi açıklamıştır.

Çizelge 2.6. Edwards ve Northwood'un (1959) Parçacık Hızını Esas Alan Yaklaşımı

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

iii. USBM'nin Yaklaşımı

Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM)'nin 1971'de yaptığı hasar tahmini parçacık hızına bağlı olarak Çizelge 2.7'deki gibi açıklamıştır.

Çizelge 2.7. USBM (1971)'in Yaklaşımı

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

iv. Bauer ve Calder'in Yaklaşımı

Bauer ve Calder 1977 yılında hasar tahmini yapı türü ve parçacık hızına bağlı olarak Çizelge 2.8'deki gibi sunmuştur.

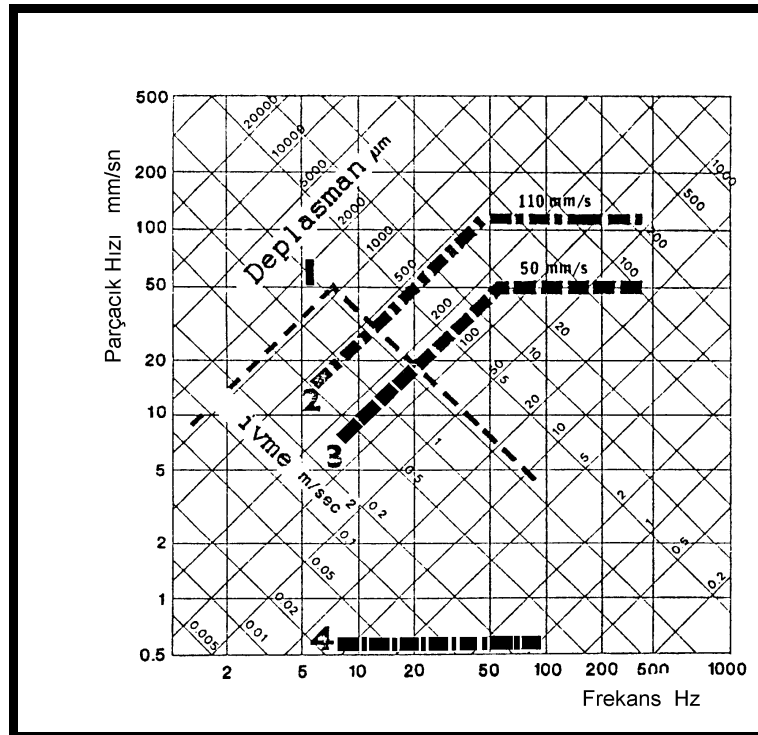
Çizelge 2.8. Bauer ve Calder (1977) Hasar Kriteri.

| Yapı Türü | Hasar Tanımı | Hasarın Başladığı Parçacık Hızı (inç/sn) |
|--|---|--|
| 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 |

a) Hasar kriteri olarak maksimum parçacık hızı ve frekans

i. Langefors ve Kihlström Yaklaşımı

Langefors ve Kihlström, 1967 yılında frekans, parçacık hızı, deplasman ve ivme göz önüne alınarak hasar tahminini Şekil 2.28 gibi geliştirmiştir.



Şekil 2.28. Langefors ve Kihlström (1967) hasar kriteri nomogramı

Bu nomogramda;

- 1 No'lu eğri: Bir saniyeden daha az süreli titreşime maruz kalan bilgisayarlar için üst sınırı belirtmektedir.
- 2 No'lu eğri: Patlatma kaynaklı titreşimlerin sebep olduğu, binalardaki direkt hasarları ifade etmektedir.
- 3 No'lu eğri: Patlatma için üst limitleri ifade etmektedir.
- 4 No'lu eğri: İnsanların şikâyetlerine sebep olan titreşim seviyesini göstermektedir.

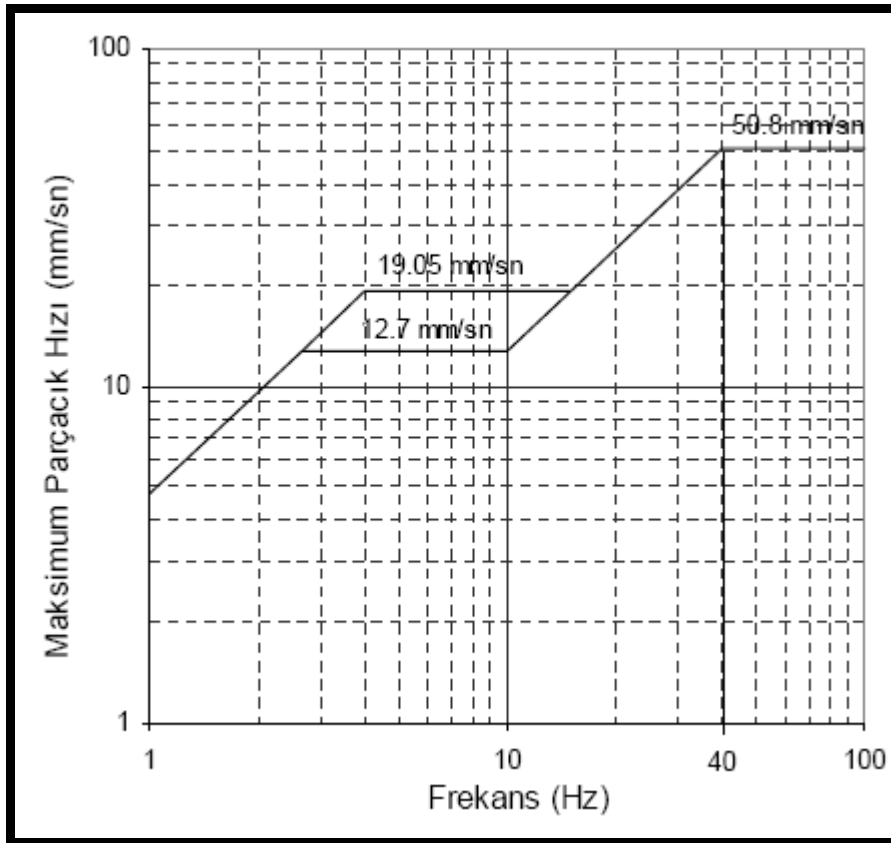
ii. USBM'1980 Patlatma Hasar Tahmini

1980 yılında Siskind ve arkadaşları, Amerika Birleşik Devletleri, Madencilik Bürosu (USBM) aracılığı ile patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yapılara olan etkisini araştırmış sonuçlarını yayınlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni). Bu çalışmada, hasar oluşumunda parçacık hızının yanı sıra titreşimin frekansının da önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir (Ak, 2006; Arpaz, 2000; Karadoğan, 2008).

- Parçacık hızı patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tanımlanmasında ve kontrol etmek için en önemli parametredir.
- Parçacık hızı, yapılar için hasar potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
- Patlatmacı, bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakâr bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer ($D/W^{1/2}$). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 2–3.8 mm/sn civarında olmaktadır.
- Düşük frekanslı (≤ 40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı (≥ 40 Hz) patlatmalarda sözkonusu olan potansiyelden daha fazladır.
- Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
- Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0,75 inç/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0,50 inç/sn (12.7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri

frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2,0 inç/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir.

- Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgârdan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bu gibi nedenlerle çatlak oluşursa (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak); mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.
- 0,50 inç/sn (12,7 mm/sn) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme şansı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda titreşim seviyelerinin bütün aralıkları için dikey eksende ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer. USBM, parçacık hızı ve frekansa bağlı olarak grafiği sunmuştur (Şekil 2. 29).



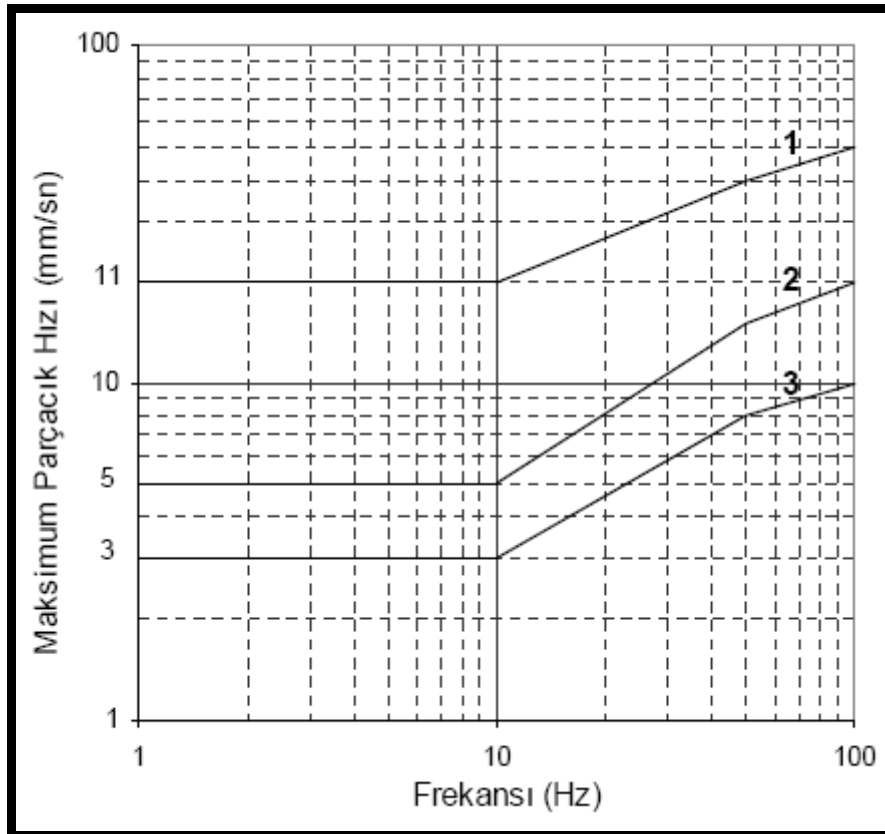
Şekil 2. 29. USBM'nin alternatif kriter analizi

iii) DIN 4150 Alman Normu

DIN 4150 standardında frekans ve yapı türüne göre parçacık hızı sınır değerlerini korumak için Çizelge 2.9 ve Şekil 2.30'da sunmuştur.

Çizelge 2.9. DIN 4150 standardına göre yapı türü ve frekansa göre parçacık hızı sınırları

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



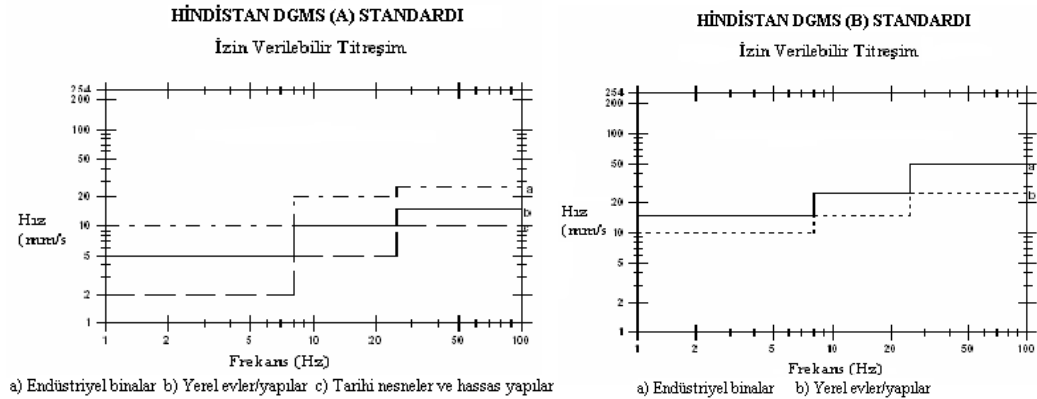
Şekil 2.30. DIN 4150 standardı

iv) Hindistan Standardı

Hindistan Standardı baskın uyarma ve yapı tiplerine bağlı olarak yapılara bitişik zeminde en yüksek parçacık hızını, (PPV), Çizelge 2.10' daki gibi açıklamaktadır.

Çizelge 2.10. Madencilik alanlarında yapıların altyapı düzeyinde izin verilebilir maksimum parçacık hızı (PPV) (Karadoğan, 2008)

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



Şekil 2.31. Hindistan DGMS Standardı (Karadoğan, 2008)

b) Hasar kriteri olarak ölçekli mesafe maksimum parçacık hızı

i) OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu(OSM, 1983), yer titreşimi ve hava şokunu kontrol altına almak gerekli şartları aşağıdaki üç metot ile açıklamıştır (Foster, 1983).

1. Metot : Parçacık hızı kriterinin sınırlanması

Patlatmalı kazıda herhangi bir titreşim ölçer cihazının kullanılmadığı durumlarda patlatma faaliyetlerini yapan ve kontrol eden kişi, atımı, patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı olan ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun olarak düzenlemektedir (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11. Uzaklığa Bağlı Müsaade Edilen Ölçekli Mesafe Faktörleri (OSM, 1983).

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

2. Metot : Ölçekli uzaklık denklemi kriteri

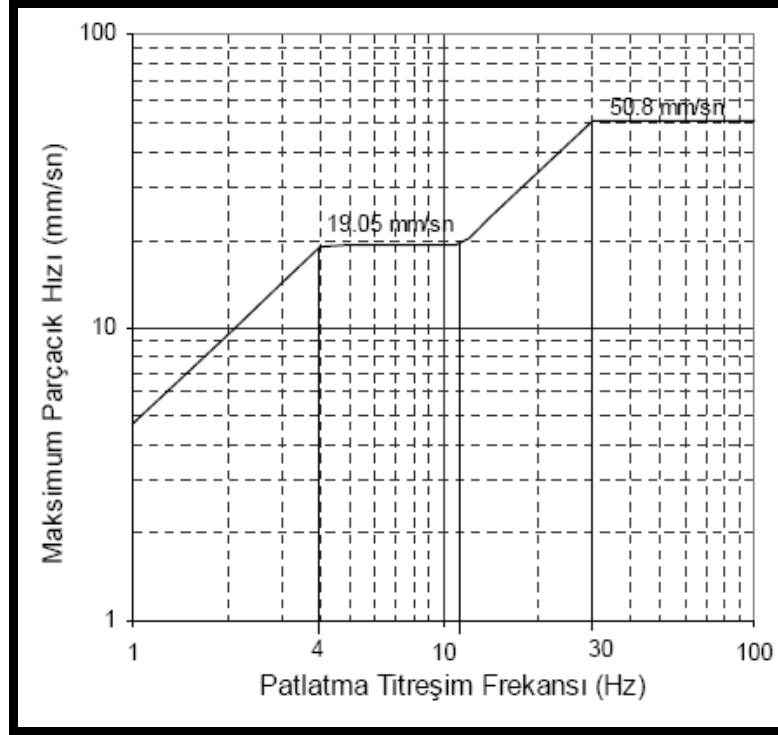
Patlatma sonucu oluşan yersarsıntılarının her birinin maksimum parçacık hızını izleyebilecek bir titreşim ölçerin kurulması gerekmektedir. Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası uzaklığa bağlı olarak ölçülen maksimum parçacık hızı Çizelge 2.12’de gösterilen seviyelerin altında kaldığı sürece problem oluşmamaktadır.

Çizelge 2.12. Patlatma noktasından belirli bir uzaklıklarda en büyük parçacık hızları (OSM, 1983)

| Patlatma Noktasından Uzaklık (m) | Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 0-90 | 31.75 |
| 91-1500 | 25.40 |
| >1500 | 19.05 |

3. Metot : Patlatma seviyesi grafiği kriteri

Frekansla birlikte değişen parçacık hızının değişimini sunmaktadır (Şekil 2.32). Bu yöntemde parçacık hızı ve frekansları ölçebilme kabiliyetinde sahip titreşim ölçerler kullanarak ölçümlerin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.32. OSM patlatma hasar kriteri

c) Yol gösterici olarak proje, yapı kalitesi, maksimum parçacık hızı

i) *İsveç Standardı*

İsveç Standardı düşey yöndeki parçacık hızını temel almaktadır. Gerekli durumlarda ise diğer bileşenleri de kullanmaktadır. Titreşimler binaların temellerinde ölçülmektedir.

Kılavuz seviyelere aşağıdaki eşitlik yardımıyla ulaşılmaktadır.

$$V = V_0 \times F_k \times F_t \quad (2.30)$$

Burada;

V_0 : Düşey parçacık hızını (Çizelge 2.13),

F_k : İnşaat kalite faktörünü (Çizelge 2.14),

F_d : Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe faktörünü,

F_t : Patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresini ifade etmektedir (Çizelge 2.15).

Çizelge 2.13. Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı

| Zemin | V_0 (mm/s) |
|---|-----------------|
| Kum, çakıl, kil | 18 |
| Şeyl, yumuşak kireçtaşı | 35 |
| Granit, gnays, sert kireçtaşı, kuvarsit, kumtaşı, diyabaz | 70 |

Çizelge 2.14. Bina

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

Çizelge 2.15. Proje zaman faktörü

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

Konu ile ilgili literatürde belirlenen çalışmalara ait bir özet aşağıda sunulmuştur.

Kahriman, (2001) İstanbul yakınındaki sanayi bölgesi inşasında yapılan patlatma işlemleri sonucunda oluşan titreşim ölçümlerini kaydederek değerlendirmiştir. Ana kayacı granit olan bölgede parçacık hızını tahmin etmek için titreşim ölçümleri alınmıştır. Araştırmacılar çalışma süresince 149 farklı titreşim verisini farklı patlatma tasarımlarında ve farklı şarjlarda değerlendirmişlerdir. Yapılan değerlendirmeler sonucu ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı arasında yüksek korelasyona sahip bir ilişki saptanmış ve bu ilişki yardımıyla gelecek patlatma operasyonları ve titreşim dalgaları hakkında öneriler verilebileceğini vurgulanmıştır.

Kahriman (2002), birçok araştırmacı tarafından patlatma kaynaklı çevresel etkilerin giderilmesi konusunun çalışıldığını ancak materyalin karmaşıklığından dolayı

henüz genel bir yaklaşımın olmadığını vurguladığı araştırmasında, İstanbul tüneli yapımı süresince yapılan patlatmalardan oluşan titreşim ölçümlerini sunmuştur. Bu çalışmada, maksimum parçacık hızının tahmini için tünelin yaklaşık 300 m. ilerlemesi boyunca 4 farklı tip titreşim ölçer kullanarak yer sarsıntıları ölçülmüştür ve istatistiksel analizler ile ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Kahriman ve Tuncer (2006a) yapmış oldukları çalışmalarında Hisarcık-Kütahya bor madenindeki titreşim ölçümlerini sunmuşlardır. Bu bölgede maksimum parçacık hızını ölçmek için 304 atım ölçmüşlerdir. Patlatma noktaları GPS yardımıyla belirlenmiş ve titreşimler iki farklı titreşim ölçer yardımıyla kaydedilmiştir. Maksimum parçacık hızının ölçümü için yaygın olarak kullanılan mesafenin karesi eşitliği kullanılmıştır. Kaydedilen 565 veriden ele alınan maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe verileri istatistiksel olarak analiz edilmiş ve yüksek korelasyonlu bir ilişki kurulmuştur. Ayrıca çalışmada frekans değerleri ve parçacık hızları USBM United States Bureau of Mines'a göre değerlendirilmiştir. Türkiye'de ulusal bir standart olmadığı için yapılara ve yakın bölgelere etki derecelerini karşılaştırmak ve tahmin etmek için DIN 4150 Alman standardı kullanılmıştır.

Kahriman ve Tuncer (1999) İstanbul'da faaliyet gösteren bazı kireçtaşı ocaklarında üretim amaçlı yapılan 73 atımı çevresel etki bakımından incelemişlerdir. Elde ettikleri ölçüm değerlerini kullanarak 0,93 korelasyonlu (R^2) ilişkiler elde etmişler ve kontrollü atımlar için gerekli şartları belirlemişlerdir.

Bilgin ve arkadaşları (2000) çalışmalarında YLİ linyit işletmesinde yapılan patlatmaların yol açtığı yer sarsıntılarının ölçüm çalışmalarını anlatmış, ölçüm ve gözlem sonuçları tüm yönleriyle yorumlanmış ve değerlendirilmiştir. Patlatmalar işletmeye yakın bir köy olan Karaağaç köyü yönlerinde izlenmiş ve ölçülmüş parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkileri %50 ve %95 güvenirlilikte belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bu işletme için her gecikmede güvenle ateşlenebilecek patlayıcı madde miktarı hesaplanmış ve önerilmiştir.

Çilsal ve arkadaşları (2006) araştırmalarında Ankara-Ulus Keçiören metro çalışmalarında volkanik kayacık formasyonunda (Andezit, dasit, riyolit, tuf, konglomera) 3,5 km uzunluğundaki delme patlatma metodu ile kazılan tünel inşaatında jeoteknik faktörlerin patlatma kaynaklı yersarsıntılarına etkilerini araştırmışlardır. Çalışma

sonucunda elde edilen veriler USBM RI 8507 (1980) standardına göre değerlendirmişlerdir.

Kahriman ve arkadaşları (1996) tarafından Barit Maden Türk A.Ş.'ne ait Sivas-Ulaş sölestit sahasında gerçekleştirilen patlatmalar sonucunda oluşan yersarsıntılarını değerlendirmişlerdir. 47 atım sonucunu değerlendirmişler ve elde ettikleri değerleri kullanarak görgül eşitlikler geliştirmişlerdir.

Özer ve Dağ (2004) petrol ve boru hattı yakınından geçen bir otoyol inşaatında başarılı ve tehlikesiz bir patlatma için tasarım ve saha parametrelerini detaylı bir şekilde çalışmışlardır. Yer sarsıntı değerleri (maksimum tanecik hızı (PPV)) belirlenen bir değeri geçmeyecek şekilde patlatma tasarımı yapılmış ve detaylı bir çalışma sonucu kayacın; k iletim katsayısı ve β sönümlenme katsayıları güçlü bir korelasyonla belirlenmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak yapılan patlatmalardan oluşan titreşim ölçümlerinin kabul edilebilir limitler içerisinde olduğunu göstermiş ve boru hattı için patlatmaların bir etkisi olmadığını savunmuşlardır.

Kahriman ve arkadaşları, (2000) patlatmalarda sadece elde edilen parça boyutu, maliyet ve randımanın önemli olmadığını, bunun yanı sıra patlatmanın meydana getirdiği çevresel etkilerin başında gelen yer sarsıntılarının takip edilmesi gereken önemli bir problem olduğunu vurgulamışlardır. Çevresel şikayetlerin azaltılması için ilgilendirilmesi gereken önemli bir konu olduğunu savunmuşlardır. Çalışmalarında İstanbul organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren ve ana kayacı granit olarak tanımladıkları bölgede yersarsıntılarını analiz etmişler ve ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki kurmuşlardır.

Singh ve Singh (2006) araştırmalarında önemli inşaat yapılarına yakın bölgelerde yapılan madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan patlatma kaynaklı titreşimlerin tahminin çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Önemli bir baraj yakınında yapılan madencilik faaliyetlerini izledikleri bu çalışmalarında, farklı maksimum tanecik hızlarında (PPV) güvenli şarj miktarı ve tahmin edilen şarj miktarı arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak \pm % 5'lik bir hata payı içerisinde kullanılan ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir korelasyon yakalamışlardır. Ayrıca, araştırmacılar bu çalışmalarlarıyla bölgedeki madencilik aktivitelerini olumlu yönde desteklemişlerdir.

Kahriman ve arkadaşları (2006b), Çatalca-Akyol taş ocağında basamak patlatmaları sonucu oluşan yer sarsıntılarını incelemiş, taş ocağı çevresindeki yapıların

patlatma faaliyetlerinden hasar görüp görmediklerini Alman DIN 4150 ve USBM normlarına göre analiz etmişlerdir.

2.7. Kaya Maddesi ve Özellikleri

Kaya maddesi, kaya kütlelerinde eklem, tabakalanma şistozite fay gibi doğal süreksizliklerin arasında kalan ve malzemenin çekme dayanımının azalmasına neden olabilecek her hangi bir kırık, çatlak içermeyen değişik boyutlardaki kayaç parçalarıdır (Şekil 2.33). Diğer bir ifadeyle herhangi bir çatlak veya kırıkla ayrılmamış sağlam kaya elemanlarıdır (Ulusay ve Sönmez, 2002).



Şekil 2.33. Düşey tabakalanma düzlemlerinin yer aldığı bu kireçtaşı şevinde; KK: Kaya kütleleri olarak bütün fotoğrafı anlatırken, KM: Kaya maddesi olarak sadece ilgili kireçtaşı parçasını göstermektedir (Ak, 2006)

Kayaçların tanımlanmasında kayaçların mekanik ve fiziksel davranışlarının belirlenmesi önemli bir parametredir.

1) Kayacın Fiziksel Özellikleri

- a) Sertlik,
- b) Özgül ağırlık,
- c) Gözeneklilik,

- d) Boyuna dalga hızı,
- e) Su içeriği ve nem.

2) Kayacın Mekanik Özellikleri

a) Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, belirli standartlarda hazırlanan numunelerle yapılan tek eksenli ve üç eksenli yüklemelere kayacın gösterdiği dayanımdır. Basınç dayanımı deneyi yapılırken, basınç dayanımı deneyine benzeyen nokta yükleme indeks deneyinden de bahsetmek gerekir.

- Basınç dayanımı; ISRM (1981) standardına göre hazırlanan karot numunelerin belirli şartlar altında tek veya üç eksenli basınç altında gösterdiği yenilme değeridir.
- Nokta yükleme indeksi: Farklı numune tiplerinde gerçekleştirilebilen bu testte, kayaca uygulanan noktasal yük karşısında kayacın kırılmaya karşı göstermiş olduğu dirençten belirlenen indeks değeri farklı kayalar için tanımlayıcı olabilmektedir.

b) Çekme dayanımı:

Malzemenin karşı koyabildiği maksimum çekme gerilmesidir. Bir kayacın çekme dayanımı, basınç dayanımından çok daha düşüktür. Bir başka deyişle, bir kayacı çekerek kırmak onu baskı uygulayarak kırmaktan daha kolaydır.

2.8. Kaya Kütlesi ve Özellikleri

Kayaç yapısı, kayacın oluşumu sırasında veya sonrasındaki mekanizmalar sonucunda kayacın meydana gelen özellikler olarak tanımlanabilmektedir. Kayaç yapısı, kayacın oluşumu sırasında meydana gelen çeşitli mekanizmalar neticesinde ortaya çıkmaktadır. Oluşum esnasında tabakalaşma, eklemler, faylar, dolgu ile çimentolaşmalar gibi kaya özelliklerini belirleyen yapısal özellikler meydana gelmektedir. Bu yapı örneklerine genel anlamda süreksizlik adı verilir. Kayaç

yapılarının teknik açıdan iyi bir şekilde değerlendirilmesi, o bölgedeki patlatma performansının artmasına neden olabileceği gibi patlatma neticesinde oluşabilecek titreşim hareketleri üzerinde de önemli ölçüde etkili olabilmektedir.

2.8.1. Süreksizlikler

Süreksizlik, kayaç kütlelerinde çekilme dayanımı olmayan veya çok düşük çekilme dayanımına sahip tabakalanma düzlemi, eklem, fay, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. gibi jeolojik anlamda zayıflık düzlemlerinin tümünü içeren genel bir kavramdır. Süreksizliklerin özellikleri, konumları ve yönelimleri kayaç kütlelerinin deformasyon, dayanım, geçirgenlik vb. gibi özelliklerini, dolayısıyla kaya mühendisliği uygulamalarını önemli derecede etkiler. Süreksizliklerin üç boyutlu karmaşık yapısı, süreksizlik ağı ya da kaya yapısı olarak adlandırılmaktadır.

Kaya kütleleri; sürekli, homojen ve izotrop malzemelerden ibaret olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler. Ayrıca farklı derecede bozunmaya uğramış kayaç türlerini de içerirler. Bu nedenle, dış yüklere maruz kalabilen söz konusu kütlelerin davranışı, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan gerçeğe yakın şekilde analiz edilememektedir. Bu durum kaya kütlelerinin özelliklerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanmasına ve kaya mühendisliği uygulamalarında önem kazanmasına neden olmaktadır. Kaya kütlelerini temsil edecek bir modelin oluşturulmasında en önemli aşama, süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır (Ulusay ve Sönmez, 2002). Süreksizliklerin özellikleri mostrada veya sondaj karotlarında değişik ölçüm teknikleri uygulanarak tayin edilir ve tanımlanır. Kayaç kütlelerinin tanımlanması amacıyla, süreksizliklerin aşağıda belirtilen fiziksel parametrelerini belirlemek gerekecektir (ISRM,1981):

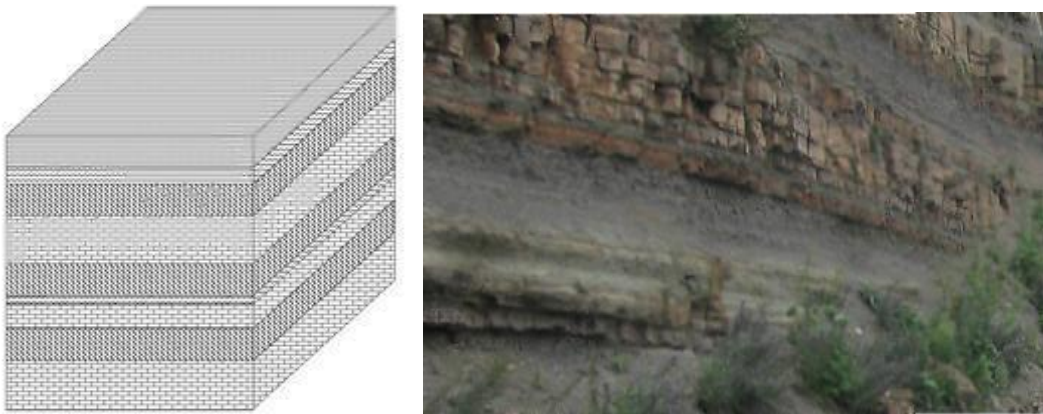
- a. Süreksizliğin türü,
- b. Süreksizlik aralığı,
- c. Süreksizlik devamlılığı,
- d. Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı,
- e. Süreksizlik yüzeyinin açıklığı,
- f. Dolgu malzemesinin özellikleri,
- g. Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve bozunmanın derecesi,
- h. Süreksizlik yüzeyindeki su içeriği,

- i. Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik takımı sayısı,
- j. Blok boyutu.

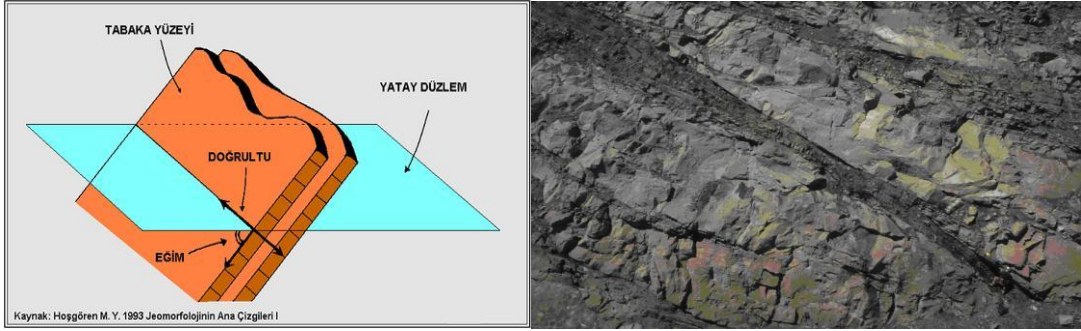
2.8.1.1. Süreksizlik türleri

Süreksizliklerin özellikleri tanımlanırken, öncelikle süreksizliğin türü belirlenir. Başlıca yapısal süreksizlik (zayıflık düzlemi) türlerinin tanımları aşağıda verilmiştir:

- Dokanak; İki farklı litolojik birim arasındaki sınır olup, bu süreksizlik yüzeyi uyumlu uyumsuz veya geçişli olabilmektedir.
- Tabaka düzlemi; sedimanter kayaçların oluşumu sırasında tane boyu ve yönelimi, mineralojik bileşim, renk ve sertlik gibi faktörlerdeki değişime bağlı olarak gelişen bir yüzeydir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Tabakalanma, her zaman ayrı bir süreksizlik yüzeyi olmayabilir ve bazı durumlarda kayaç malzemesi içinde hafif bir renk değişimi şeklinde de gözlenebilir. Tabaka düzlemleri arasındaki uzaklık, birkaç milimetreden (laminasyon) metre (çok kalın tabaka) boyutuna kadar değişebilir. Tabakalar en basit halde yatay olarak bulunurlar (Şekil 2.34). Ancak bunlar çökelme sonrasında yataylıklarını (ilksel konumlarını) kaybederek eğimli, düşey veya kıvrımlı (Şekil 2.35 ve Şekil 2.36) bir hale dönüşebilirler (Ak, 2006).



Şekil 2.34. Yatay tabakalanma



Şekil 2.35. Eğimli tabakalanma



Şekil 2.36. Düşey Tabakalanma (Ak, 2006)

- Eklem; yüzeyi boyunca herhangi bir yer değiştirmenin meydana gelmediği doğal kırıktır. Kırık yüzeyleri, örtü yükünün kalkması (gerilim boşalması), patlatma ve diğer nedenlerle birbirinden bir miktar uzaklaşmış olmakla birlikte, aralarında gözle görülür göreceli bir hareket söz konusu değildir. Yer kabuğunda 1 km derinliğe kadar kayaç kütlelerinde gözlenebilen eklemler; birkaç milimetreden metrelerce uzunlukta, açık, dolgu veya kapalı olabilirler (Ulusay ve Sönmez,2002).
- Fay ve makaslama zonu; yüzeyi boyunca birkaç santimetreden metrelerce uzunluğa kadar göreceli bir yer değiştirmenin meydana geldiği makaslama yenilmesine maruz kalmış yüzeylerdir (Şekil 2.37), (Ulusay ve Sönmez, 2002). Fay tektonik hareketler sırasında gelişen makaslama geriliminin kaya

kütlesindeki bir düzlemin makaslama dayanımını aşmasıyla meydana gelen kırıklar olarak da tanımlanabilmektedir (Kertsen, 1990).



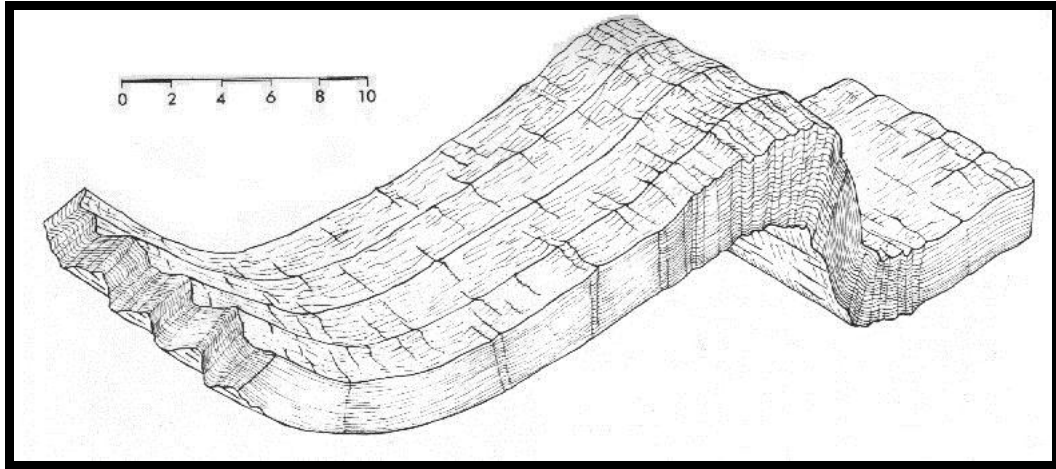
Şekil 2.37. Fay zonları

- Dilinim (Klivaj); ince taneli kayalarda, sıkıştırıcı kuvvete dik yönde oluşmuş, sık aralıklı, birbirine paralel yönde gelişmiş zayıflık düzlemleridir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Dilinim, deformasyon geçirmiş tortul veya metamorfik kayalardaki mineral veya tanelerin, belirli yönlerde sıralanması ile oluşturduğu düzlemsel yapılardır. Klivaj düzlemleri arasında açıklık çok azdır. Genellikle tabakalı kayalarda basınç etkisiyle kayacın yeniden kristalleşmesi sonucu gelişmiş ikincil bir yapı olarak da tanımlanır. Klivaj, tabakalaşma ve şistoziteye paralel olabileceği gibi aralarında belirli bir açı da bulunabilir (Ak, 2006). Dilinim özellikle sleyt, fillit ve şist kayalarda gözlenmekle birlikte, dilinim düzlemlerinin çoğu önemli derecede çekilme dayanımına sahip oldukları için süreksizlik ağı kapsamında değerlendirilmezler. Bununla birlikte dilinim, kayaların dayanımında önemli ölçüde anizotropiye neden olmaktadır.



Şekil 2.38. Kıvrımlanma geçirmiş bir kayadaki klivaj düzlemleri (Kavuşan, 2001)

- Şistozite; kristalleri küçük boyutlu olan metamorfik kayalarda görülen bir tür foliasyondur. Tabakalaşma klivajı olarak da isimlendirilir. Bu tip foliasyon şekli, sedimanter kayaların metamorfizması sırasında, tabakalaşma yüzeyine paralel olarak oluşur (Şekil 2.39).



Şekil 2.39. Şistozite (Kavuşan, 2001)

Diğer bir dilinim türü ise, akma dilinimi olup yeniden kristallenme ve mika gibi yapraksı minerallerin birbirlerine paralel şekilde yönlenmelerine bağlı olarak, bir foliasyon yapısının oluşumuyla gerçekleşmektedir. Düzlemsel olarak ayrılabilen herhangi bir yapıya foliasyon denir. Yassı minerallerin veya kayaç içindeki mineral bantlarının paralel yönlenmesi olarak isimlendirilir. Bir metamorfik kayaç içinde düzlemsel olan şistozite, klivaj ve bantlaşma da foliasyon kapsamına girer.

- Fissür; Fookes ve Denness, 1969 tarafından sürekli bir malzemeyi ufak birimlere ayırmadan bölen süreksizlikler olarak tanımlanırken, Priest, 1993 tarafından ise iki yönde gözlenebilen, ancak üçüncü yönde sınırlanan düzlemsel süreksizlikler olarak tanımlanmaktadır.

Süreksizlik türlerinin veri formlarında ve jeoteknik loglarda tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan simgeleri Çizelge 2.15' de verilmektedir.

Çizelge 2.15. Süreksizlik türleri ve uluslararası simgeleri (Ulusay ve Sönmez, 2002).

| Süreksizliğin Türü | Süreksizliğin Simgesi |
|---------------------------|------------------------------|
| Dokanak | Co |
| Tabakalanma | B |
| Fay | F |
| Fay zonu | FZ |
| Makaslama Zonu | SZ |
| Ekleme | J |
| Foliasyon (Yapraklanma) | Fo |
| Klivaj (Dilinim) | C |
| Damar | V |
| Şistozite | S |
| Laminasyon | L |
| Fisür | F |

2.8.1.2. Süreksizlik aralığı

Süreksizlik aralığı, kayaç kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemelerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Süreksizlik aralığı veya bunun tersi olan süreksizlik sıklığı parametresi; veya eklem sıklığı parametresi, süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra, kaya kütlelerinin geçirgenliğinin ve kayaç malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle de kayaç kütlelerinin en önemli özelliklerinden birisidir. Süreksizlik aralığının iyi tespit edilmesi mühendislik uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyi üzerinde belirli bir yönde serilen şerit metre boyunca şerit metreyi kesen süreksizliklerden ölçülebileceği gibi, sondaj karotlarından da tayin edilebilir. Ancak uygulamada şerit metrenin her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilmesi mümkün olmadığından, iki tür açıklık ölçülebilmektedir.

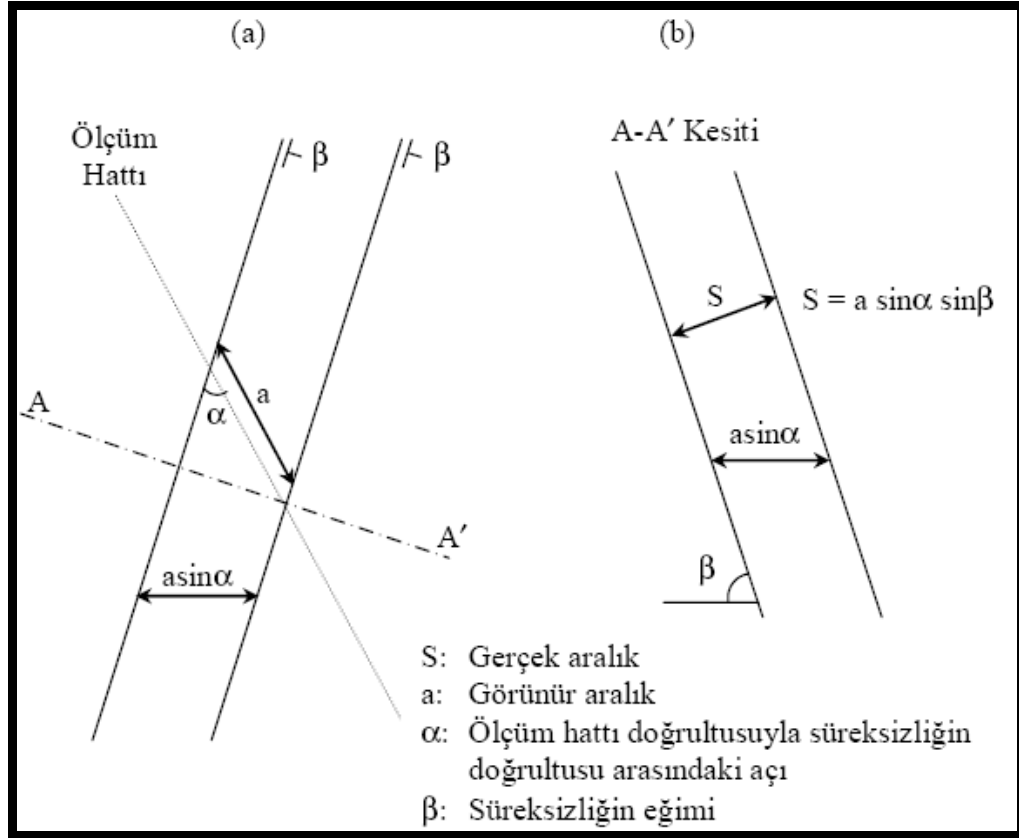
- a. Görünür açıklık (şerit metre veya sondaj eksenini boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık; Şekil 2.40a'da "a" mesafesi).
- b. Gerçek aralık (birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir süreksizlik setine ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe; Şekil 2.40b'de "S" mesafesi).

Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin birbirine tam paralel olması çok ender olarak görüldüğü için, gerçek aralık parametresi; ölçüm hattının yöneliminden ve ölçümün yapıldığı mostranın (kaya kütleleri aynasının) konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, süreksizlik sıklığının belirlenmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir. Araziden alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (bir metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki ifadelerden belirlenebilir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

$$x = L / N \quad (2.31)$$

$$\lambda = N / L \quad (2.32)$$

Burada, L: ölçüm hattının uzunluğu, N: ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır.



Şekil 2.40 a) Süreksizlikler arası görünür aralık, b) Süreksizlikler arası gerçek aralık parametreleri arasındaki ilişki (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Kayaç kütleleri için süreksizlik aralığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM'1981 tarafından önerilen “süreksizlik aralığını” tanımlama ölçütleri Çizelge 2.16 da verilmiştir.

Çizelge 2.16. ISRM (1981)'in süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları (Ulusay ve Sönmez, 2002)

| Aralık (mm) | Tanımlama |
|-------------|-------------------------------|
| <20 | Çok dar aralıklı |
| 20–60 | Dar aralıklı |
| 60–200 | Yakın aralıklı |
| 200–600 | Orta derecede aralıklı |
| 600–2000 | Geniş aralıklı |
| 2000–6000 | Çok geniş aralıklı |
| >6000 | İleri derecede geniş aralıklı |

2.8.1.3. Süreksizliklerin devamlılığı

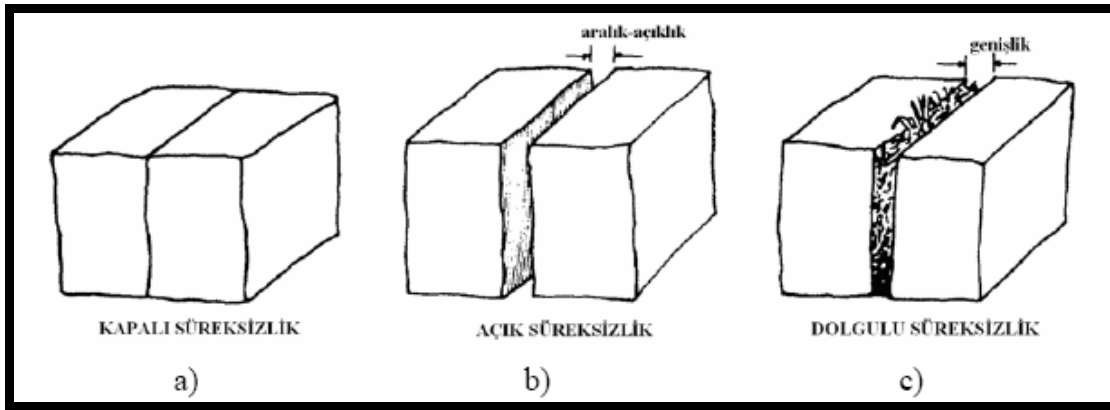
Kaya kütlesi kavramı süreksizlik düzlemleri tarafından bloklara ayrılmış bir bütünü ifade eder. Ancak, süreksizlik düzlemleri kayaç kütlelerinde sonsuz bir devamlılığa sahip değildir. En yüksek devamlılığa sahip süreksizlik türü olan tabakalanma düzlemleri bile havza kenarlarında sonlanır. Süreksizliklerin iz uzunluğu bir kayaç mostrasında gözlenebildiği için, bunların devamlılıklarının ölçülmesi de çoğu kez üzerinde çalışılan mostranın yüzeyi ile sınırlanmaktadır. Dolayısıyla bu durum, devamlılık parametresinin ölçülmesini güçleştiren bir faktördür. Devamlılık, mostrada doğrudan şerit metre ile ölçülür ve üç boyutlu bir kavram olduğu için ölçüm yönü kaydedilir. Yönle ilgili bir denetimin mümkün olmadığı durumlarda devamlılık, süreksizliğin eğim yönüne hem paralel, hem de dik yönde ölçülmelidir. Çoğu kez sürekliliklerin her iki ucu mostrada tanımlanamayan bir mesafeye kadar devam ettiği kabul edilmektedir. Bu husustan kaynaklanan belirsizliğin giderilmesi amacıyla ISRM (1981) tarafından sonlanma indeksi T_i önerilmiştir. Devamlılığın sınıflandırılması ve tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen ve Çizelge 2.17’de verilen ölçütler kullanılmaktadır.

Çizelge 2.17. ISRM (1981)’e göre süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (Ulusay ve Sönmez,2002).

| Tanımlama | Süreksizlik izinin uzunluğu (m) |
|-----------------------|---------------------------------|
| Çok düşük devamlılık | < 1 |
| Düşük devamlılık | 1 – 3 |
| Orta devamlılık | 3 – 10 |
| Yüksek devamlılık | 10 – 20 |
| Çok yüksek devamlılık | > 20 |

2.8.1.4. Süreksizlik yüzeylerinin açıklığı

Süreksizlik açıklığı, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmuş olabilmektedir (Şekil 2.41).



Şekil 2. 41. ISRM (1981)'e göre süreksizlik açıklığının tanımlaması (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Açıklık parametresi, kaya kütlelerinin gevşemesi ve sınırları iletme kapasitesi açısından önem taşımaktadır. Süreksizlikler boyunca gelişen su basıncı, su girişi, su akışı ve kaya kütlelerine gömülen atıkların ortamdan uzaklaştırılması büyük ölçüde açıklık parametresinin etkisi altındadır. Açıklığın ölçülmesinin en basit ve pratik yolu, milimetre bölmeli şerit metre veya mikrometre kullanmaktır. Bu amaçla kirli yüzeyler temizlenir ve geniş açıklıklar mikrometre ile ölçülür. Ölçüm hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıkları kaydedilir. Süreksizlik açıklıklarının tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilmiş ölçütler Çizelge 2.18'de verilmiştir.

Çizelge 2.18. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981)

| Açıklık | Tanımlama | |
|-------------|---------------------|--------------------|
| < 0,1 mm | Çok sıkı | “Kapalı” yapılar |
| 0,1–0,25 mm | Sıkı | |
| 0,25–0,5 mm | Kısmen açık | |
| 0,5–2,5 mm | Açık | “Boşluklu” yapılar |
| 2,5–10 mm | Orta derecede geniş | |
| > 10 mm | Geniş | |
| 1–10 cm | Çok geniş | “Açık” yapılar |
| 10–100 cm | Aşırı geniş | |
| > 100 cm | Boşluklu | |

2.8.1.5. Dolgu malzemesinin özellikleri

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayaç malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki uzaklık dolgunun kalınlığı olarak

tanımlanmaktadır. Çoğunlukla düşük mekanik özelliklere sahip olan dolgu malzemeleri kayacın dayanımını da azaltmaktadır. Kum, silt, kil, breş, milonit tipik dolgu malzemeleridir. Bunların yanı sıra ana kayaçta oluşan çatlakların içlerinde çimentolaşan kuvars, kalsit vb. gibi minerallerden oluşan damarlar da dolgu malzemesi olarak tanımlanmaktadır.

2.8.1.6. Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbirleriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca meydana gelmektedir. Süreksizlikler boyunca sürekli bir su akışının varlığı halinde, kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin mekanik ve hidrojeolojik özellikleri değişebilmektedir. Kayaç içerisindeki su durumu, o kayaçtaki faaliyetleri negatif yönde etkileyebilmektedir.

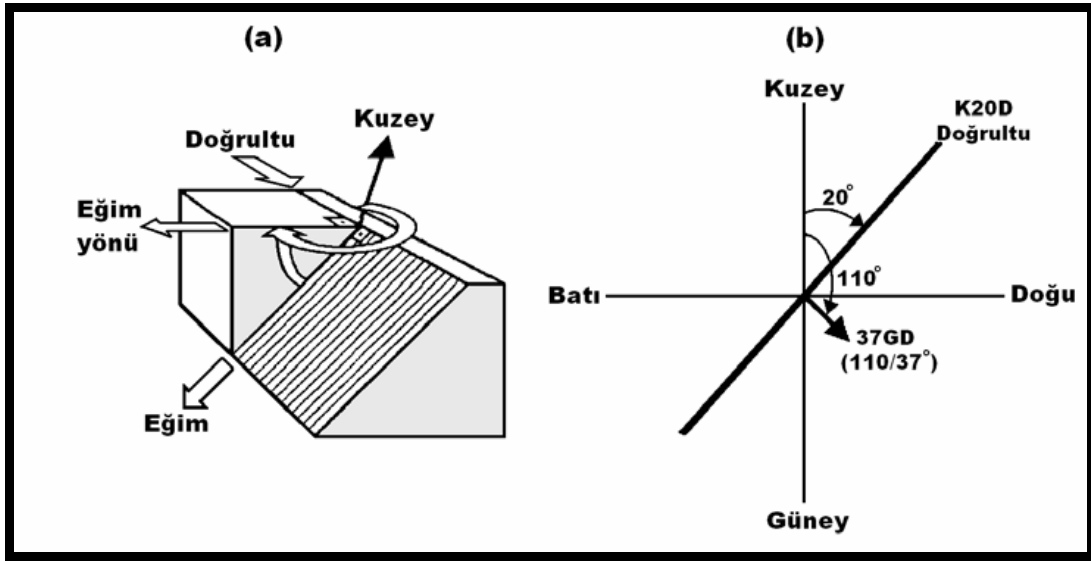
2.8.1.7. Süreksizlik yönelimi

Süreksizliklerin uzaydaki konumları, eğim ve doğrultularıyla tanımlanır. Eğim ve doğrultu jeolog pusulası yardımıyla ölçülebilmektedir. Daha hızlı ölçüm alınmasını sağlaması ve veri işlemeyi (değerlendirmeyi) kolaylaştırması nedeniyle, jeoteknik uygulamalarda doğrultu yerine eğim yönünün ölçülmesi tercih edilmektedir. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı dar açıdır. Eğim yönü ise, kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.42).

Doğrultu ve eğim yönü arasında 90° 'lik bir fark vardır. Eğim yönü değerleri, 0° ile 360° arasında değişir. Dolayısıyla 0° ile 90° arasındaki eğim yönlerinin eğim değerleriyle karıştırılmaması amacıyla, bu aralıktaki eğim yönü değerlerinin önüne 0 eklenir. Süreksizlik düzlemlerinin konumlarını tanımlayan bu iki değer, eğim yönü/eğim veya eğim/eğim yönü şeklinde kaydedilir.

Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan münferit süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa “süreksizlik seti” veya süreksizlik takımı adı verilir. Kaya kütleleri çoğu kez birden fazla süreksizlik seti tarafından bölünmüştür. Kaya mühendisliği uygulamalarında arazide ölçülmüş çok sayıda süreksizlik yöneliminin istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek, süreksizlik seti sayısının ve bunların ortalama yönelimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Süreksizlik yönelimi verileri, grafiksel

olarak “göl diyagramları”, “histogramlar” ve “stereografik izdüşüm (stereonet)” teknikleriyle değerlendirilir.



Şekil 2.42. a) Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramlarını gösteren blok diyagramı, b) doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiye bir örnek (Ulusay ve Sönmez, 2002)

2.8.2. Kaya kütlelerinin su durumu

Kayacın jeolojik oluşumuna göre etkili olan su durumu kayacın üzerinde yumuşama, şişme gibi deformasyonlar oluşturabilmektedir. Mevcut yeraltı su durumu ve yağış miktarına bağlı olarak artan yeraltı su miktarı arttıkça, bu suyu içinde barındıran kaya kütlelerinin dayanımı ve elastisite modülü azalır. Bu durum ayrıca ilgili kayacın plastikliğini artırıcı bir etki yaratacaktır (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının kontrol etmek ve optimum şartları belirlemek için dalga yayılım mekanizması, kaya özellikleri ve yapısının etkisini bilmek çok önemlidir. Kayanın dayanım özellikleri, elastik özellikleri, yeraltı suyu, nem içeriği ve geçirgenlik sismik titreşim dağılımı için oldukça önemli parametrelerdir (Aldaş, 2002).

2.8.3. Patlatma ve kaya kütlelerinin özelliklerinin ilişkilendirilmesi

Blair ve Spathis (1982) deneysel ve teorik olarak dalga yayılımlarında kaya süreksizliklerinin etkilerini araştırmışlardır. Sismik dalgaların, homojen ve masif kaya kütlelerinde tek yönde ilerledikleri, daha karmaşık yapılara sahip kaya kütlelerinde ise

farklı yönlere dağılarak ilerleme sağladıkları bilinmektedir. Çünkü kaya birimindeki süreksizlikler, dolgular ve tektonik arızalar dalgaların ilerleme yönünü değiştirirler. Yersarsıntılarının ilerlemesi kaya kütlelerinin litolojisi ile güçlü bir ilişki içindedir. Farklı jeolojik yapılar titreşim dalgalarının yayılmasına etki eden farklı karakterlere sahiptirler (Aldaş, 2002).

Siskind ve arkadaşları (1980) kömür madeni patlatmalarının inşaat amaçlı patlatmalar ve taş ocağı patlatmalarına kıyasla daha düşük frekanslar ürettiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmacıların daha sonra yaptıkları bir başka araştırmada (Siskind vd., 1989), patlatma titreşim frekans karakteristiklerinin, gecikmeli kapsüllerle yapılan patlatmalara ve patlatılan kaya yapısına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Olofsson (1988) yersarsıntısı karakteristiklerini etkileyen zemin özelliklerini;

1. Dalgaların ilerleme hızını belirleyen zeminin elastik sabitleri (Elastise ve Makaslama Modülü),
2. Zeminin tipi,
3. Yeraltı suyu seviyesi ve nem,
4. Topoğrafya,
5. Zeminin karakteristiği olarak açıklamıştır.

Cook (1992) kaya kütleleri içerisinde birçok süreksizlik ve kırık olduğunu belirterek kaya kütleleri özelliklerinin içerisinde bulunan süreksizliklerin, ilgili kaya kütleleri özelliklerini büyük ölçüde etkilediğini yazmışlardır. Ayrıca süreksizliklerin sadece kaya kütle özelliklerini değil aynı zamanda kayacın sismik tepkilerini de farklılaştırdığını belirtmişlerdir. Bu nedenle süreksizlik özelliklerinin maden, petrol ve deprem mühendisleri için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Wu (1998), baraj tünelleri inşaatı, köprüler ve binalar üzerinde zarara yol açabilen titreşim ve yer şoklarının kaya kütlelerindeki yayılımının dikkat edilmesi gereken önemli bir unsur olduğunu belirtmiştir. Wu, yapmış olduğu araştırmada patlatma kaynaklı yer sarsıntı dalgalarının yayılımı ile kaya kütleleri arasındaki etkileşimi incelemiş ve bu konuda yaptığı arazi ölçümlerini ve sonuçlarını sunmuştur.

Hawkins (1961) hazırladığı yayınında, sismik hızın kaya süreksizliklerinden önemli ölçüde etkilendiğini savunmaktadır. Aldaş, 2002 çalışmasında Peck ve Walter'in maksimum tane hızı ile RQD değeri arasında bir korelasyon kurduklarını açıklamıştır. Bu araştırmacılar kayaların dayanım, yoğunluk ve porozite özellikleri dalgaların yayılma hızını önemli ölçüde etkilediğini belirterek, patlatma titreşimlerinin yumuşak zeminlerde sert kayalara nazaran daha şiddetli olduğunu belirtmişlerdir (Aldaş, 2002).

Çilsal ve arkadaşları (2006), arazi su durumu, jeolojik formasyon ve tabakalaşma, jeolojik arızalar ve örtü tabakası gibi faktörlerin, maksimum parçacık hızı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, patlatma kaynaklı yersarsıntısı tanecik hızlarının nasıl etkilendiği;

1. Bir kayaç formasyonda yayılım,
2. İki veya üç kayaç formasyonunun birlikte olduğu lokasyonlarda yayılım,
3. Su durumu en az ve en çok seviyedeysen yayılım,
4. Arızalı zonlarda yayılım,

olmak üzere 4 farklı ölçüm sonucuna bağlı olarak analiz edilmiştir.

Araştırmacılar sonuç olarak; herhangi bir kaya kütleğinde, yeraltı su seviye düşükse, bu kayacın tek eksenli basınç dayanımı ve RQD değerleri yüksekse, bu kayaçtan geçecek parçacık hızının giderek azaldığını belirtmişlerdir.

Bohloli (1997) patlatma tasarımı için kaya kütle özelliklerinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada, 1914 yılında Bertram Hopkinson tarafından önerilen bir yöntem olan Hopkinson barını, yüksek patlayıcıların detonasyonunda üretilen basıncın ölçülmesi için kullanmıştır. Ayrıca, patlatma tasarımı için önemli olan temel kaya mekaniği parametrelerini 3 başlık altında özetlemiştir. Bunlar;

1. Blok boyutu dağılımında süreksizlik yönü ve gaz kaçış yolları,
2. Kaya kütlelerinin yoğunluğu, ve bu özelliği kaya kütlelerinin ötelenmesindeki önemi,
3. Kayanın parçalanmasında basınç ve çekme dayanımlarının önemidir.

Kahriman ve arkadaşları (2003), yerleşim yerlerine yakın alanlarda faaliyet gösteren 5 farklı bölgede patlatma kaynaklı yersarsıntılarını ölçmüşlerdir. Elde edilen ölçümler ve hesaplanan ölçekli mesafe değerleri ile her bir bölgeye ait % 95 güvenirlilikte görgül ilişkiler tespit etmişlerdir.

Erçikdi (2006), arazi yapısının engebeli, yağış miktarının fazla ve kayaç yapısının heyelana müsait olduğu “Korkutan taş ocağında”, titreşim ölçümleri yapmış ve titreşim etkilerini gidermek için işletmeye çeşitli önerilerde bulunmuştur.

Bilgin ve İnal (2006), Ulus-Keçiören arasında yürütülen metro çalışmasındaki patlatma kazı faaliyetlerini ve mevcut kaya birimini incelemiş ve kaya malzemesi özelliği ile titreşim büyüklüğü arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığını, sismik dalgaların sağlam kayada daha hızlı sönümlendiğini açıklamışlardır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Genel

Patlatma kaynaklı titreşimlerin laboratuvar ve arazi ortamında incelendiği bu araştırmada, laboratuvar çalışmaları için yapay modeller hazırlanmış ve model kaya birimlerinin kaya mekaniği özellikleri ve titreşim özellikleri belirlenmiştir. Bu bölümde, tüm kaya mekaniği deneylerinin gerçekleştirileceği numunelerin temini, deneye hazırlanması ve hazırlanan numunelerin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur. Öncelikle ISRM (1981) tarafından önerilen kaya mekaniği çalışmaları temel alınarak gerçekleştirilecek deneylerde kullanılacak numunelerden bahsedilmiştir. Daha sonra, bu numuneler üzerinde yapay titreşim dalgaları oluşturularak, oluşturulan titreşim değerlerinin kaydedilmesi çalışmalarından bahsedilmiştir.

3.2. Numune Bloklarının Temini

Deneylerde kullanılmak için gerekli olan numuneler makro olarak homojen yapılı ve temini kolay olması göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Laboratuvar çalışmaları için seçilen tuf örnekleri ve bazalt örneği volkanik malzemeler olup Erciyes dağının volkanik faaliyetleri sonucu oluşmuştur. Bölgede yoğun oluşum göstermekle birlikte farklı mühendislik ve renk özelliklerine sahiptirler. Bu tip numuneler, renkleri göz önünde bulundurularak bu çalışmada; GriTuf-1, Gri Tuf-2, Sarı Tuf, Siyah Tuf, Pembe Tuf ve Bazalt olarak tanımlanmışlardır. Çalışmada kullanılan diğer bir grup kaya birimi ise traverten olarak işletilmekte ve pazarlanmaktadır. Bu araştırmada üç farklı traverten kullanılmıştır; Karaman bölgesinde üretimi gerçekleştirilen traverten örneği, Traverten- KRM, Konya- Gödene bölgesinde üretilen traverten örneği, Traverten-GDN ve Konya-Güneysınır bölgesinde üretilen traverten örneği ise üretici firmanın isminden esinlenerek Traverten-PLT olarak tanımlanmıştır. Üretildikleri maden ocaklarından yaklaşık 50x50x25 cm boyutlarında kesilerek, düzgün prizmatik şekilli bloklar olarak hazırlanan 9 farklı kaya birimi Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılmak üzere getirilen numuneler

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği laboratuvarına getirilen 50x50x25 cm boyutundaki düzgün blok numuneler, öncelikle blok kesme makinesi yardımıyla titreşim deneylerinde kullanılmak üzere 50x15x10 cm boyutlu prizmatik numuneler olarak kesilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Blok kesme-düzeltilme makinesi

Bloklardan yapay model numunelerinin hazırlanması sırasında, ISRM (1981) standartlarına uygun olarak, fiziksel ve mekanik deneyler için karot numunelerin alınması işlemi de tamamlanmıştır (Şekil 3.3). Karot numunelerin hazırlanmasında 54 mm (NX) ve 42 mm (BX) çaplı iki boy karotiyer kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Karot kesme makinesi

3.3.1. Kaya mekaniği deneylerinde kullanılan numunelerin hazırlanması

Hazırlanan kaya bloklarından kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirmek üzere, ISRM (1981) standartları dikkate alınarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde Schmidt sertliği, yoğunluk, gözeneklilik, nem içeriği, nokta yükleme, dolaylı çekme, tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Çalışmalar sırasında kullanılan deney numunelerine ait hazırlık çalışmaları sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

3.3.1.1. Yoğunluk-gözeneklilik ve su emme kapasitesi belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması

Kullanılan örnek kayaçların mineral tane yoğunluğunu belirleyebilmek için gerekli olan -200 μm tane boyutlu numuneyi hazırlayabilmek için önce numune çeneli kırıcıda boyut küçültme işlemine tabii tutulduktan sonra bilyeli değirmende öğütülmüş ve istenilen fraksiyona getirilmiştir. Bunun yanı sıra, gözeneklilik (porozite), su emme kapasitesi, kuru ve doymun yoğunluk değerlerini belirlemek için, her bir numuneden numuneyi temsil eden, yaklaşık 5×5×3 cm boyutlarında düzgün prizma şekilli numuneler kesilmiş ve yapılan deneylerde kullanılmıştır (Şekil 3.4). Numune boyutları ayrıntılı olarak aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.



Şekil 3.4. Yoğunluk, gözeneklilik ve su emme kapasitesi belirleme deneyi numuneleri

Çizelge 3.1. Yoğunluk, gözeneklilik, su emme kapasitesi deney numuneleri boyutları

| Kaya Birimi | Şekil | Adet | En (mm) | Boy (mm) | Kalınlık (mm) |
|---------------|-----------|------|-------------|-------------|------------------|
| Gri Tüf-1 | Prizmatik | 10 | 48,96-51,87 | 51,30-52,08 | 30,69-31,37 |
| Gri Tüf-2 | Prizmatik | 10 | 52,39-52,81 | 52,06-52,89 | 30,40-32,10 |
| Sarı Tüf | Prizmatik | 10 | 50,81-52,41 | 51,65-52,47 | 29,89-31,09 |
| Siyah Tüf | Prizmatik | 10 | 51,21-52,04 | 51,01-52,25 | 30,58-31,33 |
| Pembe Tüf | Prizmatik | 10 | 51,73-53,35 | 50,44-52,66 | 30,72-31,99 |
| Traverten-KRM | Prizmatik | 10 | 51,45-52,68 | 50,89-53,13 | 30,27-31,70 |
| Traverten-GDN | Prizmatik | 10 | 51,84-53,99 | 51,41-54,09 | 30,52-33,23 |
| Traverten-PLT | Prizmatik | 10 | 51,26-52,74 | 51,17-52,93 | 31,03-31,59 |
| Bazalt | Prizmatik | 10 | 51,80-52,65 | 51,83-52,67 | 30,17-32,74 |

3.3.1.2. Kaya sertliği deneyi numunelerinin hazırlanması

Laboratuara getirilen 50x50x25 cm boyutundaki blok numunelerden kesilerek hazırlanan 50x15x10 cm boyutundaki düzgün prizmatik şekilli bloklar üzerinde Schmidt sertlik belirleme testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Sertlik Belirleme testi numunesi ve elektronik hafızalı Schmidh çekici

3.3.1.3. Tek eksenli basınç dayanımı belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin gerçekleştirilmesi amacıyla ISRM (1981) standartlarına uygun olacak şekilde boy/çap (H/D) oranları 2,5 ile 3 arasında değişen ve her bir kaya biriminden 10 adet olmak üzere karot numuneler hazırlanmıştır. Şekil 3.6'da hazırlanan numunelerden tipik olarak Pembe Tüf numuneleri gösterilmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri için hazırlanan numunelere ait boyutlar Çizelge 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan tipik silindirik karot numuneler

Çizelge 3.2. Tek eksenli basınç dayanımı numuneleri boyutları

| Kaya Birimi | Şekil | Adet | Çap (D) (mm) | Boy (H) (mm) | Boy/Çap (H/D) oranı |
|---------------|------------|------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Gri Tüf-1 | Silindirik | 10 | 53,20-53,57 | 136,50-137,35 | 2,55-2,57 |
| Gri Tüf-2 | Silindirik | 10 | 53,46-53,79 | 136,94-137,97 | 2,55-2,57 |
| Sarı Tüf | Silindirik | 10 | 52,97-53,40 | 136,47-137,66 | 2,56-2,59 |
| Siyah Tüf | Silindirik | 10 | 53,49-53,92 | 136,30-136,81 | 2,54-2,56 |
| Pembe Tüf | Silindirik | 10 | 53,44-54,06 | 136,64-137,51 | 2,54-2,56 |
| Traverten-KRM | Silindirik | 10 | 53,41-53,74 | 136,53-136,99 | 2,55-2,56 |
| Traverten-GDN | Silindirik | 10 | 53,41-53,67 | 136,09-137,79 | 2,55-2,57 |
| Traverten-PLT | Silindirik | 10 | 53,50-53,65 | 135,88-137,19 | 2,54-2,56 |
| Bazalt | Silindirik | 10 | 53,38-53,99 | 137,12-137,98 | 2,54-2,58 |

3.3.1.4. Dolaylı çekme (Brazilian) deneyi numunelerinin hazırlanması

Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan numuneler ISRM (1981) standartlarına göre boy/çap (H/D) oranı yaklaşık 1/2 olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.7). Hazırlanan numunelere ait çap ve boy ebatları aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.



Şekil 3.7. Dolaylı çekme deneyi için hazırlanan tipik numuneler

Çizelge 3.3. Dolaylı çekme dayanımı deney numuneleri

| Kaya Birimi | Şekil | Adet | Çap (D) (mm) | Boy (H) (mm) |
|---------------|-------|------|-----------------|-----------------|
| Gri Tüf-1 | Disk | 10 | 53,39-53,65 | 28,37-29,14 |
| Gri Tüf-2 | Disk | 10 | 53,47-54,06 | 29,46-29,81 |
| Sarı Tüf | Disk | 10 | 53,12-53,40 | 29,14-29,46 |
| Siyah Tüf | Disk | 10 | 53,39-53,71 | 28,13-29,63 |
| Pembe Tüf | Disk | 10 | 53,37-53,83 | 29,21-29,98 |
| Traverten-KRM | Disk | 10 | 53,45-53,56 | 28,62-29,83 |
| Traverten-GDN | Disk | 10 | 53,43-53,61 | 28,54-29,41 |
| Traverten-PLT | Disk | 10 | 53,41-54,52 | 28,51-30,19 |
| Bazalt | Disk | 10 | 53,36-53,96 | 29,09-29,86 |

3.3.1.5. Nokta yükleme indeks deneyi numunelerinin hazırlanması

ISRM (1981) tarafından önerilen nokta yükleme indeks deneyi numunelerinin hazırlanmasında her bir kaya birimi için 10'ar adet olmak üzere çapsal deneyler için önerilen karot Şekli numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin hazırlanmasında 42 mm (BX) boyutlu karotiyer kullanılmıŐ ve standarda uygun olarak karot boyları 50 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Nokta yükleme deneyi için hazırlanan Traverten- KRM numuneleri

3.3.2. zerinde yapay titreşim deneyleri yapılan numunelerin hazırlanması

Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarına getirilen 50x50x25 cm boyutundaki blok numuneler, öncelikle blok kesme makinesi kullanılarak 50x15x10 cm boyutlu prizmatik Şekillerde kesilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Yapay titreşim deney numunelerinin hazırlandığı, blok kesme makinesi

3.3.2.1. Titreşim değerleri ölçümünde kullanılan numuneler

Her bir kayaç örneğine ait 2'şer adet 50x50x25 cm bloklar halinde temin edilen örnekler titreşim testlerinde kullanılmak üzere her bir kaya biriminden 4'er adet olacak şekilde 36 adet 50x15x10 cm boyutunda kesilmişlerdir. Bu numunelerin her bir kayaç örneğine ait 1'er tanesi üzerinde, doğada karşılaşılabilecek süreksizlik çeşitleri dikkate alınarak yapay süreksizlikler oluşturulmuştur. Oluşturulan süreksizlik tipleri ve şekilleri aşağıda verilmiştir.

Model süreksizlik düzlemleri oluşturulurken titreşim testleri için hazırlanan 50x15x10 cm boyutunda prizmatik kaya birimleri üzerinden, yerleştirilen süreksizlik modeline göre parçalar kesilerek ayrılmışlardır (Şekil 3.10). Numune boyutunun değişmemesi için blok kesme makinesinin kesme kalınlığı (4 mm) kadar bir dolgu malzemesi (ytong) araya konularak (Şekil 3.11) kesilen kısım ana kayaca "Granit" marka doğal taş yapıştırıcısı (Şekil 3.12) kullanılarak yapıştırılmıştır.



Şekil 3.10. Yapay süreksizlik düzlemi oluşturulmak üzere ana kayaktan kesilen parçalar



Şekil 3.11. Titreşim deney numunelerinin hazırlanması ve kullanılan dolgu maddesi



Şekil 3.12. Deney numuneleri için kullanılan doğal taş yapıştırıcı ve dondurucu

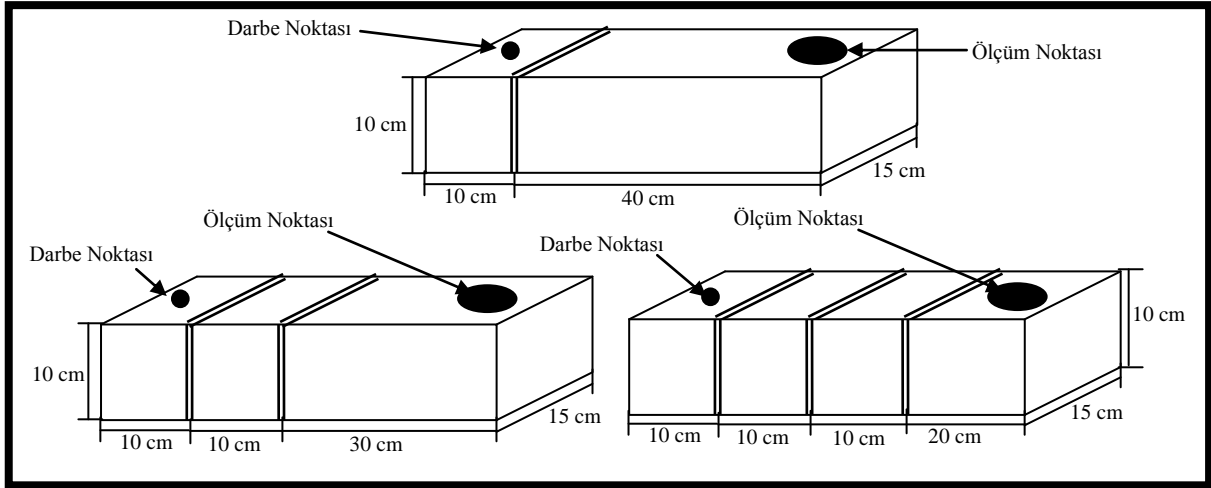
Model süreksizlikler 5 farklı şekilde hazırlanmış ve aşağıda sunulmuştur.

a) 1.Grup model numuneler

Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya dik konumlu dolgulu süreksizlik içeren numunelerdir.

Daha önce 50x15x10 cm boyutlarında hazırlanan çubuk şeklindeki numuneler blok kesme makinesi yardımıyla özel olarak daha küçük parçalara kesilmiş ve, her bir parça çok hassas ölçülerek eşit boyutta olacak şekilde sırasıyla, *tek süreksizlikli-dolgulu*, *iki süreksizlikli-dolgulu* ve *üç süreksizlikli-dolgulu* olmak üzere özel deney numuneleri hazırlanmıştır.

1. grup numunelerde, süreksizlik düzlemleri yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya dik olacak şekilde tasarlanmıştır. Numunelere ait çizimler ve örnek bir numune görüntüsü Şekil 3.13a ve Şekil 3.13b' de verilmiştir.



3.13a. Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya dik olarak oluşturulan süreksizliklerin şematik görünüşü

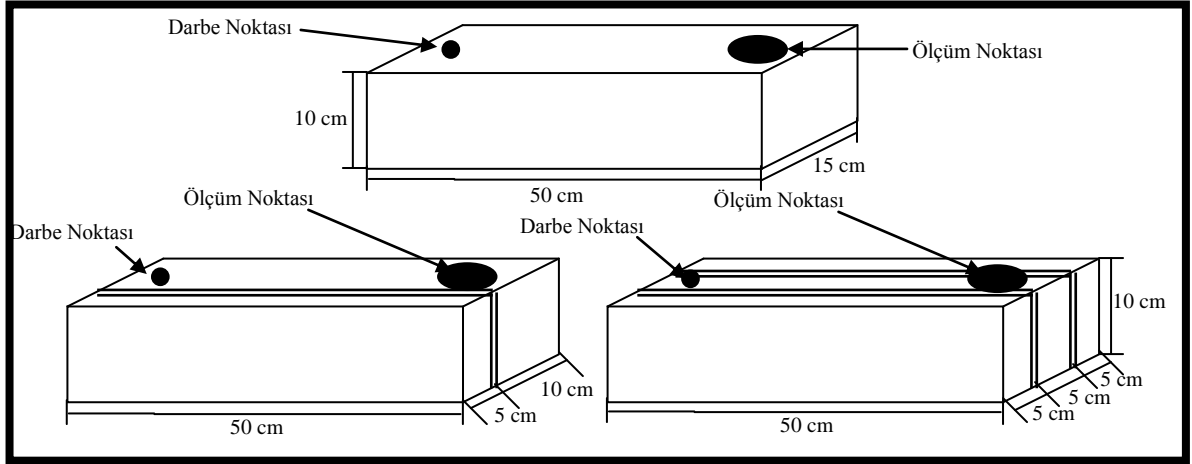


3.13b. Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya dik olarak oluşturulan süreksizliklerin fotoğraf görünüşü

b) 2.Grup numuneler

Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya paralel olacak konumda hazırlanan *tek süreksizlikli-dolgulu*, *iki süreksizlikli-dolgulu* ve *üç süreksizlikli-dolgulu* numunelerde, yapay titreşim kaynağının oluşturduğu noktanın sağına ve soluna olmak üzere, numune boyunca süreksizlikler oluşturulmuştur. Bu numunelerde, 1.Grup numunelerde olduğu gibi yine kesme kalınlığı kadar bir dolgu kullanılarak kayalar mermer yapıştırıcı ile kesildikleri parçalara tekrar yapıştırılmıştır.

2. grup numunelerde süreksizlik düzlemleri yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya paralel olacak şekilde tasarlanmıştır. Numunelerin şematik görünüşü ve örnek fotoğrafları Şekil 3.14a ve 3.14b' de verilmiştir.



3.14a. Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya paralel oluşturulan süreksizliklerin şematik görünüşü



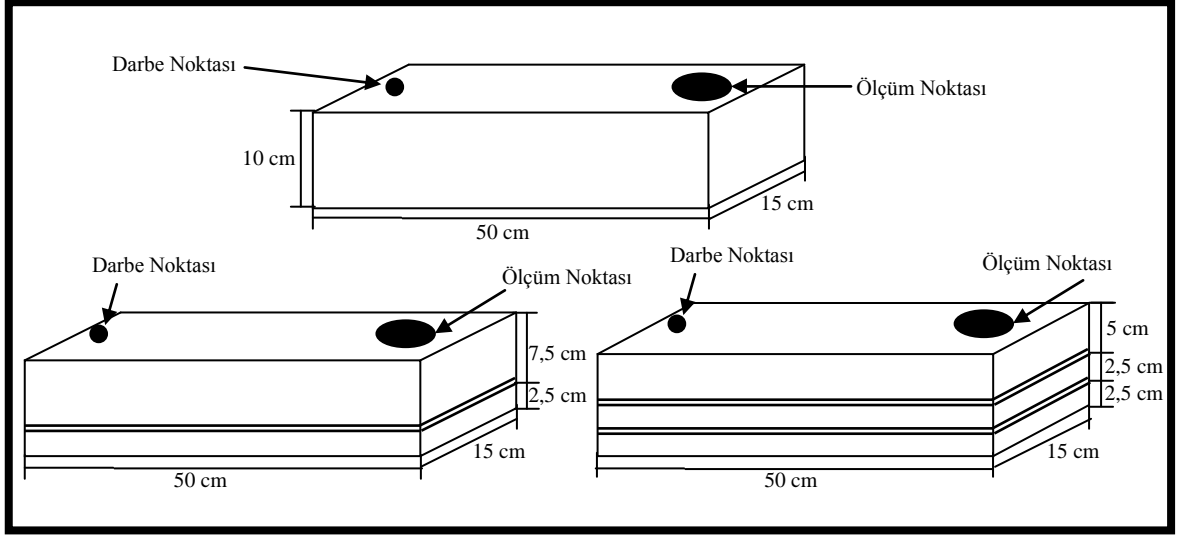
3.14b. Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya paralel oluşturulan süreksizliklerin fotoğraf görünüşü

c) 3.Grup numuneler

Yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu noktaya 45^0 açılı olarak hazırlanan *tek süreksizlikli-dolgulu*, *iki süreksizlikli-dolgulu* ve *üç süreksizlikli-dolgulu* numuneler, yapay titreşim kaynağının oluşturulduğu nokta ile süreksizlik düzlemi arasındaki açı 45^0 olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.15a ve Şekil 3.15b).

Seçilen numuneler yine sırasıyla tek süreksizlikli-dolgulu, iki süreksizlikli-dolgulu ve üç süreksizlikli-dolgulu olarak hazırlanmıştır.

daha yapılarak orijinal tabaka kalınlığı 5 cm olarak ayarlanmıştır. Kesilen tabakaların tekrar aynı pozisyondaki yerlerine alt alta yapıştırılmasıyla test numunesinin hazırlanması tamamlanmıştır (Şekil 3.16a ve 3.16b).



Şekil 3.16a. Yatay tabakalanmalı ve farklı tabaka kalınlığına sahip numunelerin şematik görünüşü



Şekil 3.16b. Yatay tabakalanmalı ve farklı tabaka kalınlığına sahip numunelerin fotoğraf görünüşü

e) 5.Grup numuneler

Üzerlerinde yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu kuru ve suya doymun deney numuneleri için 50x15x10 cm boyutlarındaki çubuk kayaç numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler kuru iken titreşim testleri yapılmış, daha sonra aynı numuneler yaklaşık

olarak 60x60x60 cm boyutlarındaki su dolu varil içerisine tam olarak daldırılarak 48 saat süreyle bekletilmişlerdir (Şekil 3.17). Böylece kayacın suya doygunluğu sağlanmıştır. Suyu doymuş hale gelen numuneler üzerinde aynı kuru durumda olduklarında yapıldığı gibi titreşim deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3.17. Numunelerin su dolu kaptaki suya doymuş hale getirilmesi

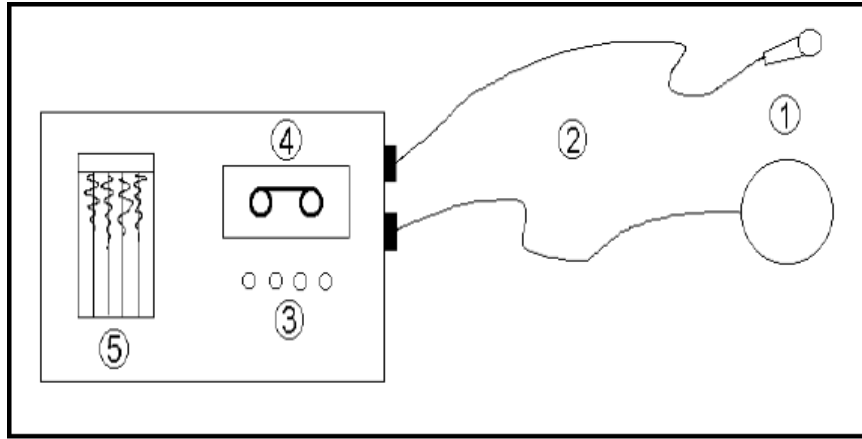
3.4. Yersarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemleri

Madencilik, baraj inşaatı, yol inşaatı, tünel inşaatı ve boru hatları gibi çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin kazı faaliyetlerinde patlatmalı sistem kullanılmaktadır. Artan nüfusa bağlı olarak hammadde ihtiyacının da artması ile birlikte yerleşim yerlerine oldukça yakın bölgelerdeki maden rezervleri işletmeye alınmaya başlanmıştır. Ayrıca eski maden ocakları yakınlarının imara açılması madencilik ve yerleşim yerlerini bir araya getirmeye başlamıştır. Bu durumdaki işletmelerde yapılan patlatmalardan dolayı oluşacak titreşim seviyesinin ne kadar önemli olduğu ortadadır. Maden ve yerleşim yerleri arasındaki uzaklık açısından herhangi bir problemi olmayan lokasyonlarda da (kaya yapısını farklı etkileşimlerinden dolayı), insanlar bazen patlatma titreşimlerinden etkilenebilmektedir. Patlatmalardan dolayı oluşan titreşimlerin bir kısmı patlayıcı maddelerin önlem alınmadan ve deneyimsizce kullanılması sonucu oluşmakta ve istenmeyen çevresel ve hukuksal sonuçlara yol açabilmektedir.

Patlatmalardan dolayı oluşacak titreşimlerin insanları rahatsız etmemesi ancak ilgili işletmenin şartlarına göre önerilecek patlatma tasarımlarıyla olacaktır. Bu tasarım aşamalarında kullanılacak en önemli veri kaynaklarından birisi de, patlatmaların oluşturduğu çevresel etkilerin takip edilmesini içermektedir. Bu sebeple patlatmanın

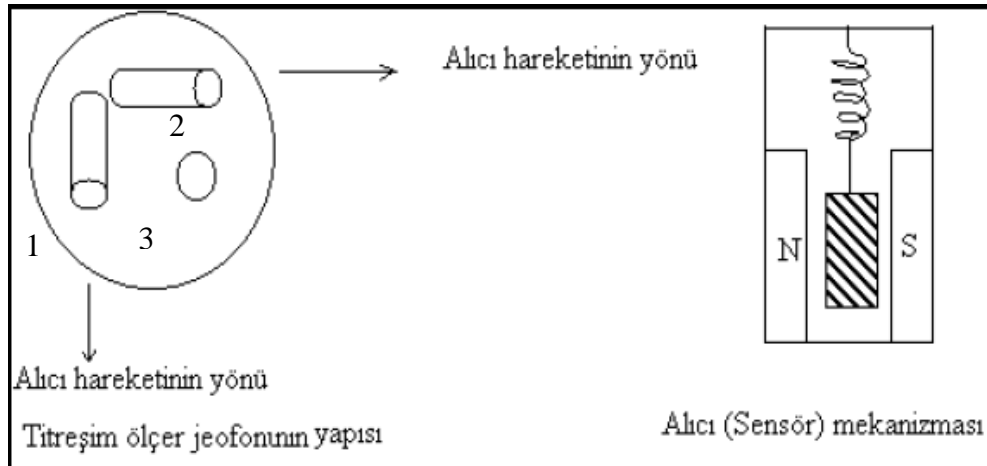
çevresel etkileri içinde önemli bir yere sahip olan yer sarsıntısı ve hava şokunu kayıt eden sistemler geliştirilmiştir. İdeal bir yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemi aşağıdaki 4 temel bileşeni içermelidir (Şekil 3.18).

1. Jeofon ve mikrofon,
2. Bağlantı kabloları,
3. Yükseltici ve sinyal düzenleyici,
4. Kayıt edici.



Şekil 3.18. İdeal titreşim ölçüm sistemi (Dowding, 1985)

Jeofonun içerisinde üç adet alıcı mevcuttur. Bu alıcılardan ikisi birbirine dik olarak konumlandırılmış, diğeri ise düşey konumda bulunmaktadır (Şekil 3.19). Her bir alıcı patlatma kaynaklı veya diğeri nedenlerle oluşan parçacık hızını kendi ekseninde (enine boyuna ve düşey) ölçer ve sonuçta bileşke parçacık hızı ölçülen bu değerlerden hesaplanır. Titreşim ve hava şokunun ölçülmesi ve kayıt edilmesi için farklı firmalar çeşitli kapasitelerde ürünler satışa sunmaktadırlar. Bu tez çalışmasında Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan 2 adet “Instantel Minimate Plus” marka titreşim ölçerden yararlanılmıştır. Bu ölçü ekipmanı 4 kanallı olup otomatik kayıt yapma özelliğine sahiptir.



Şekil 3.19. Jeofonun yapısı

3.4.1 “Instantel Minimate Plus” ölçüm cihazının tanıtımı

“Instantel” firmasının üretmiş olduğu “*Minimate Plus*” yer sarsıntısı ve hava soku izleme cihazı 4 kanallı olup enine, boyuna ve düşey yönde salınım hareketlerini ölçebilen bir jeofon içermektedir. Bu sistem de ayrıca; hassas hava şoku algılayıcı, şarj adaptörü, kontrol ünitesi, bilgisayar bağlantı kablosu, taşıma ünitesi ve *Blastware 8.0* yazılımı da mevcuttur (Şekil 3.20). Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.28’ de detaylı olarak verilmektedir.



Şekil 3.20. “Instantel Minimate Plus” cihazının görünümü

Çizelge 3.28. Titreşim Ölçer “InstanTel Minimate Plus” cihazının bazı teknik özellikleri

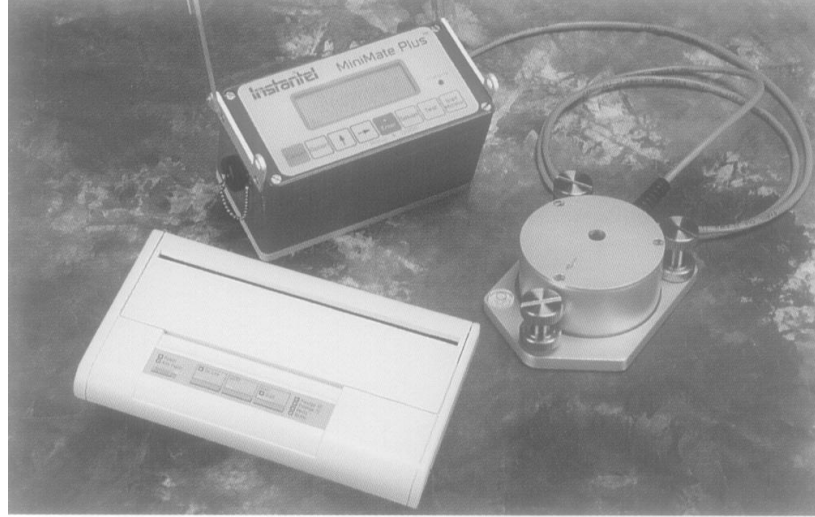
| | | |
|------------------------|-----------------------|--|
| Sismik | Ölçüm aralığı | 0,125 - 254 mm/s |
| | Hassasiyet | 0,5 mm/s veya $\pm\%5$ |
| | Tetiklenme seviyesi | 0,5 mm/s veya $\pm\%5$ |
| | Frekans Aralığı | 2-250 Hz |
| | Maks. Kablo Uzunluğu | 75 m |
| | Frekans analizi | Tüm Ülkelerin Ulusal ve Bölgesel Standartları İçin |
| Hava Şoku (Lineer) | Ölçüm aralığı | 88-148 dB. |
| | Hassasiyet | $\pm\%10$ veya ± 1 dB |
| | Frekans analizleri | Hava soku standardında frekans |
| Kayıt | Kayıt Modları | Manuel, Tek atım, sürekli |
| | Sabit kayıt süresi | 1-100 s |
| | Otomatik kayıt süresi | 1-9 s |
| Fiziksel Özellikler | Boyutlar | 81x91x160 mm |
| | Ağırlık | 1,4 kg |
| | Batarya | Şarj edilebilir 6V |
| | PC Bağlantısı | RS 232 |

3.4.2. Sarsıntı ölçer cihazların kurulumu

Yersarsıntısı ve hava şoku ölçer cihazlara ait jeofonlar, patlatma yapılan zemin üzerine, ilgili ölçüm lokasyonunda zemin veya kayaçla tam temas edecek şekilde sıkı bir biçimde yerleştirilmelidir (Şekil 3.21). Jeofon patlatma yapılan zeminden bağımsız ayrı bir kütle üzerine yerleştirilmemelidir (Çebi, 2007). Gevşek zemin üzerine yerleştirilen jeofonlarda, zeminin bağımsız hareketleri algılanacağı için yanlış sonuçlar elde edilecektir. Bu nedenle ölçüm yapılacak lokasyonun önceden incelenmesi yerinde olacaktır. Patlatma noktası ve ölçüm noktası arasındaki kayaç ve zemin formasyonlarının tespit edilerek kayıt edilmesi sonradan yapılacak incelemeler için önemlidir.

“InstanTel Minimate plus” sarsıntı ölçer cihazların jeofonlarının alt kısımlarında üç adet vida ayağı bulunmaktadır. Bu ayaklar belirli bir yumuşaklığa sahip zeminlerde, zemine sıkıca bastırılarak oturtulur, böylece jeofon ana zemin üzerine temas eder.

Ölçüm noktası kayaç veya beton (bina, köprü ve tünel gibi yapılardaki titreşim ölçümlerinde) gibi çok katı malzemeler üzerinde seçilirse, bu katı yüzeylere bağlantının sağlanması için “InstanTel Minimate plus”ın özel bağlantı elemanları da bulunmaktadır.

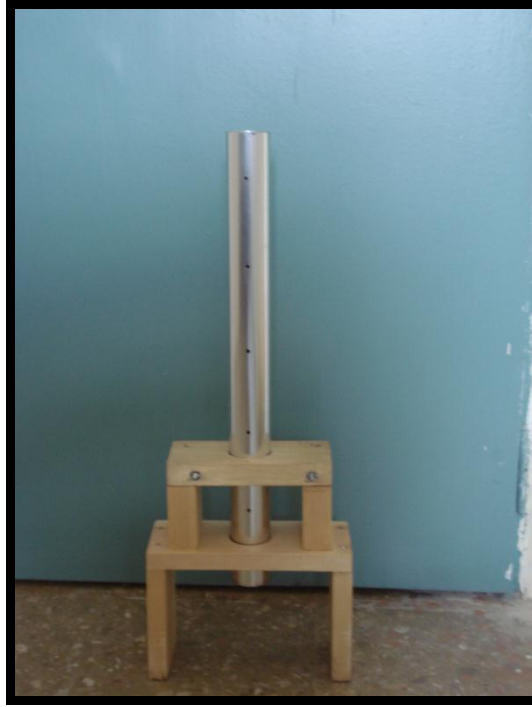


Şekil 3.21. “InstanTel Minimate Plus” model titreşim ölçüm cihazı bağlantı elemanı (InstanTel, 1993)

3.4.3 Deney düzeneği ve yapay titreşimlerin oluşturulması

Bu çalışmada 50x15x10 cm ebatlarında kesilerek hazırlanmış kayaç örnekleri üzerinde, titreşim analizleri yapılırken, titreşim değerlerinin hassas bir şekilde alınabilmesi amacıyla özel bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinin titreşimleri algılayan parçası “InstanTel Minimate Plus” ekipmanıdır. Bu düzenekte titreşim kaynağı olarak, belirli seviyelerden düşürülen bir bilyenin oluşturduğu titreşimler kullanılmıştır. Testler sırasında, oluşturulan titreşim etkisinin aynı olabilmesi için özel bir “bilye bırakma mekanizması” hazırlanmıştır. Bu mekanizma; 60 cm yüksekliğinde sert alüminyum bir borudan, düzenek sehpasından, 68 gr ağırlığında çelik bir bilyeden ve özel bir pimden oluşmaktadır (Şekil 3.22). Bu düzenek; paslanmaz bir boru içine yerleştirilen 68 gr ağırlığındaki çelik-küresel bir bilyeyi, farklı enerji seviyelerinde tutabilmektedir. Alüminyum boru üzerine farklı seviyelerde açılan deliklere yerleştirilebilen özel bir pim üzerinde duran bilyenin enerji seviyesini belirlemektedir. Bu pim yerinden çekildiği zaman, çelik bilye, boru düzeneği içinden istenilen kayaç yüzeyine düşmektedir. Bu mekanizma sayesinde belirli ağırlıktaki bir bilye istenilen noktaya her zaman aynı enerji seviyesiyle düşürülebilmektedir. Böylece

oluşan titreşimlerin kaynağının enerji seviyesini ayarlamak mümkün olmakta ve aynı enerji seviyesinden bırakılan bilyenin kayaç içinde oluşturacağı darbe titreşim enerjisi her zaman aynı olmaktadır. Tasarımı yapılan bu düzende 5 farklı enerji seviyesi (numune yüzeyinden yüksekliğine göre: 10, 20, 30, 40 ve 50 cm'lik enerji seviyeleri) bulunmaktadır.



Şekil 3.22. Farklı kayalar üzerinde eşit enerjili darbeler oluşturulmasını sağlayan düzenek

Hazırlanan bilye bırakma mekanizmasının alüminyum borusu üzerinde her 10 cm'de pim takılabilecek bir delik mevcuttur. Bu sayede 68 gr'lık çelik bilye istenilen yükseklikten bırakılabilmektedir. Üzerinde ölçümler yapılacak kayaç numunesi üzerine, hazırlanan bu düzenek hassas bir şekilde yerleştirilebilmekte ve bütün numunelerin eşit şartlarda deneye tabi tutulması sağlanabilmektedir. Böylece numunelerin titreşim değerlerinin birbirleriyle kıyaslaması yapılırken hata payı ortadan kaldırılmakta ve kayaçların titreşim değerleri, mühendislik özellikleri ile ilişkilendirilebilmektedir.

Bu düzende bilyenin kayaç numunesi üzerine darbe vurmasıyla birlikte, kayaç içindeki mineral tanelerinde titreşim oluşmakta ve bu taneler yer değiştirme özellikleri belirlenebilmektedir. Titreşim yayılımı özellikleri için yapılacak deneylerde, kullanılan düzenek yardımıyla oluşturulan darbelerin ilgili numuneler içinde oluşturduğu maksimum parçacık hızı değerleri, frekans, deformasyon ve ivme değerleri olarak

ölçülmüştür. Bu ölçme işlemi; patlayıcı maddelerin patlatılması sonucu ortaya çıkan titreşimlerin ölçümünde kullanılan “*Instanetel Minimate Plus*” cihazıyla yapılmıştır.

4. KAYA MEKANİĞİ DENEYLERİ

4.1. Genel

Bu bölümde, temin edilen ve laboratuara taşınan bloklarından elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ve sonuçlarından bahsedilecektir. Deneyler ISRM (1981) standartlarına uygun olarak yapılmış olup, numuneler üzerinde, sırasıyla; yoğunluk, gözeneklilik, su emme kapasitesi, nokta yükleme, Schmidt sertliği, dolaylı çekme, tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulan başlıklarda verilmiştir.

4.2. Yoğunluk, Gözeneklilik, Su Emme Kapasitesi Belirleme Deneyi

Yoğunluk, gözeneklilik, su emme kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu deneyde, boyutları blok kesme makinesi ile her bir kaya birimi için hazırlanan 10'ar adet numune 105°C'lik fırında 24 saat bekletildikten sonra çıkarılan numuneler 0,01 gr hassasiyetli tartı ile tartılarak kuru ağırlıkları alınmıştır. Bu işlemi takiben hazırlanmış olan numuneler, su içerisinde 48 saat bekletildikten sonra çıkarılmış ve tekrar tartılarak suya doymuş ağırlıkları kayıt edilmiştir. Ayrıca numuneler öğütülerek 200 µm boyutuna indirilmiş ve kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Numuneler kurutulduktan sonra piknometre yardımıyla mineral tane yoğunlukları belirlenmiştir (Şekil 4.1). Daha sonra suya doymuş numunelerin su içindeki tartımları alınarak elde edilen veriler yardımıyla su emme kapasitesi, yoğunluk ve gözeneklilik değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluklarının belirlenmesi

Çizelge 4.1. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk, gözeneklilik, su içeriği ve boşluk hacmi değerleri

| Numune Adı | Mineral tane yoğunluğu (ρ_g) (gr/cm ³) | Yoğunluk (d) (gr/cm ³) | Porozite (n) (%) | Su emme kapasitesi (%) |
|---------------|---|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Gri Tüf-1 | 2,365 | 1,82±0,012 | 23,04 | 10,90±0,522 |
| Gri Tüf-2 | 2,365 | 1,79±0,017 | 24,31 | 11,46±0,558 |
| Sarı Tüf | 2,410 | 1,29±0,029 | 46,47 | 28,80±0,870 |
| Siyah Tüf | 2,295 | 1,35±0,015 | 41,18 | 26,07±0,637 |
| Pembe Tüf | 2,452 | 1,68±0,086 | 31,48 | 16,90±2,197 |
| Traverten-KRM | 2,684 | 2,35±0,031 | 12,44 | 0,85±0,133 |
| Traverten-GDN | 2,570 | 2,42±0,033 | 5,84 | 0,98±0,121 |
| Traverten-PLT | 2,590 | 2,12±0,036 | 18,15 | 3,10±0,448 |
| Bazalt | 2,929 | 2,61±0,058 | 10,89 | 1,06±0,663 |

Sonuç olarak ortalama su emme kapasitesi en yüksek olan numune % 0,85 ortalama ile Traverten-KRM numunesine, % 28,80 ile Sarı Tüf numunesine aittir. Mineral tane yoğunluğuna bakıldığında 2,929 gr/cm³ ile en yüksek değer bazalt numunesine, 2,365 gr/cm³ ile Gri tüf-1 ve Gri tüf-2 numunelerine aittir. Kayaç örneklerine ait porozite değerleri incelendiğinde, % 46,47 değeri ile en yüksek toplam porozite değeri Sarı tüf örneğine ve % 5,84 değeri ile en düşük porozite değeri ise Traverten-GDN örneğine aittir.

4.3. Sertlik Deneyi

Kaya malzemelerinin yüzey sertlikleri ISRM (1981) tarafından önerilen iki farklı deney cihazı ile gerçekleştirilmektedir. Bunlar Schmidt çekici ve Shore Sclerescope olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışmada Schmidt (1951) tarafından geliştirilen Schmidt çekici kullanılmıştır. Deneyler kaya mekaniği laboratuvarına getirilen örnek blokları üzerinde yapılmıştır. Her bir örnek bloğun 20 ayrı noktasına üçer defa vuruş yapılmış ve bu üç vuruşun en yüksek olanı kayıt edilerek, toplam 60 vuruşla elde edilen değerlerden, en yüksek 20 adeti alınmış ve ISRM (1978)'e göre en yüksek % 50 verinin aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 4.2). Deneysel verilerden elde edilen Schmidt sertlik deneyi değerleri Çizelge 4.2'de ve sınıf aralıkları Çizelge 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Schmidt çekici ile sertlik değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.2. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen Schmidt sertlik deneyi sonuçları

| Numune Adı | Sertlik değeri |
|---------------|----------------|
| Gri Tüf-1 | 58,7±1,418 |
| Gri Tüf-2 | 54,5±1,958 |
| Sarı Tüf | 35,5±1,581 |
| Siyah Tüf | 40,1±0,738 |
| Pembe Tüf | 52,3±1,829 |
| Traverten-KRM | 53,1±1,449 |
| Traverten-GDN | 56,3±2,869 |
| Traverten-PLT | 48,5±1,716 |
| Bazalt | 59,2±2,098 |

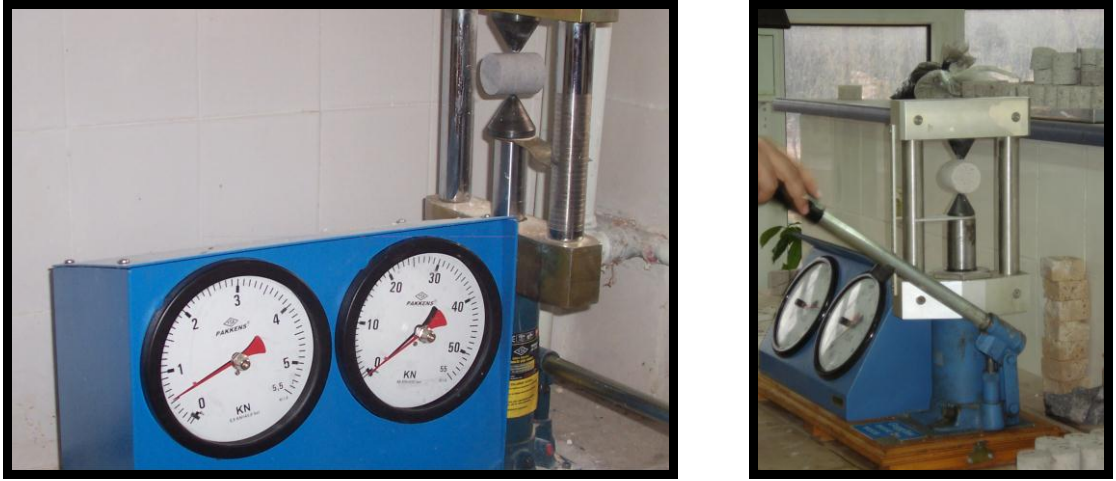
Sonuç olarak Gri Tüf-1, Gri Tüf-2, Pembe Tüf Traverten-KRM, Traverten-GDN ve Bazalt numuneleri üzerinde yapılan Schmidt sertlik değerleri incelendiğinde, bu kayaların Schmidt sertlik değerleri “ISRM’in kaya sertliği sınıflama” tablosuna göre, “*oldukça sert*” sınıfına girmektedir. Yine sınıflama tablosuna göre Siyah Tüf ve Traverten-PLT numuneleri “*sert*” sınıfına, Sarı Tüf numunesi ise “*az sert*” sınıfına girmektedir.

Çizelge 4.3. Schmidt sertliği değerlerine göre kaya sertliği sınıflaması (ISRM,1978)

| Schmidt çekici değeri | Sertlik sınıflaması |
|-----------------------|---------------------|
| 0-10 | yumuşak |
| 10-20 | az yumuşak |
| 20-40 | az sert |
| 40-50 | Sert |
| 50-60 | oldukça sert |
| >60 | çok sert |

4.4. Nokta Yükleme İndeks Deneyi

Bu deneyde 42 mm çapında kesilmiş silindirik numuneler üzerinde çapsal deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney ISRM (1981) standartlarına göre her bir kaya birimi için hazırlanan 10'ar adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Tez çalışmasında örnek olarak seçilen kayaçların, nokta yükleme dayanımı değerleri hesaplanarak sonuçlar Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Numunelerin nokta yükleme dayanımlarının belirlenmesi

Çizelge 4.4. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükleme deneyi sonuçları

| Numune No | $I_{s(50)}$ (MPa) |
|---------------|-------------------|
| Gri Tüf-1 | 2,743±0,432 |
| Gri Tüf-2 | 2,479±0,224 |
| Sarı Tüf | 0,643±0,118 |
| Siyah Tüf | 1,527±0,197 |
| Pembe Tüf | 1,854±0,337 |
| Traverten-KRM | 3,672±0,606 |
| Traverten-GDN | 4,712±0,682 |
| Traverten-PLT | 2,969±0,717 |
| Bazalt | 5,136±0,473 |

ISRM (1981) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen testler neticesinde elde edilen değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde, nokta yükleme dayanımı değeri en yüksek olan kayaç örneğinin 5,136 MPa değeri ile bazalt numunesi olduğu belirlenmiştir. Nokta yükleme dayanımı değeri en düşük kayaç örneği ise 0,643 MPa değeri ile sarı renkli tüf numunesi olarak tespit edilmiştir.

4.5. Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi

ISRM (1981) standartlarına uygun olarak her bir kaya birimi için hazırlanan 10'ar adet numune, 300 ton yükleme kapasiteli hidrolik pres vasıtasıyla deneylere tabi tutulmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. 300 ton kapasiteli hidrolik pres

ISRM (1981) tarafından önerilen 200 N/sn'lik yükleme hızına uygun yapılan deneyler esnasında numunelerin yenilmesi sağlanarak kırılma anındaki yük değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen değerler yardımıyla hesaplanan çekme dayanım değerleri Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

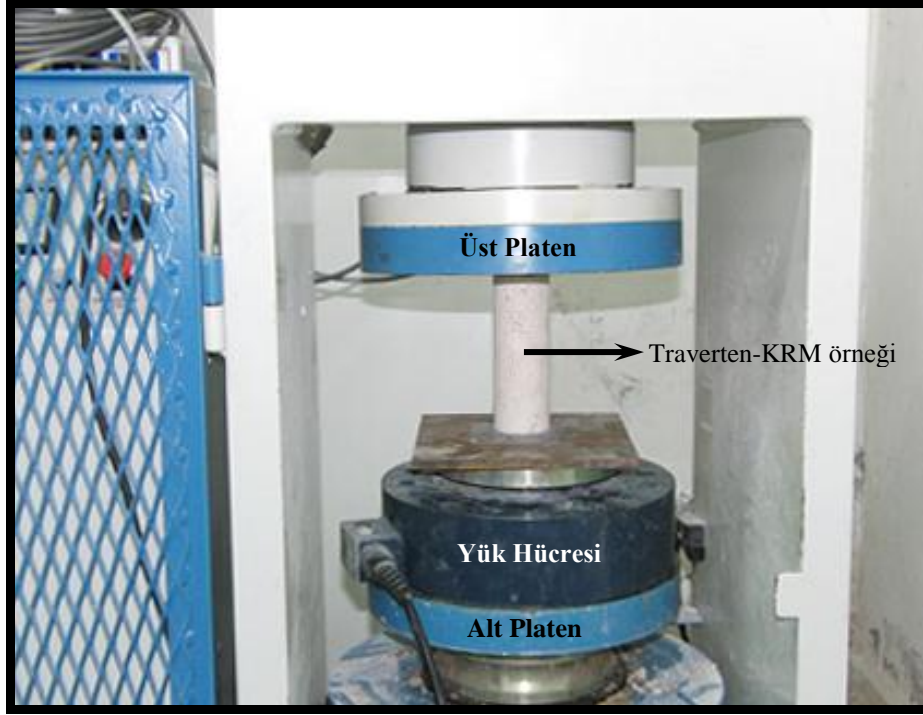
Elde edilen sonuçlara göre bazalt numunesi ve pembe renkli tuf numunesin en yüksek dolaylı çekme dayanımı değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Buna karşın sarı renkli ve siyah renkli tuf numunelerinin düşük dolaylı çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu tanımlanmıştır.

Çizelge 4.5. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen dolaylı çekme dayanımı (DÇD) (Brazilian) deney sonuçları

| Numune Adı | Dolaylı çekme dayanımı, DÇD (σ_t , MPa) |
|---------------|--|
| Gri Tüf-1 | 5,957±0,530 |
| Gri Tüf-2 | 4,266±0,408 |
| Sarı Tüf | 2,001±0,316 |
| Siyah Tüf | 2,506±0,552 |
| Pembe Tüf | 7,682±1,101 |
| Traverten-KRM | 6,210±0,649 |
| Traverten-GDN | 6,724±0,876 |
| Traverten-PLT | 4,524±1,213 |
| Bazalt | 7,522±1,894 |

4.6. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Çalışmaya örnek teşkil eden 9 farklı kayaç örneğinden hazırlanan 10'ar adet silindir şeklindeki karot numuneler, ISRM (1981) standartlarına uygun olarak Boy/Çap (H/D) oranları 2,5-3 arasında olacak şekilde hazırlanmıştır. Çapları 54 mm (NX) boyutlarında hazırlanan silindirik numuneler 300 ton kapasiteli hidrolik preste 0,5-1 MPa/sn yükleme hızında yükleme yapılarak tek eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi

Bu araştırmada kullanılan örnek kayaç numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları Çizelge 4.6’da sunulduğu gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Numunelere ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

| Numune No | Yenilme dayanımı, TEBD (σ_c , MPa) |
|---------------|---|
| Gri Tüf-1 | 41,151±5,775 |
| Gri Tüf-2 | 39,718±3,148 |
| Sarı Tüf | 5,807±0,865 |
| Siyah Tüf | 18,004±2,290 |
| Pembe Tüf | 24,718±5,550 |
| Traverten-KRM | 54,968±13,882 |
| Traverten-GDN | 65,827±9,572 |
| Traverten-PLT | 33,900±6,629 |
| Bazalt | 81,600±4,285 |

Sonuçlardan görüldüğü üzere yapılan tek eksenli basınç dayanımı değeri en yüksek olarak bulunan kayaç örneği bazalt, en düşük değere sahip kayaç örneği ise sarı renkli tüf numunesine aittir.

4.7. Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi

Kayaçlardaki titreşim yayılımını, bir başka deyişle parçacık hareket hız değerlerini ölçmek ve titreşimin yayılmasını etkileyen süreksizlik parametrelerini incelemek için mümkün olduğunca homojen yapıya sahip kayaç örnekleri üzerinde laboratuvar titreşim testleri yapılmak istenmiştir. Böylece kayaçların içyapısından dolayı titreşim testlerinin etkilenmesi minimum seviyede tutulduğu kabulü yapılmıştır. Seçilen kayaç numunelerinin kaya mekaniği açısından değerlendirilebilmesi, bu kayaçların diğerlerinden farkının ortaya konulabilmesi için bunların kaya mekaniği deneylerinin yapılması zorunlu olmuştur. Bu amaçla kayaçların davranışlarını etkileyen deneyler gerçekleştirilerek, bu bölüm içinde anlatılan deney başlıkları altında ilgili deney sonuçları deneye tabii tutulan kayaç örnekleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Yapılan mekanik deneyler neticesinde bazalt numunesinin dayanımının diğer numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En zayıf kayaç örneğinin ise sarı tuf numunesi olduğu belirlenmiştir.

5. LABORATUARDA YAPILAN TİTREŞİM TESTLERİ

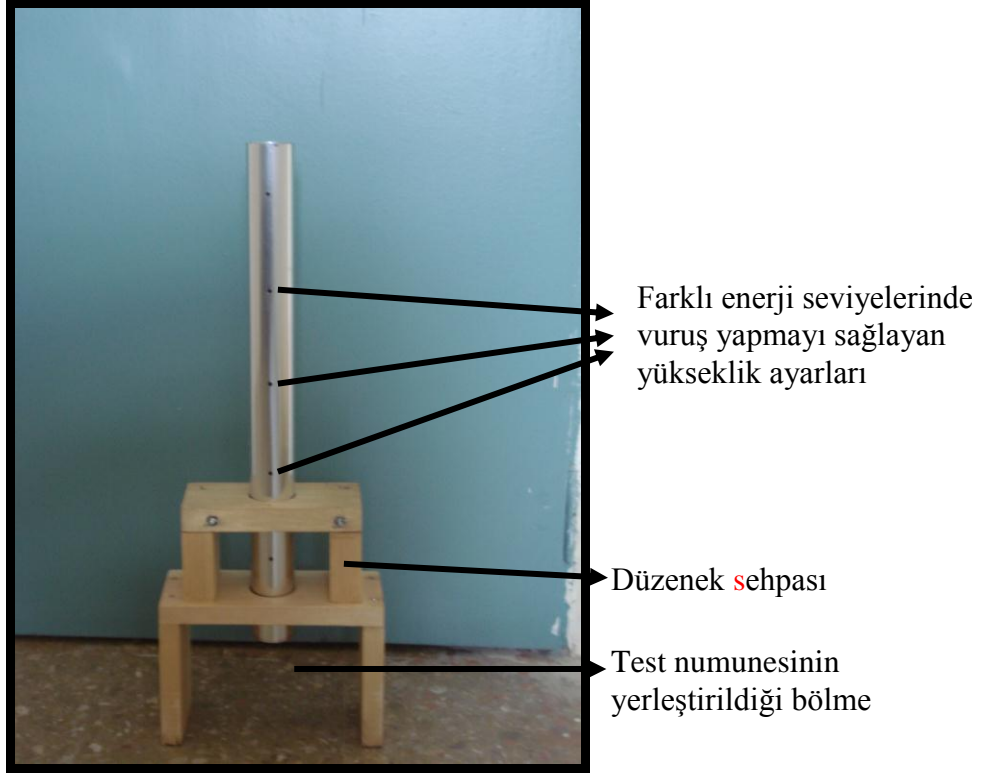
5.1. Genel

Bu bölümde, temin edilen ve laboratuara taşınan bloklarından elde edilen model numuneler üzerinde, patlatma kaynaklı yersarsıntılarını temsilen yapay olarak oluşturulan titreşim dalgalarının maksimum parçacık hız ölçümü ve sonuçlarından bahsedilmiştir. Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler, 50x15x10 cm boyutlarında tasarlanmıştır. Tasarlanan bu numunelerin bir kısmı üzerinde titreşim deneyleri ve kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diğer numunelerde ise doğada karşılaşılabilecek olası süreksizlik tipleri göz önünde bulundurularak, numuneler üzerinde yapay süreksizlik düzlemleri oluşturulmuş ve titreşim deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerden elde edilen maksimum parçacık hızı sonuçlarının ortalama değerleri daha sonra analizlerde kullanılmak ve değerlendirilebilmeleri için çizelgeler haline getirilerek bir veri tabanı oluşturulmuştur.

5.2. Titreşim Deneylerinin Gerçekleştirilmesi

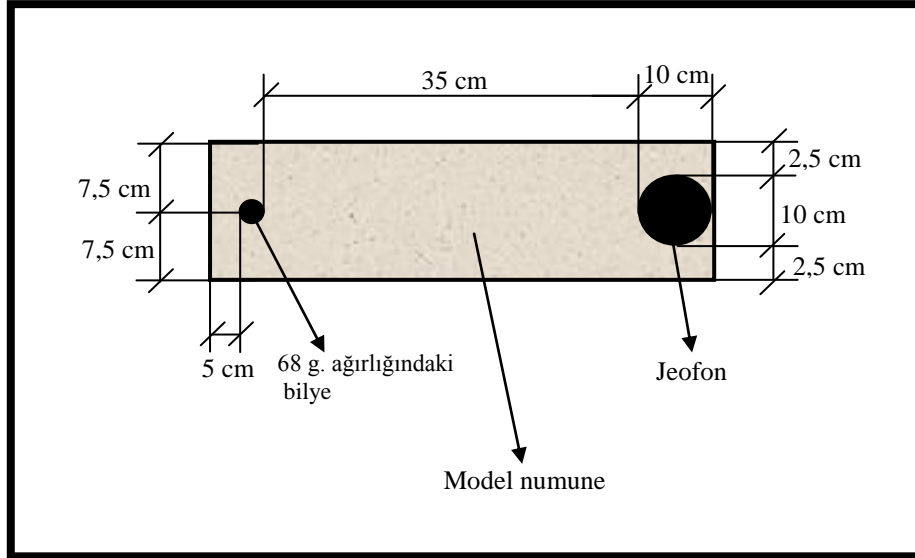
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği laboratuvarında mekanik özellikleri belirlenen bu örnek kayalardan hazırlanan 50x15x10 cm boyutlarındaki ek titreşim test numuneleri; özel olarak hazırlanmış test düzeneği kullanılarak titreşim testlerine tabii tutulmuştur. Bu kayaların belirli noktalarında oluşturulan belirli şiddetteki titreşimleri belirli bir mesafeye aktarabilme özelliklerinin araştırılması bu bölümde detaylandırılarak anlatılmıştır.

Süreksizliklerin, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının kaya kütleleri içinde iletilmesine yaptıkları etkiyi ortaya koyabilmek için, bu araştırmada seçilen homojen kayaç örneklerinden kesilerek hazırlanan blok çubuk numuneler, farklı süreksizlik oryantasyonları için deneye tabi tutulmuştur. Bölüm 3'de anlatılan 5 farklı model numune üzerinde patlatma kaynaklı sarsıntıları temsil etmek amacıyla titreşim oluşturulmuş, titreşim enerjisiyle, süreksizlik sayısı, süreksizlik açısı, tabaka kalınlıkları ve kayacın suya doygunluk özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu araştırma sırasında numunelere verilecek titreşim şiddetinin aynı şiddette olduğundan emin olmak amacıyla özel bir düzenek tasarlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Farklı enerji seviyelerinde aynı şiddetli vuruş yapmayı sağlamak için tasarlanan düzenek

Bu düzeneğin hazırlanması ve ön testlerinin yapılmasından sonra araştırma konusu olan deneylere geçilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen bu yapay titreşim düzeneğinden elde edilen darbe enerjileri, ayarlandığı seviyeye göre hep aynı değerde gerçekleştiği için deneylerde kullanılan modeller arasındaki farklılıkları analiz etmekte kullanılmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi geliştirilen bu titreşim sağlayıcı düzeneğin farklı kayaç yüzeylerine konumlandırılabilmesinin sağladığı pratik uygulamalar deneylerde çok yardımcı olmuştur. Deney numunelerinin belirli bir noktasına seçilen potansiyel enerji seviyesiyle (yükseklik: 30 cm) vuruş yapılabilmesi için tasarlanan deney düzeneği, farklı kayaçlarda yapılan titreşim deneylerinin ana unsurudur. Darbenin yapıldığı sabit nokta ile Instantel ölçüm cihazının numune içinde oluşturulan titreşimi ölçmek amacıyla yerleştirildiği temas noktası arasındaki mesafe (35cm) hassas olarak ölçülerek her defasında kaydedilmektedir. Bu mesafenin bu araştırmada kullanılan bütün kayaç örneklerinde eşit olacak şekilde ayarlanmasının karşılaştırmaların doğru olarak yapılabilmesi için önemi büyüktür. Her numune için; düzeneğin 30 cm yükseklik enerji seviyesinden darbeler oluşturularak kayıtlar alınmıştır. Her bir model için patlatma kaynaklı titreşimi temsilen oluşturulan yapay titreşimler, eşit koşullarda Şekil 5.2’de şematik olarak sunulan plan görünüşte verilen düzende gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Kaya birimi üzerinde yapay titreşimlerin oluşturulduğu nokta ve ölçüm noktası

Bu kayıtlar sırasında 30 cm yükseklik enerji seviyesinden ortalama değer hesaplanabilmesi için 10 adet titreşim değeri, Instanetel Minimate Plus patlatma sismografi ile ölçülmüştür ve ortalama değerler elde edilmiştir. Ölçümler yapılırken cihaz tek atım okuma modunda çalıştırılmış, dolayısıyla bilyenin kayaç üzerine ilk dokunduğu andaki darbe enerjisiyle oluşan titreşim değerleri kayıt edilmiştir. Deneyler sırasında ölçülen titreşimsel hareketler; enine (PVT), boyuna (PVL) ve düşey (PVV) olmak üzere 3 farklı koordinat yönünde maksimum parçacık hızı ve bu üç bileşenin vektörel toplamı (PVS), maksimum ivme, maksimum deplasman ve frekans parametreleri olmak üzere ekipman tarafından ölçülmüş ve ekipman hafızasına otomatik olarak kaydedilmiştir. Üç farklı yönde oluşan hız değerleri dikkate alındığında bir parçacığın toplam ya da bileşke hızı (PVS) aşağıdaki gibi olmaktadır (Instanetel, 1993).

$$PVS = \sqrt{(T)^2 + (V)^2 + (L)^2} \quad (5.1)$$

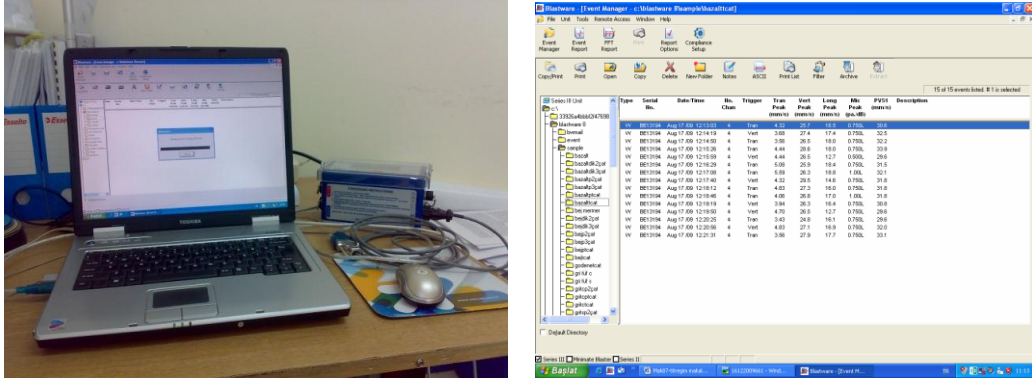
Burada;

T : Enine düzlem boyunca parçacık hızı (mm/s)

V : Düşey düzlem boyunca parçacık hızı (mm/s)

L : Boyuna düzlem boyunca parçacık hızı (mm/s)

Daha sonra kaydedilen deney verileri Blastware Rev-8.12 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 5.3). Hazırlanan beş farklı model numune üzerinde gerçekleştirilen titreşim deney sonuçları aşağıda sırası ile verilmiştir.



Şekil 5.3. Ölçülen titreşim değerlerinin bilgisayar ortamına aktarım ekranı

Kayaçlar genel olarak heterojen oluşumlar gösterdiği için, fiziksel ve mekanik özellikler ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında kıyaslama yaparken yanılma payını en aza indirmek amacı ile kaya mekaniği testleri ve titreşim testleri numunelerinin, üretildikleri işletmelerden laboratuara getirilen aynı bloklardan elde edilmesine oldukça özen gösterilmiştir. Böylece kaya mekaniği testleri ve titreşim testleri değerleri korelasyon yöntemi ile ilişkilendirilirken muhtemel hata payları en aza indirilmektedir. Üzerlerinde kaya mekaniği testlerinin de gerçekleştirildiği, kayaç örneklerine ait titreşim test sonuçlarının ortalamaları alınarak Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaya mekaniği testleri de gerçekleştirilen numuneler üzerinde yapılan titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 8,076 | 39,590 | 20,400 | 42,830 |
| | Standart Sapma | 0,857 | 3,376 | 4,542 | 3,870 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 8,348 | 43,190 | 21,750 | 45,050 |
| | Standart Sapma | 1,499 | 5,393 | 5,365 | 5,939 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,515 | 34,070 | 31,630 | 40,130 |
| | Standart Sapma | 2,510 | 4,603 | 6,384 | 4,969 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,390 | 48,230 | 26,450 | 49,220 |
| | Standart Sapma | 2,316 | 4,853 | 6,353 | 4,911 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,434 | 53,410 | 22,770 | 55,410 |
| | Standart Sapma | 2,334 | 6,823 | 2,590 | 7,128 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 7,021 | 26,580 | 19,930 | 32,930 |
| | Standart Sapma | 1,113 | 1,104 | 4,299 | 2,450 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 6,209 | 22,330 | 14,950 | 26,200 |
| | Standart Sapma | 0,835 | 2,830 | 2,406 | 3,622 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 6,906 | 39,230 | 17,000 | 40,680 |
| | Standart Sapma | 1,047 | 6,671 | 3,444 | 6,463 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 6,844 | 25,840 | 22,180 | 33,430 |
| | Standart Sapma | 1,257 | 1,018 | 3,183 | 2,112 |

Ort. PVT: Enine titreşim değerleri, Ort. PVV: Düşey titreşim değerleri, Ort. PVL: Boyuna titreşim değerleri, Ort. PVS: Bileşke titreşim değerleri ortalaması

a) 1. Grup numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Yapay dalga oluşturulan noktaya dik süreksizlikli 50x15x10 cm boyutlarındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen bu titreşim deneylerinde, süreksizlikler arası dolgu maddesi olarak (kesme kalınlığı kadar olacak şekilde) numunelerin hazırlanması başlığı altında bahsedildiği gibi ytong malzeme kullanılmıştır (Şekil5.3).



Şekil 5.3. Süreksizlik arası dolgu malzemelerinin yerleştirilişi

Bu örneklerin hazırlanmasındaki amaç hem süreksizlik açısı hem de süreksizlik sayısının titreşim değerleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu yüzden her bir süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda kayaç titreşim testine tabi tutulmuştur. Bu deneylerden elde edilen değerler çizelgeler halinde; yapay dalga oluşturulan noktaya dik-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya dik-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya dik-üç süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları olarak sunulmuştur. Yine bu tip örneklerde de önceki gibi 10 adet eşit potansiyel enerjili, yapay darbeler oluşturulmuş ve değerler kaydedilmiştir. Değerler kaydedildikten sonra

bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak ilişkilendirme yapılmıştır.

Çizelge 5.2. Yapay dalga oluşturulan noktaya dik-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 10,775 | 52,22 | 17,41 | 52,54 |
| | Standart Sapma | 1,947 | 5,659 | 3,105 | 5,635 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 9,412 | 39,110 | 25,600 | 41,580 |
| | Standart Sapma | 1,384 | 2,731 | 3,174 | 1,372 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,179 | 53,650 | 23,540 | 56,69 |
| | Standart Sapma | 3,236 | 4,433 | 6,437 | 3,946 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 11,625 | 53,600 | 25,390 | 55,970 |
| | Standart Sapma | 1,438 | 2,603 | 1,410 | 2,549 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,890 | 48,490 | 15,640 | 49,440 |
| | Standart Sapma | 1,428 | 3,803 | 1,777 | 3,580 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 4,316 | 24,670 | 21,260 | 32,470 |
| | Standart Sapma | 0,327 | 1,639 | 1,083 | 1,737 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 6,223 | 27,300 | 17,786 | 32,100 |
| | Standart Sapma | 0,833 | 2,443 | 3,690 | 1,434 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 8,020 | 33,840 | 16,980 | 36,970 |
| | Standart Sapma | 1,962 | 3,970 | 3,395 | 3,252 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 4,395 | 27,330 | 17,280 | 32,270 |
| | Standart Sapma | 0,691 | 1,094 | 1,240 | 0,727 |

Çizelge 5.3. Yapay dalga oluşturulan noktaya dik-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 8,454 | 40,370 | 16,030 | 42,700 |
| | Standart Sapma | 1,146 | 2,496 | 1,671 | 2,748 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 10,304 | 37,160 | 20,710 | 39,240 |
| | Standart Sapma | 2,045 | 1,797 | 4,344 | 1,152 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,460 | 45,840 | 28,550 | 53,410 |
| | Standart Sapma | 2,298 | 4,431 | 5,753 | 2,946 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 14,970 | 43,630 | 16,878 | 45,210 |
| | Standart Sapma | 2,596 | 3,810 | 4,993 | 3,993 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,619 | 45,000 | 24,130 | 47,670 |
| | Standart Sapma | 1,222 | 3,914 | 2,804 | 4,066 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 7,516 | 22,720 | 10,362 | 24,330 |
| | Standart Sapma | 0,694 | 1,877 | 1,431 | 1,625 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 9,270 | 25,670 | 8,026 | 26,000 |
| | Standart Sapma | 0,717 | 1,883 | 1,717 | 1,992 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 8,808 | 31,090 | 9,160 | 31,670 |
| | Standart Sapma | 2,346 | 3,939 | 1,553 | 3,810 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 6,362 | 26,350 | 15,760 | 28,260 |
| | Standart Sapma | 0,550 | 1,657 | 1,460 | 1,131 |

Çizelge 5.4. Yapay dalga oluşturulan noktaya dik-üç süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 8,141 | 35,32 | 11,219 | 36,86 |
| | Standart Sapma | 1,302 | 1,917 | 1,446 | 1,912 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 7,340 | 28,020 | 12,617 | 29,690 |
| | Standart Sapma | 2,149 | 3,293 | 2,265 | 3,102 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 8,558 | 32,770 | 9,179 | 34,080 |
| | Standart Sapma | 1,795 | 3,210 | 1,815 | 2,806 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 9,560 | 39,340 | 12,730 | 40,350 |
| | Standart Sapma | 1,142 | 1,815 | 2,668 | 1,657 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,674 | 39,080 | 10,781 | 40,200 |
| | Standart Sapma | 1,551 | 3,886 | 3,686 | 3,656 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 10,499 | 19,650 | 7,456 | 20,810 |
| | Standart Sapma | 0,439 | 0,986 | 1,129 | 0,846 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 7,264 | 19,500 | 13,880 | 22,110 |
| | Standart Sapma | 0,956 | 1,986 | 1,877 | 1,147 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 8,747 | 24,540 | 8,394 | 25,710 |
| | Standart Sapma | 1,327 | 1,846 | 2,411 | 2,356 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 8,190 | 25,490 | 16,850 | 26,900 |
| | Standart Sapma | 0,725 | 2,794 | 2,047 | 2,357 |

b) 2. Grup numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Titreşim deneyleri için hazırlanan numunelerden, yapay dalga oluşturulan noktaya paralel (0° açılı) süreksizlikli numuneler üzerinde, ilk olarak her hangi bir süreksizlik düzlemi oluşturulmadan titreşim deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları kayıt edilmiştir. Daha sonra, ilk olarak kayaçların düzeneğe yerleştirilme yönünün sağ tarafında, kayaç boyunca, düşey olarak yapılan ve y tong malzeme ile dolgularan birinci süreksizlik düzlemleri oluşturulmuş ve yeniden titreşim deneyleri yapılarak değerler elde edilmiştir. Bir süreksizlik düzlemleri örneğin, bu defa, düzeneğe yerleştirme yönünün sol tarafına ve birinci süreksizlik düzleminin numune kenarına olan uzaklığına eşit uzaklıkta ikinci süreksizlik düzlemi oluşturulmuştur. Tekrar numune, titreşim deneylerine tabi tutularak yeni değerler alınmış ve kayıt edilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen değerler Çizelgeler halinde; yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-süreksizliksiz numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 14,467 | 50,450 | 15,230 | 51,930 |
| | Standart Sapma | 4,840 | 3,334 | 3,673 | 3,526 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 8,016 | 45,230 | 13,330 | 46,940 |
| | Standart Sapma | 1,321 | 3,478 | 1,882 | 3,417 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,306 | 49,150 | 18,860 | 50,900 |
| | Standart Sapma | 4,298 | 3,092 | 1,914 | 3,035 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,312 | 50,590 | 18,530 | 53,460 |
| | Standart Sapma | 1,229 | 2,132 | 2,528 | 1,728 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,234 | 49,780 | 19,420 | 52,160 |
| | Standart Sapma | 3,725 | 5,190 | 1,482 | 4,491 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 5,943 | 22,770 | 10,955 | 24,110 |
| | Standart Sapma | 0,463 | 0,710 | 0,856 | 0,788 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 7,035 | 31,300 | 9,405 | 32,340 |
| | Standart Sapma | 1,202 | 2,163 | 2,198 | 2,014 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 10,977 | 29,680 | 11,794 | 31,200 |
| | Standart Sapma | 2,034 | 4,215 | 2,630 | 3,565 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 13,100 | 33,910 | 13,240 | 35,140 |
| | Standart Sapma | 1,330 | 1,238 | 1,151 | 1,114 |

Çizelge 5.6. Yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 11,264 | 48,310 | 18,580 | 50,310 |
| | Standart Sapma | 1,275 | 5,266 | 1,587 | 4,525 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 14,620 | 42,910 | 23,260 | 46,280 |
| | Standart Sapma | 4,767 | 1,787 | 4,111 | 1,062 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 20,500 | 51,820 | 24,030 | 54,970 |
| | Standart Sapma | 2,999 | 4,355 | 1,041 | 3,327 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 18,640 | 50,430 | 16,480 | 54,120 |
| | Standart Sapma | 1,453 | 1,777 | 1,191 | 1,434 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,905 | 50,840 | 11,637 | 52,450 |
| | Standart Sapma | 2,017 | 2,086 | 1,442 | 2,283 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 10,611 | 21,510 | 6,270 | 23,550 |
| | Standart Sapma | 1,719 | 1,468 | 1,798 | 0,907 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 9,769 | 31,030 | 13,203 | 32,650 |
| | Standart Sapma | 1,514 | 3,084 | 3,606 | 3,111 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 8,490 | 30,440 | 8,421 | 31,480 |
| | Standart Sapma | 2,464 | 5,056 | 2,258 | 5,124 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 9,518 | 34,300 | 10,182 | 35,170 |
| | Standart Sapma | 2,349 | 1,868 | 2,679 | 1,633 |

Çizelge 5.7. Yapay dalga oluşturulan noktaya paralel-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 16,210 | 48,130 | 20,730 | 50,320 |
| | Standart Sapma | 3,490 | 2,871 | 3,280 | 2,748 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 14,960 | 44,160 | 11,271 | 46,580 |
| | Standart Sapma | 1,768 | 1,943 | 1,684 | 2,190 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 16,090 | 52,570 | 20,730 | 55,060 |
| | Standart Sapma | 3,180 | 2,665 | 2,187 | 2,099 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 16,470 | 52,920 | 17,140 | 54,840 |
| | Standart Sapma | 2,165 | 5,966 | 1,170 | 6,262 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 9,216 | 50,590 | 14,110 | 52,560 |
| | Standart Sapma | 1,612 | 2,844 | 1,479 | 2,714 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 9,203 | 22,590 | 6,691 | 23,660 |
| | Standart Sapma | 1,406 | 1,585 | 1,599 | 1,608 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 10,337 | 31,630 | 9,357 | 32,550 |
| | Standart Sapma | 3,367 | 4,615 | 1,667 | 4,178 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 11,788 | 32,420 | 7,913 | 32,930 |
| | Standart Sapma | 3,348 | 4,693 | 3,636 | 4,734 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 8,0520 | 34,150 | 12,853 | 35,250 |
| | Standart Sapma | 0,834 | 2,130 | 3,404 | 2,069 |

c) 3. Grup numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Hazırlanan 50x15x10 cm boyutlarındaki numuneler üzerinde belirli mesafelerde eşit potansiyel enerji değerlerine sahip yapay darbelerin oluşturulduğu nokta ile yapay süreksizlikler arasındaki açı 45° olacak şekilde numuneler tasarlanmıştır. Diğer örneklerde olduğu gibi ytong malzeme yine dolgu malzemesi şeklinde olacak şekilde simülasyon örnekler hazırlanmıştır. Her bir süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda kayaç üzerinde titreşim testleri yapılmış, testler neticesinde elde edilen değerler çizelgeler halinde; yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-üç süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-tek süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 12,900 | 38,230 | 22,630 | 40,540 |
| | Standart Sapma | 2,682 | 2,522 | 3,042 | 2,602 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 12,080 | 47,180 | 28,280 | 48,210 |
| | Standart Sapma | 2,921 | 2,756 | 8,112 | 2,687 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 15,819 | 57,310 | 29,450 | 59,640 |
| | Standart Sapma | 4,800 | 4,274 | 6,197 | 2,731 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 21,660 | 50,670 | 23,024 | 53,620 |
| | Standart Sapma | 4,750 | 4,093 | 5,048 | 3,593 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 17,300 | 49,230 | 21,590 | 52,210 |
| | Standart Sapma | 2,874 | 5,132 | 3,202 | 4,344 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 8,527 | 30,710 | 24,100 | 38,840 |
| | Standart Sapma | 1,355 | 3,291 | 2,518 | 3,936 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 14,321 | 32,050 | 10,655 | 33,270 |
| | Standart Sapma | 3,489 | 3,519 | 3,158 | 3,364 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 12,848 | 43,210 | 15,880 | 43,910 |
| | Standart Sapma | 1,404 | 1,405 | 2,146 | 1,522 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 8,217 | 27,690 | 25,110 | 35,420 |
| | Standart Sapma | 0,945 | 1,593 | 1,938 | 1,636 |

Çizelge 5.9. Yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-iki süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 11,009 | 33,400 | 10,394 | 34,340 |
| | Standart Sapma | 1,723 | 2,741 | 1,618 | 2,828 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 13,490 | 39,230 | 8,727 | 40,200 |
| | Standart Sapma | 2,514 | 1,801 | 2,162 | 1,791 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 14,730 | 38,370 | 12,871 | 40,360 |
| | Standart Sapma | 2,939 | 3,994 | 2,243 | 3,281 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 17,200 | 47,940 | 13,312 | 48,950 |
| | Standart Sapma | 3,806 | 3,465 | 3,751 | 3,425 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 11,485 | 46,940 | 15,780 | 49,200 |
| | Standart Sapma | 1,325 | 1,641 | 1,133 | 1,752 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 7,987 | 34,180 | 12,894 | 35,570 |
| | Standart Sapma | 3,521 | 2,117 | 3,034 | 1,871 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 6,681 | 24,330 | 16,500 | 29,430 |
| | Standart Sapma | 0,420 | 1,757 | 1,196 | 2,082 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 11,565 | 35,090 | 23,460 | 40,250 |
| | Standart Sapma | 1,656 | 4,994 | 3,913 | 2,456 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 6,324 | 34,120 | 11,300 | 34,610 |
| | Standart Sapma | 1,383 | 3,209 | 0,445 | 2,732 |

Çizelge 5.10. Yapay dalga oluşturulan noktaya 45° açılı-üç süreksizlikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 7,367 | 22,470 | 18,310 | 28,840 |
| | Standart Sapma | 1,988 | 2,469 | 3,115 | 1,687 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 10,872 | 36,540 | 7,573 | 37,300 |
| | Standart Sapma | 2,143 | 2,752 | 1,511 | 2,746 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,529 | 35,040 | 13,668 | 36,920 |
| | Standart Sapma | 2,903 | 2,419 | 2,557 | 2,265 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 10,861 | 41,480 | 11,453 | 42,720 |
| | Standart Sapma | 2,661 | 2,655 | 2,404 | 2,863 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,681 | 43,690 | 19,700 | 44,780 |
| | Standart Sapma | 2,429 | 1,319 | 4,585 | 1,251 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 8,864 | 30,690 | 14,741 | 32,850 |
| | Standart Sapma | 3,892 | 1,902 | 2,827 | 1,446 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 7,582 | 24,900 | 6,273 | 25,530 |
| | Standart Sapma | 0,759 | 1,971 | 1,032 | 2,131 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 15,390 | 32,090 | 11,186 | 34,370 |
| | Standart Sapma | 1,863 | 2,243 | 1,771 | 1,681 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 8,370 | 29,770 | 12,365 | 31,450 |
| | Standart Sapma | 1,159 | 2,164 | 1,436 | 2,491 |

d) 4. Grup numuneler üzerlerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Her bir örnek kayaca ait 50x15x10 cm boyutlarında hazırlanan numuneler üzerinde titreşim testleri yapılmıştır. Bu durumda ilk numune kalınlığı, ilk numune kalınlığı gibi kabul edilmiş ve yapılan titreşim testlerinin sonuçları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra yatay olacak şekilde numunenin, enerji düzeyini ayarlamak için tasarlanan düzeneğe yerleştirilme yönünün alt kısmından 2,5 cm'lik kısmı kesilerek, araya kesme kalınlığı kadar bir dolgu malzemesi (ytong) yerleştirilmiş ve yapıştırılmıştır. Böylece birinci tabaka düzlemi oluşturulmuş, ana tabaka kalınlığı 10 cm'den 7,5 cm'ye düşürülmüş, tekrar ölçüm alınmıştır. İkinci tabaka düzlemi oluşturulurken ise tekrar 2,5 cm'lik kısım kesilip, dolgu malzemesi ile yapıştırıldıktan sonra, ana tabaka kalınlığı 5 cm olarak ayarlanmış ve yeniden titreşim ölçümü alınmıştır. Yapılan testler neticesinde elde edilen değerler çizelgeler halinde; ana tabaka kalınlığı 10 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, ana tabaka kalınlığı 7,5 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları, ana tabaka kalınlığı 5 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.11. Ana tabaka kalınlığı 10 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 13,005 | 46,230 | 14,897 | 47,650 |
| | Standart Sapma | 2,378 | 2,397 | 2,784 | 2,104 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 10,678 | 33,26 | 14,640 | 35,800 |
| | Standart Sapma | 0,916 | 3,726 | 0,707 | 2,694 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,562 | 48,980 | 16,440 | 50,360 |
| | Standart Sapma | 3,262 | 3,076 | 2,439 | 2,947 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 9,659 | 47,120 | 17,290 | 49,300 |
| | Standart Sapma | 1,933 | 2,328 | 1,666 | 1,948 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,640 | 55,550 | 15,860 | 57,390 |
| | Standart Sapma | 1,387 | 2,242 | 2,597 | 2,103 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 5,360 | 18,270 | 8,829 | 18,690 |
| | Standart Sapma | 0,953 | 0,736 | 1,171 | 0,787 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 5,969 | 32,640 | 9,227 | 33,410 |
| | Standart Sapma | 0,739 | 3,373 | 1,754 | 3,493 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 6,146 | 22,160 | 11,141 | 24,410 |
| | Standart Sapma | 0,918 | 1,693 | 0,909 | 1,617 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 12,063 | 30,030 | 9,864 | 31,480 |
| | Standart Sapma | 3,703 | 4,064 | 1,569 | 3,979 |

Çizelge 5.12. Ana tabaka kalınlığı 7,5 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 12,591 | 49,090 | 13,300 | 50,680 |
| | Standart Sapma | 2,006 | 2,982 | 1,369 | 3,097 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 11,523 | 39,970 | 10,695 | 41,200 |
| | Standart Sapma | 2,401 | 1,278 | 0,829 | 1,094 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 16,850 | 51,830 | 16,090 | 53,990 |
| | Standart Sapma | 4,531 | 5,113 | 2,909 | 5,383 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,631 | 51,930 | 19,860 | 53,450 |
| | Standart Sapma | 4,700 | 4,466 | 2,326 | 3,282 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 8,555 | 63,220 | 12,270 | 64,540 |
| | Standart Sapma | 1,101 | 1,640 | 2,434 | 1,707 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 6,845 | 22,310 | 7,861 | 22,700 |
| | Standart Sapma | 1,192 | 0,584 | 0,849 | 0,606 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 6,706 | 33,190 | 7,632 | 34,200 |
| | Standart Sapma | 1,277 | 2,870 | 1,104 | 2,839 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 7,913 | 23,590 | 10,647 | 25,540 |
| | Standart Sapma | 0,658 | 1,413 | 0,944 | 1,246 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 11,945 | 32,580 | 7,694 | 33,480 |
| | Standart Sapma | 2,471 | 3,759 | 1,040 | 3,451 |

Çizelge 5.13. Ana tabaka kalınlığı 5 cm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 14,113 | 53,400 | 14,450 | 54,830 |
| | Standart Sapma | 4,800 | 2,455 | 2,759 | 2,249 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 14,331 | 51,370 | 11,820 | 52,440 |
| | Standart Sapma | 4,566 | 5,664 | 1,964 | 5,643 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 13,599 | 57,770 | 17,270 | 60,160 |
| | Standart Sapma | 5,245 | 3,231 | 2,627 | 3,157 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 14,880 | 58,040 | 20,350 | 60,850 |
| | Standart Sapma | 2,478 | 3,910 | 3,306 | 4,252 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 16,460 | 72,400 | 13,500 | 73,510 |
| | Standart Sapma | 2,895 | 2,126 | 1,780 | 2,134 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 8,656 | 30,850 | 6,858 | 31,080 |
| | Standart Sapma | 1,160 | 2,645 | 0,916 | 2,589 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 11,385 | 35,090 | 10,579 | 36,410 |
| | Standart Sapma | 3,185 | 1,173 | 1,400 | 1,186 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 12,502 | 27,280 | 10,188 | 29,420 |
| | Standart Sapma | 2,118 | 2,102 | 1,710 | 1,463 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 7,709 | 39,170 | 7,962 | 39,590 |
| | Standart Sapma | 1,040 | 3,092 | 1,177 | 3,230 |

e) 5. Grup numuneler üzerlerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Hazırlanan 50x15x10 cm boyutundaki numuneler ilk olarak kuru haldeyken titreşim testlerine tabi tutulmuşlardır ve elde edilen veriler kayıt altına alınmışlardır. Aynı numuneler 60x60x60 cm boyutlarındaki plastik kaba yerleştirildikten sonra, kabın tamamı yaklaşık 20 °C'lık su ile doldurulmuştur (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Numunelerin suya doygun hale getirilişi

Numuneler bu şekilde 48 saat süreyle su içerisinde bekletilerek suya doymunluk sağlanmıştır. Suya doyrulan numuneler eşit potansiyel enerjiye sahip yapay dalgalar oluşturmak için tasarlanan düzeneğe tekrar yerleştirilerek titreşim testleri yapılmıştır (şekil 5.5).



şekil 5.5. Doymun numune üzerinde titreşim testlerinin yapılışı

Elde edilen veriler kuru test numuneleri üzerinde gerçekleştirilen titreşim testleri ve suya doymun test numuneleri üzerinde gerçekleştirilen titreşim testleri sonuçları olarak çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.14. Kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 13,005 | 46,230 | 14,897 | 47,650 |
| | Standart Sapma | 2,378 | 2,397 | 2,784 | 2,104 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 10,678 | 33,26 | 14,640 | 35,800 |
| | Standart Sapma | 0,916 | 3,726 | 0,707 | 2,694 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,562 | 48,980 | 16,440 | 50,360 |
| | Standart Sapma | 3,262 | 3,076 | 2,439 | 2,947 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 9,659 | 47,120 | 17,290 | 49,300 |
| | Standart Sapma | 1,933 | 2,328 | 1,666 | 1,948 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 12,640 | 55,550 | 15,860 | 57,390 |
| | Standart Sapma | 1,387 | 2,242 | 2,597 | 2,103 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 5,360 | 18,270 | 8,829 | 18,690 |
| | Standart Sapma | 0,953 | 0,736 | 1,171 | 0,787 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 5,969 | 32,640 | 9,227 | 33,410 |
| | Standart Sapma | 0,739 | 3,373 | 1,754 | 3,493 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 6,146 | 22,160 | 11,141 | 24,410 |
| | Standart Sapma | 0,918 | 1,693 | 0,909 | 1,617 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 12,063 | 30,030 | 9,864 | 31,480 |
| | Standart Sapma | 3,703 | 4,064 | 1,569 | 3,979 |

Çizelge 5.15. Suya doymun numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları

| Numune Adı | | Ort. PVT (mm/s) | Ort. PVV (mm/s) | Ort. PVL (mm/s) | Ort. PVS (mm/s) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gri Tüf-1 | Ort. Maks. Hız | 6,957 | 25,920 | 9,031 | 26,750 |
| | Standart Sapma | 0,660 | 0,931 | 1,185 | 1,387 |
| Gri Tüf-2 | Ort. Maks. Hız | 8,520 | 19,540 | 14,430 | 21,470 |
| | Standart Sapma | 0,771 | 2,486 | 0,975 | 1,927 |
| Sarı Tüf | Ort. Maks. Hız | 8,822 | 33,900 | 8,179 | 35,180 |
| | Standart Sapma | 1,309 | 1,962 | 0,473 | 1,854 |
| Siyah Tüf | Ort. Maks. Hız | 5,752 | 20,580 | 8,073 | 21,480 |
| | Standart Sapma | 1,153 | 1,859 | 0,990 | 1,740 |
| Pembe Tüf | Ort. Maks. Hız | 4,648 | 25,360 | 9,637 | 26,170 |
| | Standart Sapma | 0,878 | 1,719 | 0,978 | 1,775 |
| Traverten-KRM | Ort. Maks. Hız | 5,486 | 12,380 | 6,957 | 12,860 |
| | Standart Sapma | 0,397 | 1,389 | 0,548 | 1,395 |
| Traverten-GDN | Ort. Maks. Hız | 8,103 | 19,520 | 10,178 | 21,590 |
| | Standart Sapma | 0,567 | 1,460 | 1,289 | 1,003 |
| Traverten-PLT | Ort. Maks. Hız | 4,076 | 18,320 | 9,946 | 18,560 |
| | Standart Sapma | 0,295 | 0,322 | 1,034 | 0,337 |
| Bazalt | Ort. Maks. Hız | 3,836 | 22,450 | 7,075 | 22,800 |
| | Standart Sapma | 0,287 | 1,074 | 0,255 | 1,030 |

6. LABORATUAR SONUÇLARININ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMELER

6.1. Genel

Bu bölümde, laboratuvar çalışmalarından elde edilen deney sonuçları yorumlanmıştır. Laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen fiziksel ve mekanik deney sonuçları ile kayaç örneklerine ait maksimum parçacık hızı değerleri grafik olarak incelenmiştir. Değerlendirmeler iki değişken arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılan istatistiksel bir yöntem olan korelasyon katsayısına (R^2) bağlı olarak yapılmıştır. Korelasyon katsayısı, R^2 ile gösterilmektedir. Genel kural olarak bilineceği gibi; R^2 katsayısı 1'e yaklaştıkça ilişki artmakta; 0'a yaklaştıkça da izi sürülen parametrik ilişki azalmaktadır. Eğer bu değer -1 değerine yaklaşacak olursa parametrik ilişkinin ters yönde olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu araştırma sırasında korelasyon katsayısı seviyesine göre; deneye tabi tutulan numunelerin fiziksel ve mekanik değerleriyle titreşim değerleri arasındaki ilişkilere iki farklı seviye yaklaşımı yapılmıştır. Burada korelasyon katsayısı 0,70 ve üzeri (0,700-1,000) olan grafiksel ilişkiler; “*mümkün*” olarak; 0,500-0,699 korelasyon değerine sahip olan ilişkiler “*muhtemel*” olarak; 0,50'den düşük korelasyon değerine sahip olan ilişkiler ise “*ilişki bulunamamıştır*” olarak adlandırılmıştır.

Kullanılan dokuz farklı kaya biriminden hazırlanan yapay süreksizlikler içeren modeller üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri ile belirlenen maksimum parçacık hızı değişimi, grafikler oluşturularak irdelenmiştir. Bu değerlendirmeler tasarlanan 5 farklı model numune üzerinde yapılmıştır ve sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

6.2. Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları ile Maksimum Titreşim Hızı Değerleri Arasındaki İlişkiler

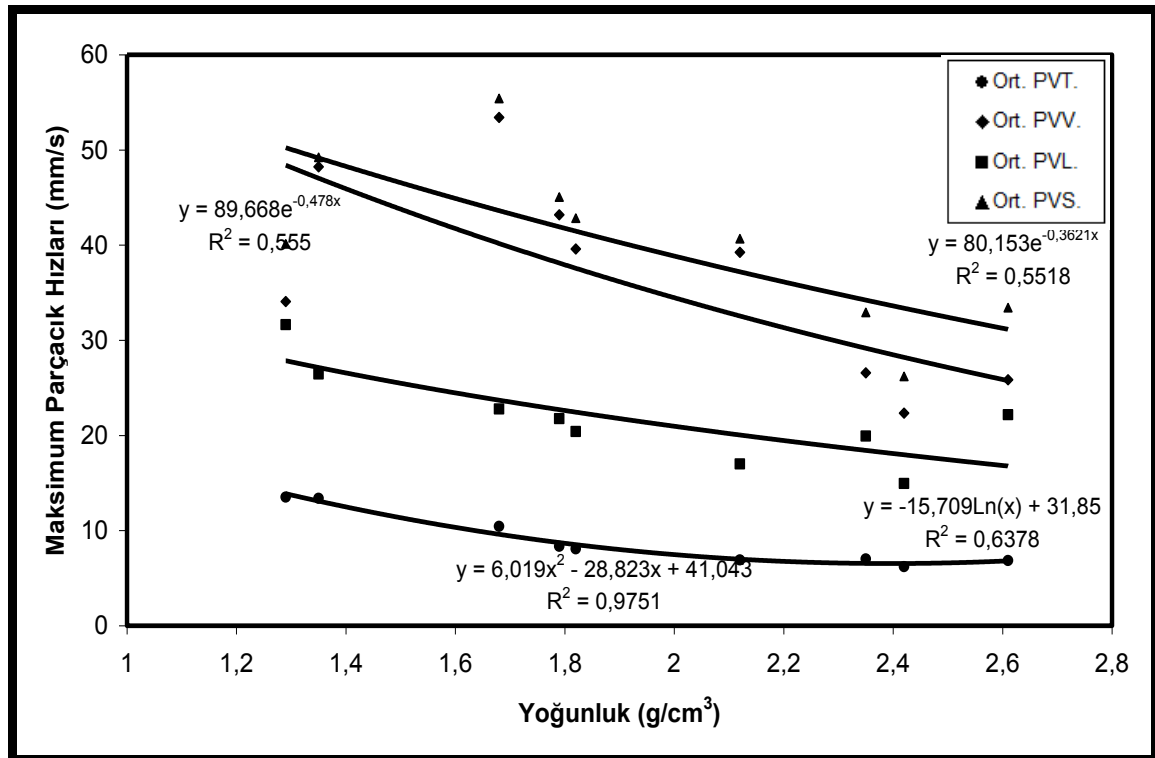
ISRM (1981) standartlarına uygun olarak yapılan ve sonuçları çizelgeler halinde Bölüm 4'te sunulan fiziksel ve mekanik değerler ile Bölüm 5'de sunulan titreşim değerleri kullanılarak ilişki grafikleri oluşturulmuş ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

6.2.1. Fiziksel deney sonuçları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler

Kayaç örnekleri üzerinde fiziksel deneylerden, Schmidt sertlik deneyi, yoğunluk deneyi, toplam porozite belirleme deneyi ve su emme kapasitesi belirleme deneyleri yapılmış ve elde edilen değerler ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

6.2.1.1. Yoğunluk ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler

Çizelge 4.1' de verilen, numunelere ait yoğunluk değerleri ile Çizelge 5.1' de sunulan maksimum parçacık hızı değerleri kullanılarak hazırlanan grafikler üzerinde korelasyon yöntemi ile belirlenen matematiksel eşitlik ve korelasyon katsayısı değerleri ile birlikte Şekil 6.1' de sunulmaktadır.



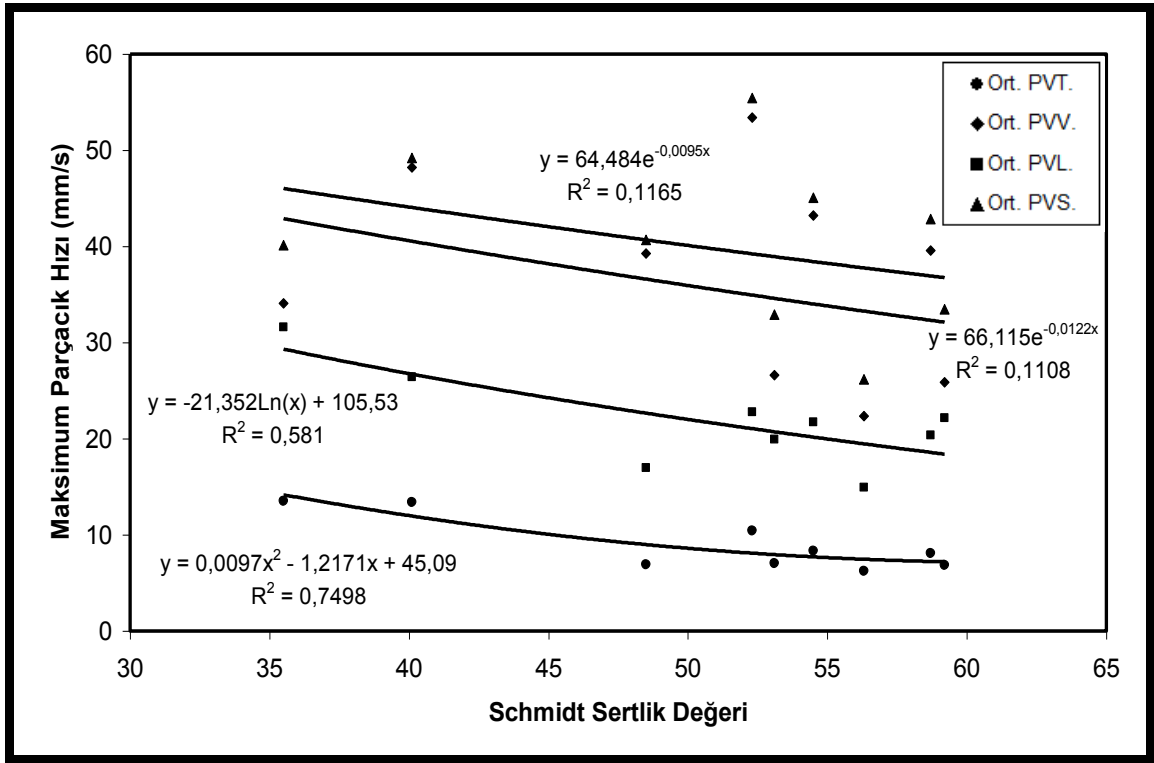
Şekil 6.1. Yoğunluk ve maksimum titreşim hızı arasındaki ilişkiler

Belirlenen yoğunluk değerleri ile örnekler için maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki eğrileri incelendiğinde, enine maksimum parçacık hızı ile yoğunluk

değerleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısı ($R^2=0,9751$) ile kuvvetli bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Örneklerin boyuna parçacık hızı, düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızları ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise korelasyon değerleri (R^2) 0,5518 ile 0,6378 arasında değişmektedir. Dolayısıyla ilişki muhtemel olarak tanımlanabilmektedir.

6.2.1.2. Sertlik değerleri ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler

Yapılan sertlik testleri neticesinde elde edilen değerler ve titreşim deneyleri neticesinde elde edilen maksimum titreşim hızları değerleri kullanılarak oluşturulan ilişki grafiği Şekil 6. 2’de sunulmaktadır.



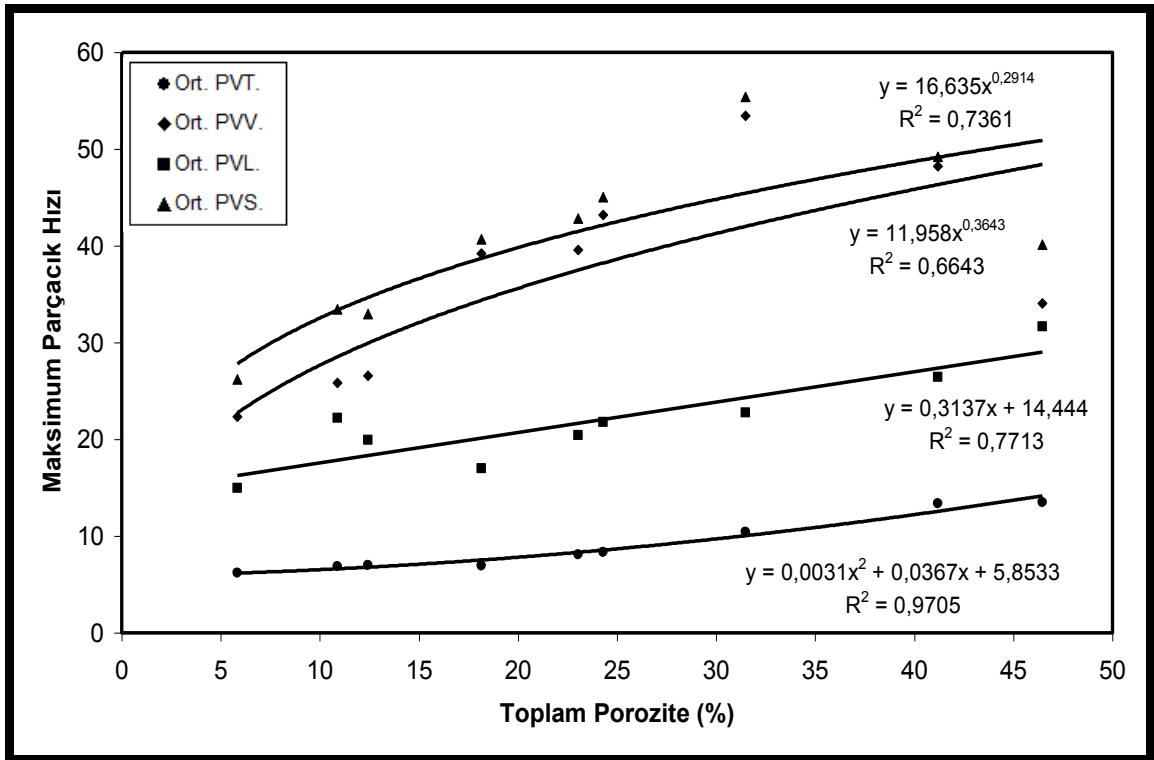
Şekil 6.2. Schmidt sertlik değerleri ile maksimum parçacık hızı arasındaki ilişkiler

Schmidt sertlik değerleri ile maksimum parçacık hızı arasındaki ilişki grafiğine bakıldığında, enine maksimum parçacık hızı üzerinde Schmidt sertliğinin baskın bir etkisinden bahsetmek mümkündür. Boyuna parçacık hızı ile Schmidt sertlik değeri arasındaki ilişki eğrisinde ise korelasyon katsayısı $R^2=0,581$ olarak tespit edilmiştir. Bu değere göre, bu iki değişken arasında bir ilişkinin muhtemelliğinden

bahsedilebilmektedir. Bunların aksine, düşey yöndeki maksimum parçacık hızı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerleri üzerinde Schmidt sertlik değerinin baskın bir parametre olmadığı belirlenmiştir. Bu eğriler incelendiğinde korelasyon katsayısı değerlerinin oldukça düşük olduğu gözükmektedir.

6.2.1.3. Toplam porozite ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler

Kayaç örneklerinin toplam porozite değerleri ile titreşim deneyleri neticesinde elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri kullanılarak oluşturulan ilişki grafiği Şekil 6.3'te verilmektedir.



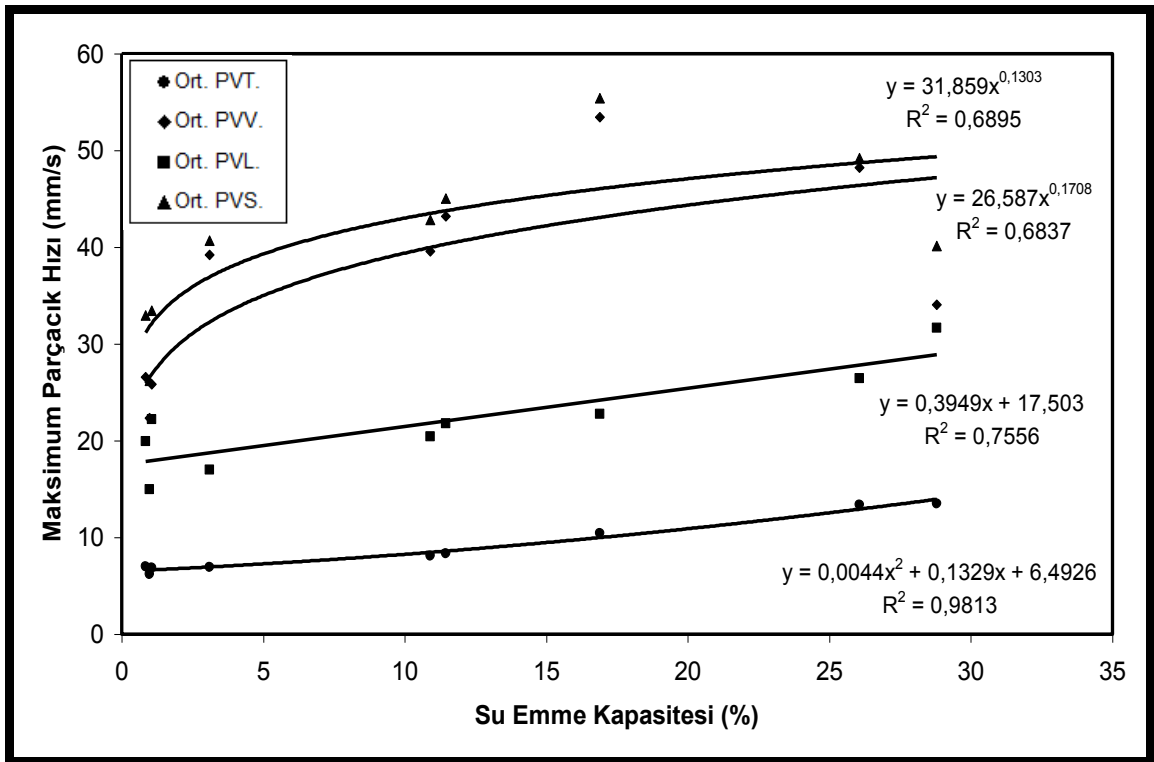
Şekil 6.3. Toplam porozite ve maksimum parçacık hız değerleri arasındaki ilişki grafiği

Genel olarak toplam porozite ile kayaç örneklerine ait maksimum parçacık hızları değerleri grafiği irdelendiğinde, porozitenin parçacık hızları üzerinde etken bir parametre olduğu gözükmektedir. İlişki eğrileri kendi aralarında incelendiğinde, porozite ile enine maksimum parçacık hızı arasında belirlenen eğride korelasyon katsayısının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde boyuna maksimum parçacık hızı değeri ile toplam porozite eğrisinin R² değeri 0,7713 olarak belirlenmiş ve

bir ilişkinin muhtemelliği düşünülmektedir. Bileşke maksimum parçacık hızı ve yoğunluk eğrisinde de 0,7361' lik bir korelasyon katsayısı mevcuttur. Burada da mümkün bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Düşey maksimum parçacık hızı ile yoğunluk değerleri arasında elde edilen eğride ise muhtemel bir ilişkidenden bahsedilebilmektedir.

6.2.1.4. Su emme kapasitesi ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler

Kayaç örneklerine ait yüzde (%) cinsinden belirlenen su emme kapasitesi değerleri ve örneklerin maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkiler, Şekil 6.4' de sunulan ilişki grafiğinde tanımlanmaktadır.



Şekil 6.4. Su emme kapasitesi ile maksimum parçacık hız değerleri arasındaki ilişki grafiği

Şekil 6.4'de verilen su emme kapasitesi ve dokuz farklı kayaca ait maksimum parçacık hızları değerleri kullanılarak elde edilen ilişki grafiklerine bakıldığında, kayaç numunelerinin maksimum parçacık hızlarının, su emme kapasite özellikleri ile ilişkili bir şekilde değişim gösterdikleri tespit edilmiştir. En yüksek korelasyon değeri, $R^2=0,9813$ değeri ile enine maksimum parçacık hızı eğrisine aittir. Boyuna maksimum

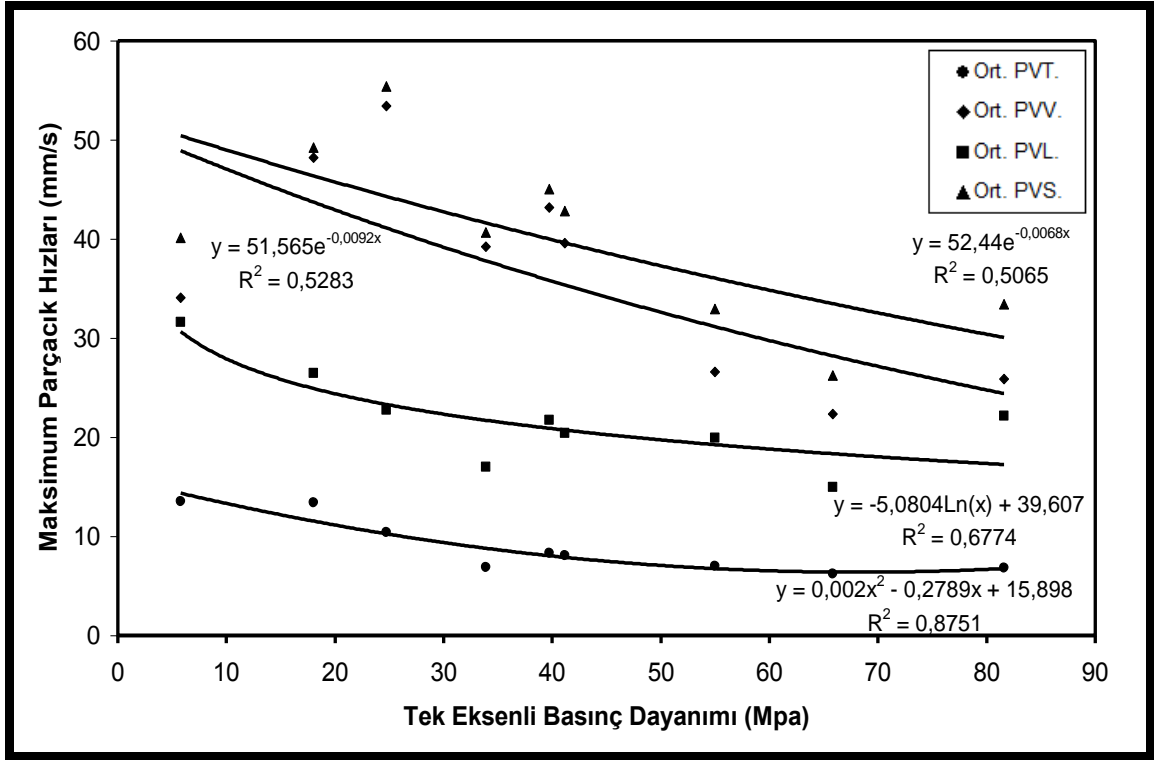
parçacık hızı eğrisine ait R^2 değeri 0,7556 olarak tespit edilmiştir. Düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı eğrilerinin korelasyon değerleri ise sırasıyla $R^2=0,6837$ ve $R^2=0,6895$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu korelasyon katsayısı değerlerine göre enine ve boyuna maksimum parçacık hızı değerleri ile su emme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler mümkün olarak, düşey ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile su emme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler ise muhtemel olarak tanımlanabilmektedir.

6.2.2. Mekanik test sonuçları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler

Kayaç örnekleri üzerinde mekanik testlerden, tek eksenli basınç dayanımı testi, endirekt çekme dayanımı (Brazilian) ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen değerler ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler alt başlıklar halinde aşağıda sunulmaktadır.

6.2.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler

Yapılan deneyler sonucunda kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiş ve Bölüm 4' de Çizelge 4.6' da sunulmuştur. Bu değerler ile kayaç örneklerinin maksimum parçacık hızı değerleri kullanılarak iki değişken arasında ilişki grafiği oluşturulmuş (Şekil 6.5). Bu grafik yardımıyla da değişkenler arasındaki matematiksel formül ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

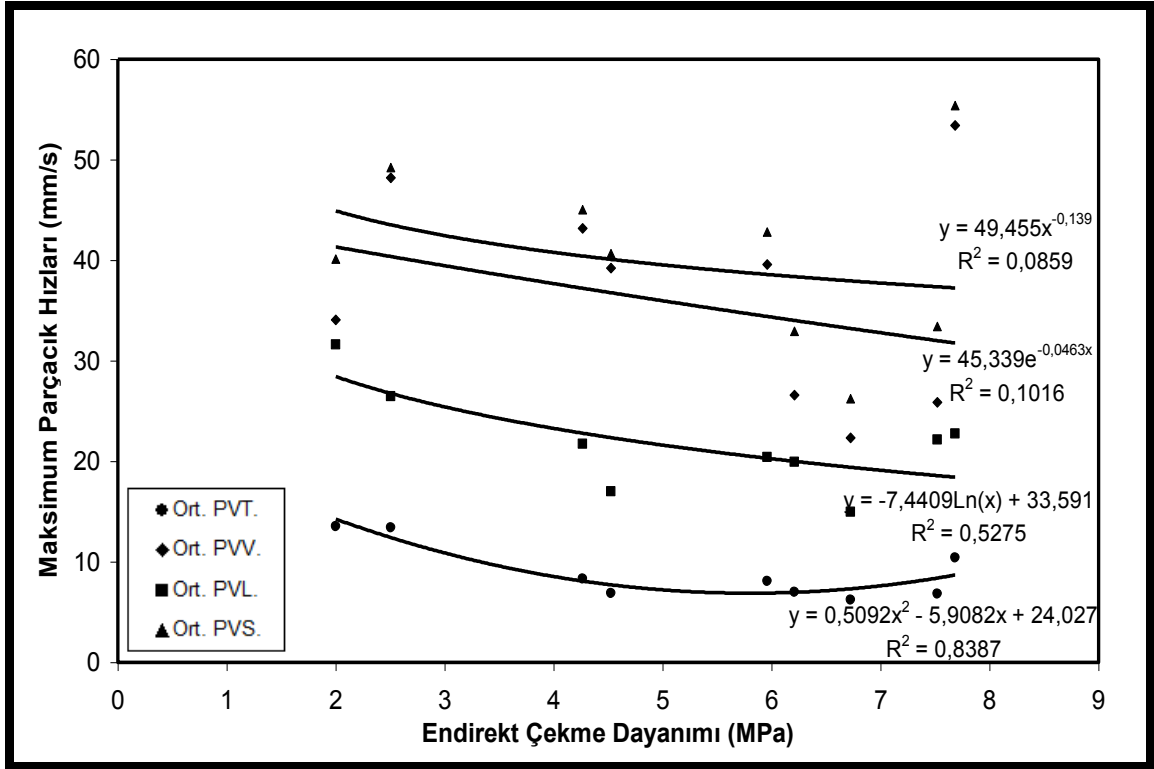


Şekil 6.5. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki grafiği

Şekil 6.5’de verilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki grafiği incelendiğinde, veriler arasında genel olarak ters orantılı bir ilişkiden bahsetmek mümkündür. Elde edilen eğriler tek tek ele alındığında, enine maksimum parçacık hızı değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki eğrinin korelasyon katsayısı değeri $R^2 = 0,8751$ olarak belirlenmiş ve ilişki mümkün olarak tanımlanmıştır. Boyuna maksimum parçacık hızı, düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı eğrilerinin korelasyon değerleri ise $R^2 = 0,500-0,700$ arasındadır. Dolayısıyla bu eğriler yardımıyla elde edilen ilişkiler muhtemel olarak tanımlanmaktadır.

6.2.2.2. Endirekt çekme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler

Endirekt çekme dayanımı testleri neticesinde elde edilen sonuçlar ile örnek kayalara ait maksimum parçacık hız değerleri arasındaki ilişkileri tanımlamak amacıyla aşağıdaki grafik çizilmiştir (Şekil 6.6).

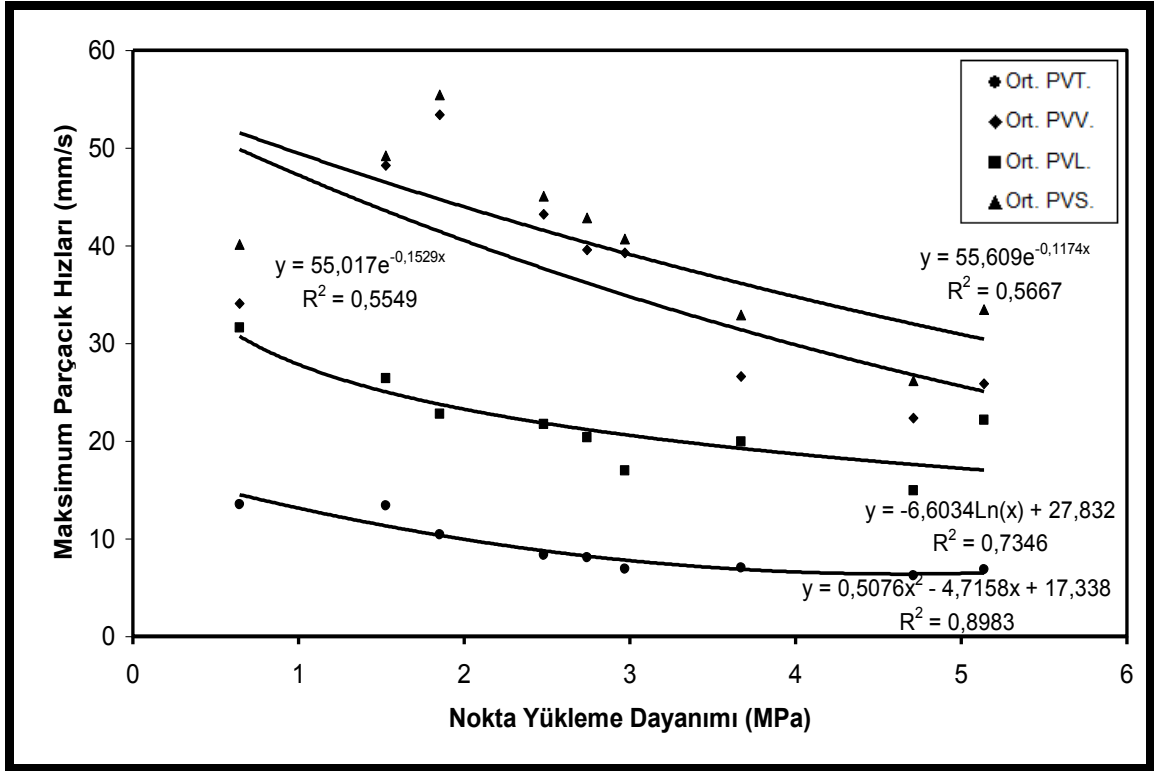


Şekil 6.6. Endirekt çekme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki grafiği

Endirekt çekme dayanım değerleri ile maksimum parçacık hız değerleri arasındaki ilişki grafiği incelendiğinde, enine maksimum parçacık hızı ile endirekt çekme dayanımı değerleri arasında mümkün bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Maksimum boyuna parçacık hızı değerleri ile ise muhtemel bir ilişki bahsedilebilir. Ancak, düşey ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile endirekt çekme dayanımı değerleri arasındaki ilişki eğrilerine bakıldığında, korelasyon katsayısının oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu eğriler arasında herhangi bir ilişki bahsetmek mümkün olmamaktadır.

6.2.2.3. Nokta yükleme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiler

Çalışmada kullanılan dokuz farklı kayaç örneğine ait nokta yükleme dayanımları tespit edilmiş ve maksimum parçacık hızı değerleri ile grafik olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6.7.).



Şekil 6.7. Nokta yükleme dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki grafiği

Elde edilen grafik detaylı olarak incelendiğinde, kayaç örneklerinin nokta yükleme dayanımları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında, genel olarak ters orantılı bir ilişkinin varlığı söz konusudur.

Maksimum enine parçacık hızı ile kayaç örneklerinin nokta yükleme dayanımları incelendiğinde, bu iki değişken arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığından bahsetmek mümkün gözükmemektedir. Aynı şekilde boyuna maksimum parçacık hızı değerleri ile nokta yükleme dayanımı değerleri arasında da ters orantılı mümkün bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile nokta yükleme dayanımı değerleri eğriler incelendiğinde ise diğer iki bileşende olduğu gibi kuvvetli olmasa da bir ilişkinin muhtemel olduğu düşünülebilmektedir.

6.2.3. Dokuz farklı numune üzerinde yapılan titreşim değerleri

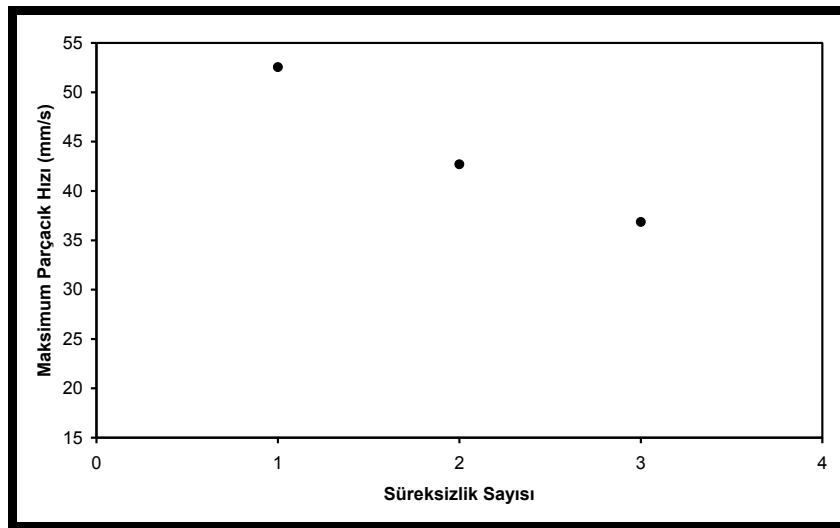
Numune hazırlama bölümünde (3.Bölüm) detaylı olarak anlatılan hazırlama işlemleri tamamlandıktan sonra, bu numuneler üzerlerinde yapay dalgalar oluşturularak maksimum parçacık hızlar ölçümleri alınmıştır. Elde edilen sayısal veriler laboratuvar

çalışmaları bölümünde çizelgeler halinde sunulmuşlardır. Elde edilen bileşke maksimum parçacık hızları verileri kullanılarak, farklı numune tipleri için bileşke maksimum parçacık hızlarının değişimleri model örnekler bazında irdelenmiştir.

Önceden de bahsedildiği gibi numuneler üzerlerinde doğada karşılaşılmaması muhtemel olan süreksizlik tipi modelleri oluşturularak testlere tabi tutulmuşlardır. Bu numuneler, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemlerli numuneler, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı süreksizlik düzlemlerli numuneler, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemlerli numuneler (düşey tabakalanmalı), farklı tabaka kalınlığına sahip numuneler ve suya doymun olan ve kuru numuneler olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

6.2.3.1. Gri Tüf-1'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-1 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemlerli numuneler (Şekil 3.12a, 3.12b) için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi sırasında süreksizlik düzlemleri sırasıyla; birinci süreksizlik, ikinci süreksizlik ve üçüncü süreksizlik sayısı olarak hazırlanmış ve her süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda ayrı ayrı titreşim ölçümleri alınmıştır. Ortalama bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği aşağıda Şekil 6.8'de sunulmuştur.

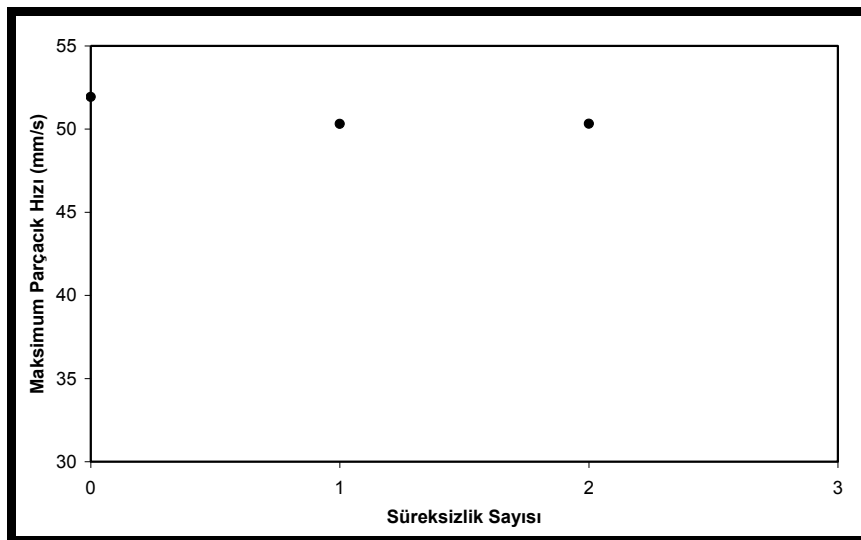


Şekil 6.8. Gri Tüf-1 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Şekil 6.8’de verilen süreksizlik sayısına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği incelendiğinde, süreksizlik sayısı arttıkça maksimum parçacık hızının azaldığı gözükmemektedir. Her bir süreksizlik düzlemi için yapılan titreşim testlerinden, bir süreksizlik sayısı ve üç süreksizlik sayısı için elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri arasında ki azalma miktarı yüzde cinsinden 29,844 olarak belirlenmiştir.

6.2.3.2. Gri Tüf-1’den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-1 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numuneler için (Şekil 3.13) gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testleri, numune hazırlama bölümünde verilen model malzemeler üzerinde yapılmıştır. İlk önce numune orijinal halindeyken test yapılmış ve veriler kaydedilmiş, sonra yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktanın sağ tarafına numune boyunca bir süreksizlik düzlemi oluşturulmuş ve yeniden titreşim testi yapılmıştır. Üçüncü ve son olarak yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktanın sol tarafına numune boyunca ikinci bir süreksizlik düzlemi oluşturulmuş ve son titreşim testi yapılarak verileri kaydedilmiştir. Bu üç farklı titreşim testinden elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri kullanılarak aşağıda Şekil 6.9’da verilen grafik elde edilmiştir.

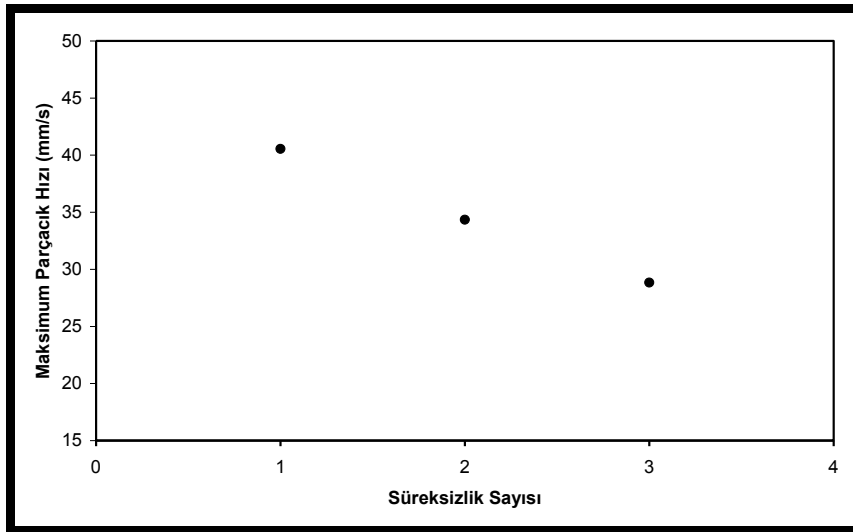


Şekil 6.9. Gri Tüf-1 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Şekil 6.9’da verilen, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel olacak şekilde oluşturulan süreksizlik düzlemlerinin sayısı ile, bileşke maksimum parçacık hızı değişimleri grafiği incelendiğinde, değer noktalarının çok büyük değişiklikler göstermediği gözlenmiştir. Değerler yaklaşık 50 mm/s olarak tespit edilmişlerdir. Sonuç olarak titreşim kaynağı ile hedef ölçüm noktası arasında bulunan birbirine paralel dik süreksizliklerin parçacık hızını dramatik bir şekilde etkilediği söylenememekte, çok düşük bir azalmanın varlığı da gözden kaçmamıştır.

6.2.3.3. Gri Tüf-1’den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-1 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı süreksizlik düzlemleri için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testleri üç ayrı süreksizlik düzlemi için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı süreksizlik düzlemleri içerecek şekilde (Şekil 3.14a, 3.14b) oluşturulan üç ayrı yapay süreksizlik düzleminin, maksimum parçacık hızları üzerindeki etkilerini tanımlayabilmek için oluşturulan grafik Şekil 6.10’da sunulmaktadır.



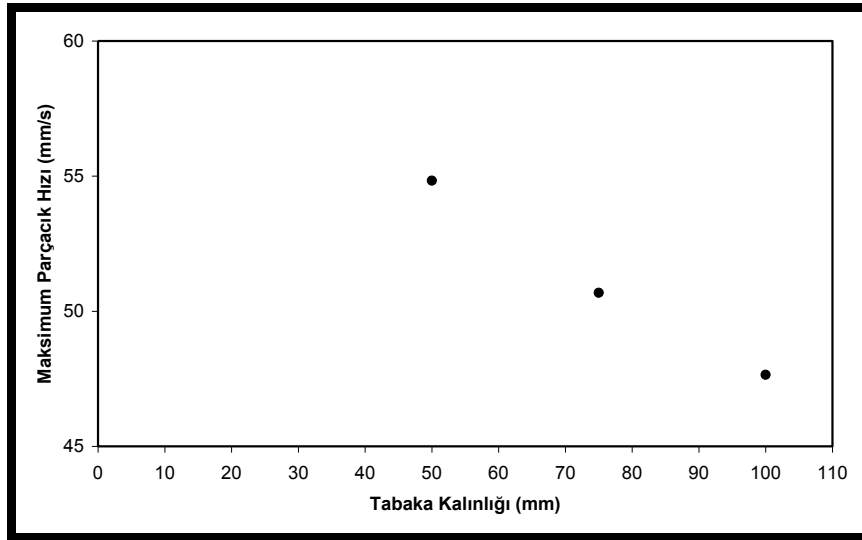
Şekil 6.10. Gri Tüf-1 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı süreksizlik düzlemleri olarak oluşturulan model numuneler üzerlerinde yapılan titreşim testleri sonucunda elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri, süreksizlik sayısı arttıkça azalmaktadır.

Süreksizlik düzlemi sayısı bir tane iken bileşke maksimum parçacık hızı 40,54 mm/s, iki tane iken 34,34 mm/s, üç tane iken ise 28,84 mm/s olarak ölçülmüştür. Buradaki genel azalma miktarı % 28,86 olarak hesaplanmıştır.

6.2.3.4. Gri Tüf-1'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-1 numuneleri üzerlerinde, farklı kalınlıktaki yatay tabakalı numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi için oluşturulan farklı tabaka kalınlıklarındaki model numuneler testlere tabii tutulmuştur. Bu testlerde ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri kullanılarak çizilen Şekil 6.11, tabaka kalınlığına bağlı parçacık hızı değişim grafiğini sunmaktadır.

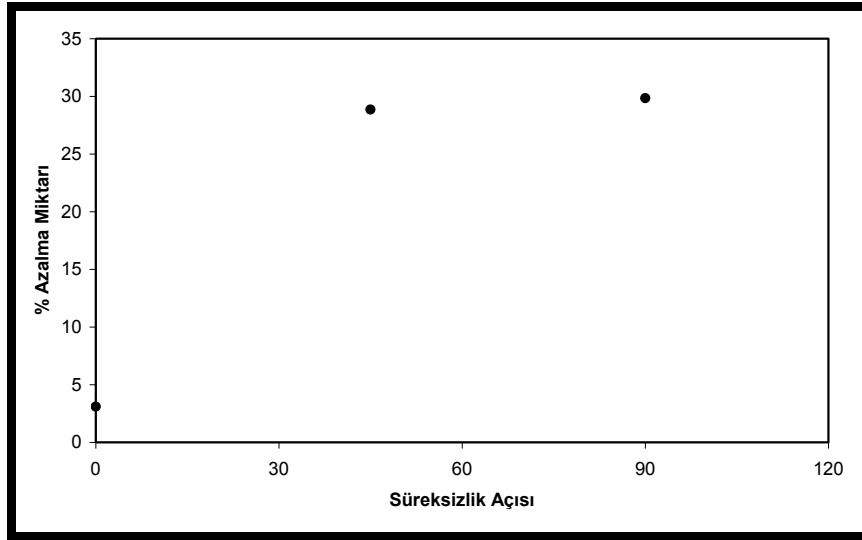


Şekil 6.11. Farklı tabaka kalınlığına bağlı olarak bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Numunelerin hazırlanması bölümünde detaylı olarak anlatıldığı gibi tabaka kalınlıkları 100 mm, 75 mm ve 50 mm olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.15a, 3.15b). Doğada karşılaşılabilecek muhtemel tabakalı yapıları simüle etmek amacıyla hazırlanan bu numunelerde tabakalar arasında, ebatları değiştirmeyecek yapay dolgu malzemeleri kullanılmıştır. Şekil 6.11'de verilen grafik incelendiğinde tabaka kalınlığı ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında ters orantılı bir değişim gözlenmektedir. Yani tabaka kalınlığı arttıkça maksimum parçacık hızları azalmakta, tabaka kalınlığı azaldıkça maksimum parçacık hızları artmaktadır.

6.2.3.5. Gri Tüf-1 numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Model numuneler olarak, doğada oluşumu muhtemel süreksizlik tiplerini simüle etmek amacıyla tasarlanan numuneler üzerinde yapılan, titreşim testleri sonuçları ve değerlendirme grafikleri yukarıda başlıklar halinde sunulmuştur. Gri Tüf-1 numunesine ait yapay dalgaların oluşturulduğu darbe noktasına dik açılı, 45° açılı ve paralel (0°) açılı numunelere uygulanan titreşim deneylerinden elde edilen sonuçların, süreksizlik sayısının artırılmasıyla yüzde cinsinden azalma miktarlarının, süreksizlik düzlemi açısına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 6.12’de verilmektedir.



Şekil 6.12. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

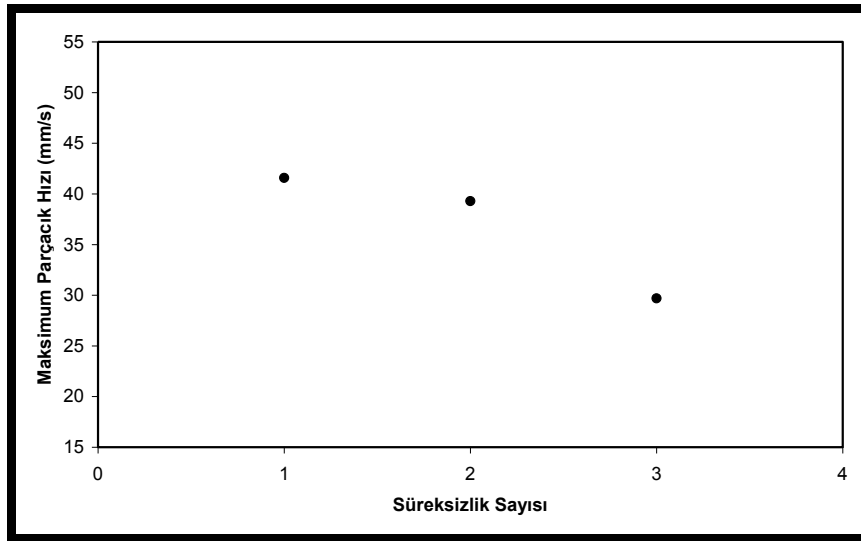
Yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilerin analizi sonucunda, en fazla % azalmanın 29,844 ile yapay titreşim dalgalarının kaynağına dik olarak oluşturulan süreksizlik tipli numune değerlerinde gözlemlenmiştir. Bunu takiben % 28,860 azalma, 45° açılı süreksizlik düzlemine sahip numuneler için ve % 3,10’luk azalma, paralel süreksizlik düzlemler için oluşmuştur.

6.2.3.6. Gri Tüf-1 numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu deneyler aynı blok numuneler üzerlerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece deneylerde aynı numunenin kullanılması sonucu kayacın heterojen yapısının etkisi bertaraf edilebilmiştir. Numuneler tam kuru ve suya doymun hale getirilerek titreşim testlerine tabi tutulmuşlardır. Gri Tüf -1 numuneleri üzerinde gerçekleştirilen bu tip testte numunenin bileşke maksimum parçacık hızı değerleri numune kuru iken 47,65 mm/s olarak belirlenmiş, numune suya doyurulduktan sonra bu değer 26,75 mm/s değerine düşmüştür. Aynı numune üzerinde iki farklı su içeriği durumunda numune değerleri arasında % 43,861'lik bir farklılaşma (suya doymun hale gelen numunede değer kaybı) meydana gelmiştir.

6.2.3.7. Gri Tüf-2'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-2 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemleri numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi sırasında, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik olarak hazırlanan süreksizlik düzlemi sayısının etkileri Şekil 6.13'de sunulmaktadır.

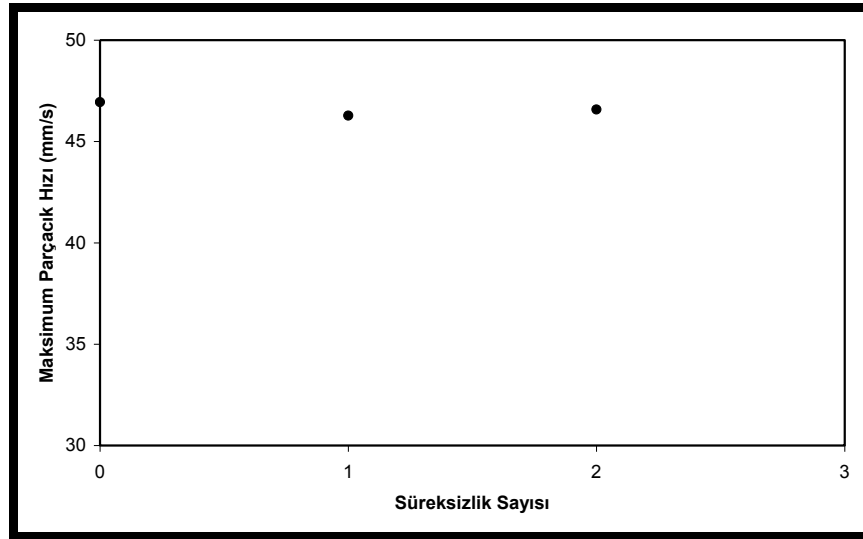


Şekil 6.13. Gri Tüf-2 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Gri Tüf-2 örneğine ait, süreksizlik sayısına bağlı bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişim grafiğine bakıldığında, süreksizlik sayısının artmasıyla birlikte bileşke maksimum parçacık hızının azaldığı gözükmemektedir. Model numune üzerine yapay olarak oluşturulan bir adet süreksizlik düzlemi mevcutken, yapılan titreşim testi ile elde edilen değer ile, süreksizlik sayısı üç adetken elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında % 28,595' lik bir değer kaybı söz konusudur.

6.2.3.8. Gri Tüf-2'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-2 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numunelerde süreksizlik düzlemleri, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktanın sağına ve soluna numune boyunca yerleştirilmiş ve bir dolgu malzemesi kullanılmıştır. Öncelikle kayaç orijinal halindeyken titreşim testi yapılmış ve değerler kayıt edilmiş, sonra darbe noktasının sağına yerleştirilen süreksizlik düzleminde sonra test yapılmış ve son olarak darbe noktasının soluna süreksizlik düzlemi yerleştirilerek titreşim testi yapılmış ve değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin her bir süreksizlik düzlemi ile ne şekilde değiştiğini belirleyebilmek için aşağıda Şekil 6.14' de verilen grafik oluşturulmuştur.



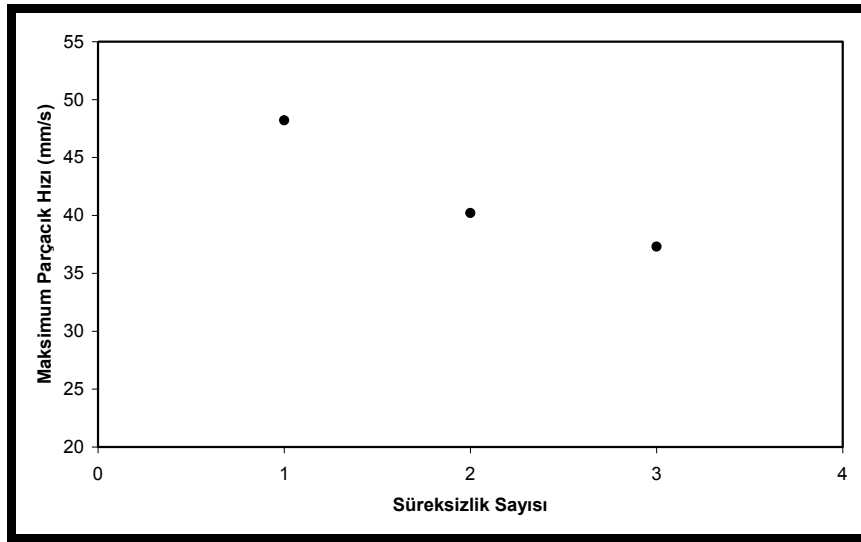
Şekil 6.14. Gri Tüf-2 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Şekil 6.14' de verilen, Gri Tüf-2 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hız değerlerinin, oluşturulan yapay süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği

incelendiğinde, bileşke maksimum hız değerlerinin çok büyük ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir. Değerlerin yaklaşık 46 mm/s civarında olduğu tespit edilmiştir.

6.2.3.9. Gri Tüf-2'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-2 numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı süreksizlik düzlemler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi, 45° açılı olarak tasarlanan süreksizlik düzlemlerinin sayısı ile, titreşim testlerinden elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin değişim grafikleriyle mümkün olmuştur (Şekil 6.15).

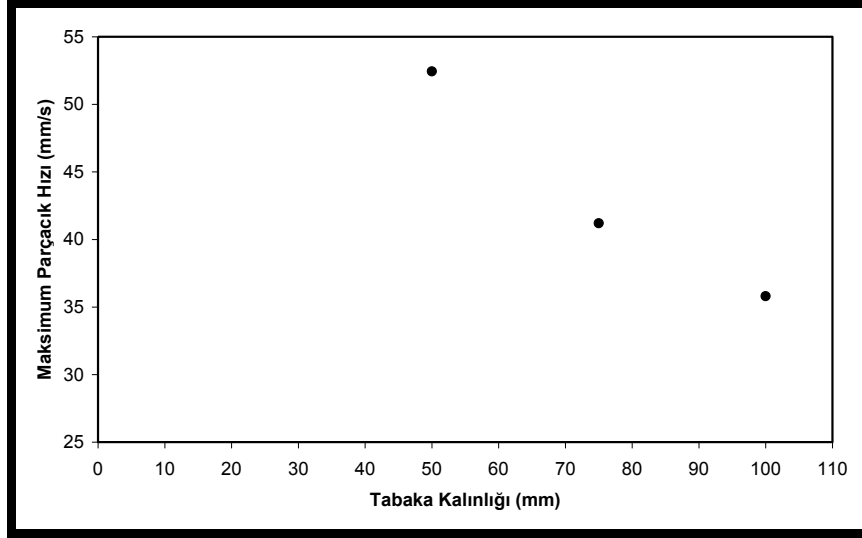


Şekil 6.15. Gri Tüf-2 numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu nokta ile aralarında 45° açı olacak şekilde tasarlanan model numunelerin, süreksizlik sayısına bağlı olarak bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki değişim grafiği irdelendiğinde, süreksizlik sayısı arttıkça bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Süreksizlik düzlemi sayısı bir taneyle elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile süreksizlik düzlemi sayısı üç taneyle elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında % 22,630' luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.

6.2.3.10. Gri Tüf-2'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Gri Tüf-2 numunesine ait farklı tabaka kalınlıklarında oluşturulan numuneler üzerlerinde yapılan titreşim testleri sonucunda maksimum parçacık hızı değerleri elde edilmiştir. Bileşke maksimum parçacık hızının farklı tabaka kalınlığına bağlı olarak değişimi Şekil 6.16' da verilen grafik ile yorumlanmaktadır.



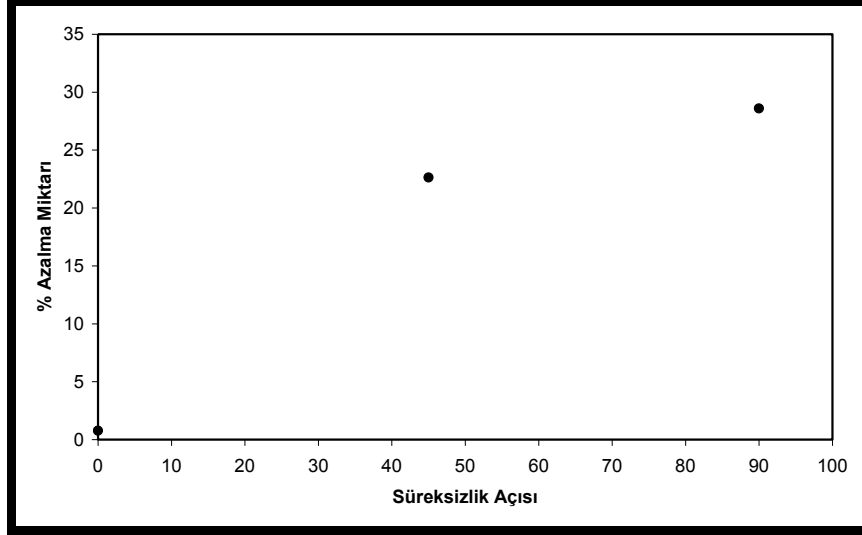
Şekil 6.16. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Grafik incelendiğinde, tabaka kalınlıklarının değiştirilmesiyle birlikte bileşke maksimum parçacık hızlarının da değiştiği gözlemlenmektedir. Bu değişim tabaka kalınlığı arttıkça azalma ve tabaka kalınlığı azaldıkça artma şeklinde olmaktadır. Yani tabaka kalınlığı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasında ters orantılı bir ilişkiden bahsedilmesi söz konusudur.

6.2.3.11. Gri Tüf-2 numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Süreksizlik sayılarının artması ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir değişimin söz konusu olduğu, süreksizlik sayısı ve maksimum parçacık hızı grafiklerinde gözlenebilmektedir. Oluşturulan süreksizlik düzlemlerinin darbe noktası ile yaptığı açının, maksimum parçacık hızı değerlerine olan etkisini belirlemek amacıyla Şekil 6.17'de sunulan grafik oluşturulmuştur. Grafiğin x-ekseni süreksizlik açısını

y-ekseni ise farklı açılı süreksizlik düzlemleri yerleştirilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim testlerinden elde edilen, maksimum parçacık hızı değerlerinin süreksizlik sayısı arttıkça % azalma miktarını temsil etmektedir.



Şekil 6.17. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

Şekil 6.17' de verilen grafik yorumlandığında yapay titreşim dalgalarının oluşturulması amacıyla darbe yapılan nokta ile süreksizlik düzlemi arasındaki açı arttıkça bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalmanın varlığı mevcuttur. Darbe noktası ile süreksizlik düzlemi arasındaki açı dik iken % azalma miktarı 28,595 dir. Bu açı 45° olarak ayarlandığında değerdeki % azalma miktarı 22,630 olarak belirlenmiştir. Süreksizlik düzlemi ile darbe noktası arasındaki açı paralel yani 0° iken ise 0,767 gibi çok küçük bir düşüş meydana gelmiştir.

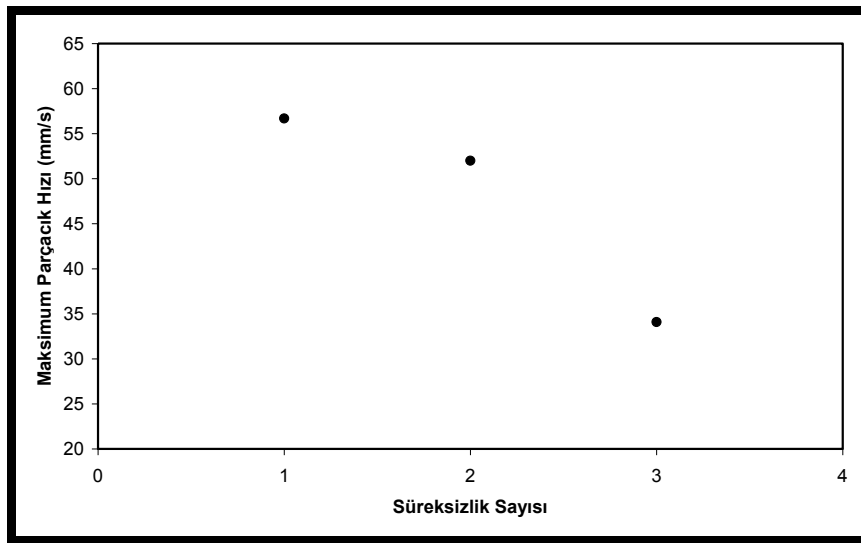
6.2.3.12. Gri Tüf-2 numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Gri Tüf- 2 kayaç örneğini temsilen hazırlanan numuneler kurutulduktan sonra titreşim testlerine tabi tutulmuşlardır. Bu testler neticesinde Çizelge 5.14' de verildiği üzere kayacın bileşke maksimum parçacık hızı değeri 35,8 mm/s olarak tespit edilmiştir. Aynı numune suya doyurulduktan sonra, tekrar aynı şartlarda titreşim testlerine tabi tutulmuş ve suya doymun numunenin bileşke maksimum parçacık hızı değeri 21,47 mm/s olarak belirlenmiştir. Yani farklı su içeriklerinde (kuru ve doymun) aynı

numuneler üzerlerinde gerçekleştirilen test neticesinde elde edilen değerler arasında % 40,28' lik bir değer değişiminin varlığı belirlenmiştir.

6.2.3.13. Sarı Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bu çalışmada kullanılan diğer bir kayaç türü olan sarı renkli tüf numunelerini temsilen ve darbe noktasına dik açılı olarak oluşturulan süreksizlik düzlemlerine sahip modeller üzerinde gerçekleştirilen titreşim değerlerinin, süreksizlik sayısına bağlı değişim grafiği aşağıda Şekil 6.18'de verildiği gibidir.



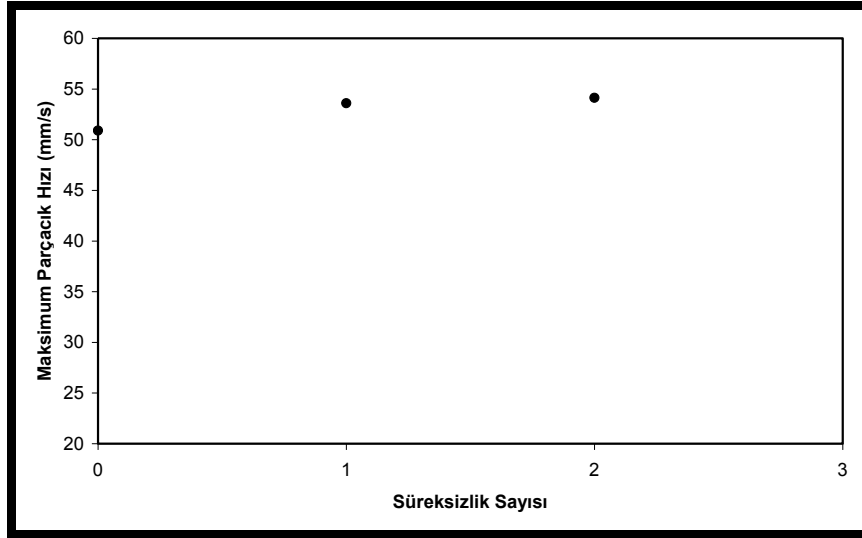
Şekil 6.18. Sarı Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Grafik ele alındığında süreksizlik sayısı ile birlikte maksimum parçacık hızı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Burada ilk süreksizlik sayısı yerleştirildiğinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile üçüncü süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra yapılan test neticesinde bulunan bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki değer kaybı % 39,884 olarak belirlenmiştir.

6.2.3.14. Sarı Tüf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Sarı Tüf numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi testlerden sonra

grafik çizilerek yapılmıştır. Sarı renkli tuf numunesine ait olan ve darbe noktasının sağına ve soluna yerleştirilen süreksizlik düzlemleriyle oluşturulan kayaç model üzerinde yapılan titreşim testi sonuçlarının kullanıldığı ve süreksizlik sayısı ile bu değerlerin değişimini gösteren grafik Şekil 6.19’da verilmektedir.

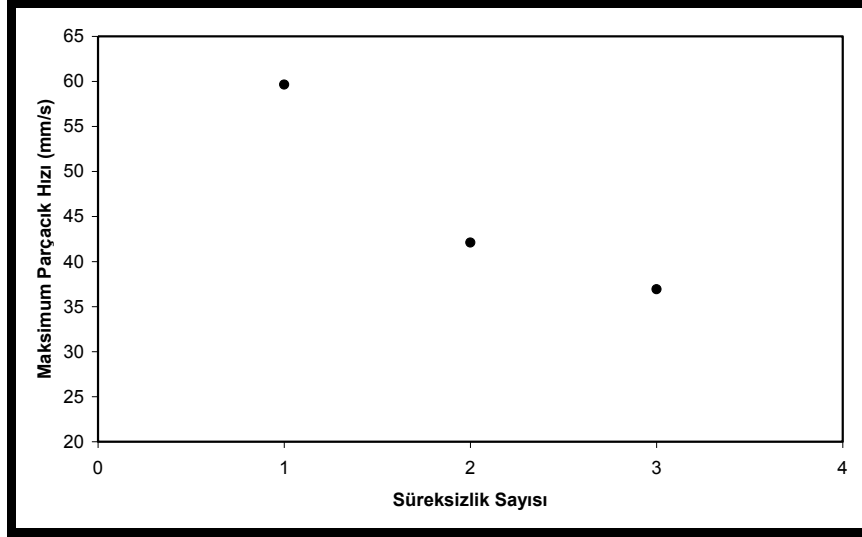


Şekil 6.19. Sarı Tuf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Sarı renkli tuf numunesine ait Şekil 6.19’deki grafik incelendiğinde bu model numuneler için maksimum parçacık hızlarında bir azalmanın söz konusu olmadığı, küçük bir değerde olsa, artışın söz konusu olduğu belirlenmiştir.

6.2.3.15. Sarı Tuf’den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

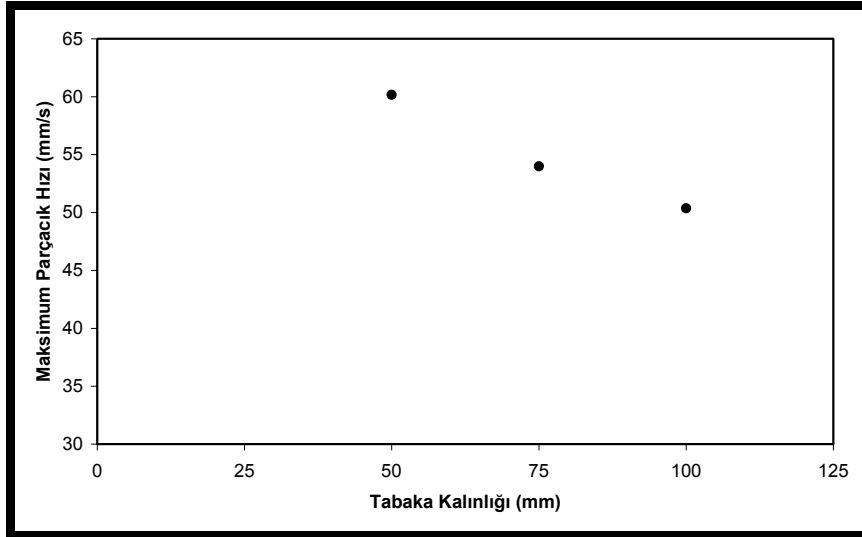
Yapay darbe noktası ile 45° açı oluşturacak şekilde süreksizlik düzlemi tasarlanan sarı renkli tuf numuneleri, her bir süreksizlik sayısı için titreşim testlerine tabi tutulmuş ve süreksizlik sayısı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişim Şekil 6.20’ de sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde sarı renkli tuf numunelerine ait her bir süreksizlik sayısı için maksimum parçacık hızı değerlerinin değişimi görülmektedir. Bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısı arttıkça, azaldığı hemen görülmektedir. Bu modele ait birinci süreksizlik için elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile üçüncü süreksizlik için elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında % 38,095’lik bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.20. Sarı Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

6.2.3.16. Sarı Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Sarı renkli tüf numunesine ait farklı tabaka kalınlıklarında yapılan titreşim testleri değerlerinin incelendiği bu başlık altında, tabaka kalınlığına bağlı olarak değerlerdeki değişim grafiği Şekil 6.21'de sunulmaktadır.



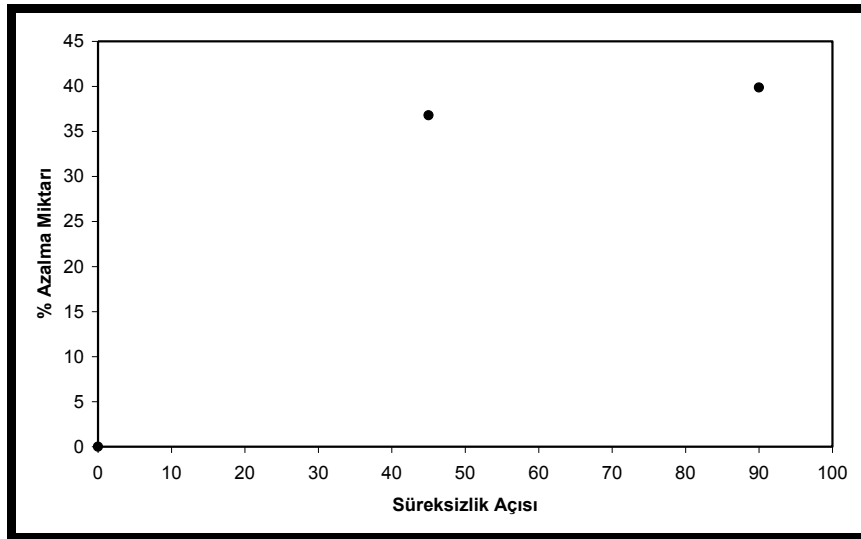
Şekil 6.21. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Sarı renkli tüf numuneleri için gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen değerlerin, farklı tabaka kalınlığında değiştiği belirlenmiştir. Tabaka kalınlığı 100 mm iken ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değeri 50,36 mm/s ölçülmüştür. Tabaka

kalınlığı 75 mm olduğunda ve tabakalar arasına bir dolgu malzemesi yerleştirildiğinde bu değer 53,99 mm/s değerine ulaşmıştır. Aynı şekilde tabaka kalınlığı 50 mm olarak ayarlandığında ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 60,16 mm/s değerine arttığı tespit edilmiştir. Yani bu örnekte tabaka kalınlığı ile ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığından bahsetmek mümkündür.

6.2.3.17. Sarı Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Yukarıda sarı renkli tüf numunesine ait diğer başlıklar altında ayrıntılı olarak değinilen model numunelerinden elde edilen % azalma miktarı sonuçları kullanılarak, farklı süreksizlik düzlemi açılarında ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin ne şekilde değiştiğini belirlemek amacıyla Şekil 6.22'deki grafik oluşturulmuştur. Bu grafikte, sarı tüf numunesine ait ve değişik açılardaki süreksizlik düzlemlerine sahip modellerin üzerlerinde gerçekleştirilen titreşim testi sonuçları işlenmiştir.



Şekil 6.22. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

Süreksizlik açısına bağlı olarak değişim tespit edilirken her bir süreksizlik modelinde yapılan testler sonucu elde edilen ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki % azalma miktarları grafiğin y-eksenini oluşturmaktadır. Buna göre, en

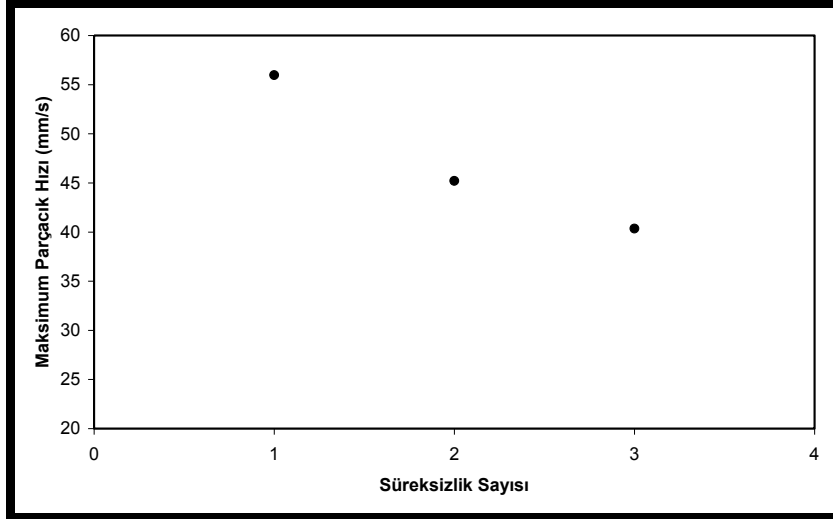
büyük azalma, süreksizlik açısı, darbe noktasına dik olarak hazırlanan numuneler olarak tabir edilen model numunelerde gerçekleşirken, en düşük azalma darbe noktasının sağına ve soluna numune boyunca yerleştirilen süreksizlik düzlemi, yani düşey tabakalanmalı model numunelerde gerçekleşmiştir.

6.2.3.18. Sarı Tüf numuneleri için, kuru ve suya doygun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Sarı renkli tüf numunelerini temsilen hazırlanan 50x15x10 cm ebadındaki numuneler üzerinde kuru ve suya doygunken yapılan titreşim testi sonuçlarında büyük değişiklikler kaydedilmiştir. Numuneler tam kuru iken numuneye ait ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değeri 50,36 mm/s olarak bulunmuştur. Aynı numune suya doyurulduktan sonra tekrar titreşim testine tabi tutularak yeni bileşke maksimum parçacık hızı değerleri tespit edilmiştir. Numune suya doygunken elde edilen yeni bileşke maksimum parçacık hızı değeri 35,18 mm/s olarak belirlenmiştir. Değerler arasında % 30,143'lük bir kayıp söz konusudur.

6.2.3.19. Siyah Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

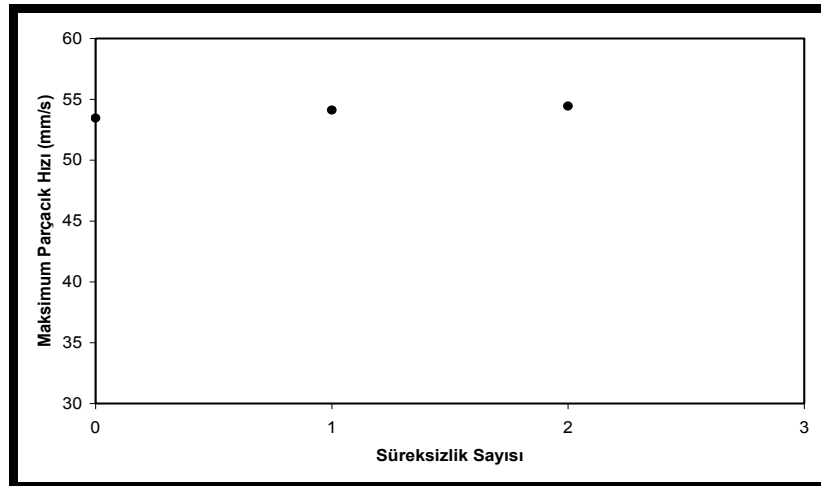
Siyah Tüf numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemlerli numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi; bu süreksizlik düzlemlerinin sayısı ile bileşke maksimum parçacık hızı değişim değerleri grafiğinin incelenmesiyle (Şekil 6.23) yapılmıştır. Siyah renkli tüf numunesi üzerinde oluşturulan süreksizlik düzlemleri sonrasında yapılan titreşim testlerinden elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri süreksizlik sayısının artmasıyla azalmaktadır. Numune üzerine bir adet süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda bileşke maksimum parçacık hızı 55,97 mm/s olarak ölçülmüştür. Süreksizlik sayısı iki adet oluşturulduğuna bu değer 45,21 mm/s, süreksizlik sayısı üç olarak oluşturulduğunda ise 40,35 mm/s olarak belirlenmiştir. Yani numune üzerine bir adet yapay süreksizlik oluşturulduğunda elde edilen değer ile üç adet süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda elde edilen değer arasında % 27,908' lik bir azalma söz konusu olmuştur.



Şekil 6.23. Siyah Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

6.2.3.20. Siyah Tüf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Siyah renkli tüf numuneleri üzerlerinde yapay darbelerin oluşturulduğu noktaya 0° açılı olan yani düşey tabakalı model numuneler üzerlerinde yapılan testler neticesinde bileşke maksimum parçacık hızının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim değerlerinin işlendiği grafik Şekil 6.24'de sunulmaktadır.



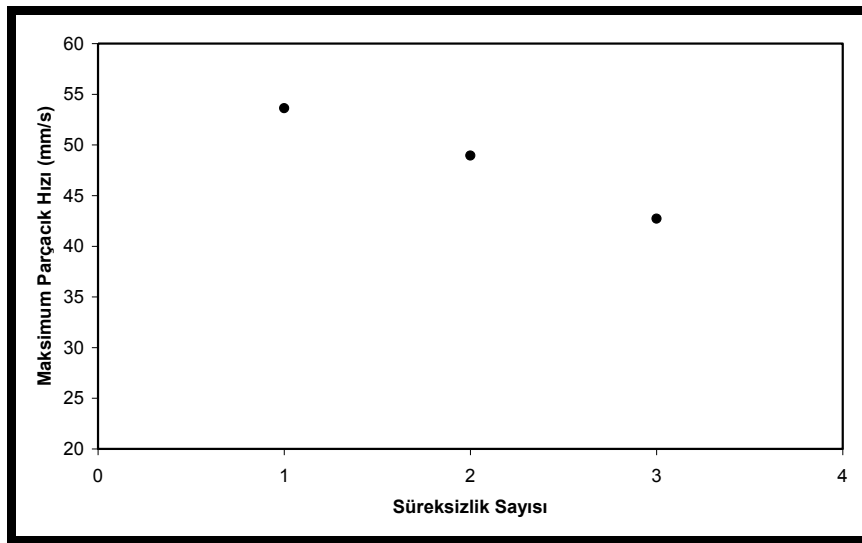
Şekil 6.24. Siyah Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Siyah renkli tüf numunesinde de sarı renkli tüf numunesinde olduğu gibi 0° lik süreksizlik sayısı arttıkça değerinde çok fazla olmayan bir artış söz konusudur. Bileşke

maksimum parçacık hızı değeri her bir süreksizlik düzlemi için yaklaşık 54,00 mm/s civarındadır.

6.2.3.21. Siyah Tüf'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Siyah renkli tüf numuneleri üzerinde yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya 45° açılı olarak tasarlanan model numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve bu deneylerin sonuçlarının her bir süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği aşağıda Şekil 6.25' de sunulmuştur.



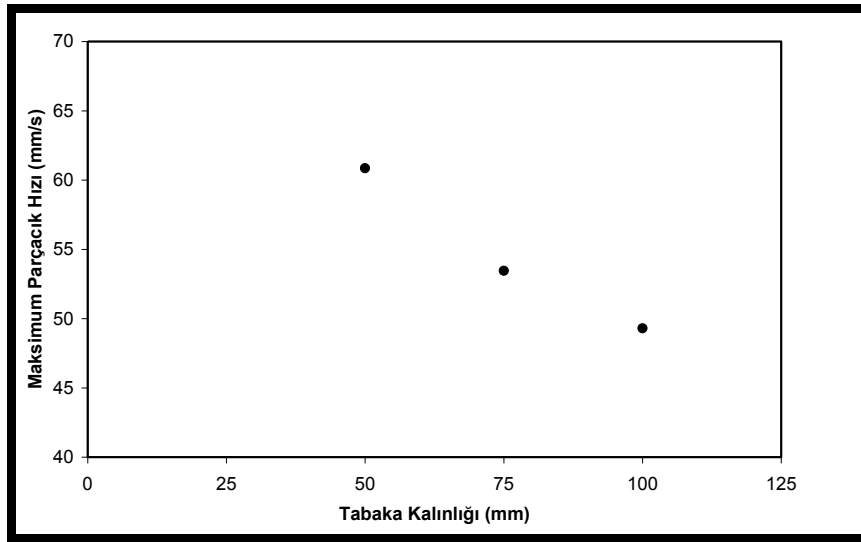
Şekil 6.25. Siyah Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

Siyah renkli tüf numunesi üzerinde oluşturulan 45° açılı süreksizlik düzlemlerinin her biri oluşturulduktan sonra yapılan titreşim testlerinde, numuneye ait maksimum parçacık hızları kayıt edilmiştir. İlk süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra bileşke maksimum parçacık hızının 53,62 mm/s olduğu belirlenmiştir. Birinci süreksizlik düzleminin 10 cm ilerisine ikinci bir 45° açılıya sahip yeni süreksizlik düzlemi oluşturulmuş ve bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 48,95 mm/s'ye düştüğü belirlenmiştir. Son olarak ikinci süreksizlik düzleminin 10 cm ilerisine üçüncü bir süreksizlik düzlemi yerleştirilmiş ve bu numune için nihai bileşke maksimum parçacık hızı değeri kayıt edilmiştir. Üçüncü süreksizlik düzlemi ile bu değer 42,72

mm/s değerine gerilemiştir. Süreksizlik sayısıyla birlikte bileşke maksimum parçacık hızı değerinde % 20,328'lik bir değer kaybı meydana gelmiştir.

6.2.3.22. Siyah Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Siyah Tüf numuneleri üzerlerinde, farklı kalınlıktaki yatay tabakalı numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesinde, sırasıyla 100 mm, 75 mm ve 50 mm tabaka kalınlıklı olarak tasarlanan tabakalı modeller kullanılmıştır. Bu örneklerden elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin tabaka kalınlığı ile değişim grafiği Şekil 6.26'daki gibidir.

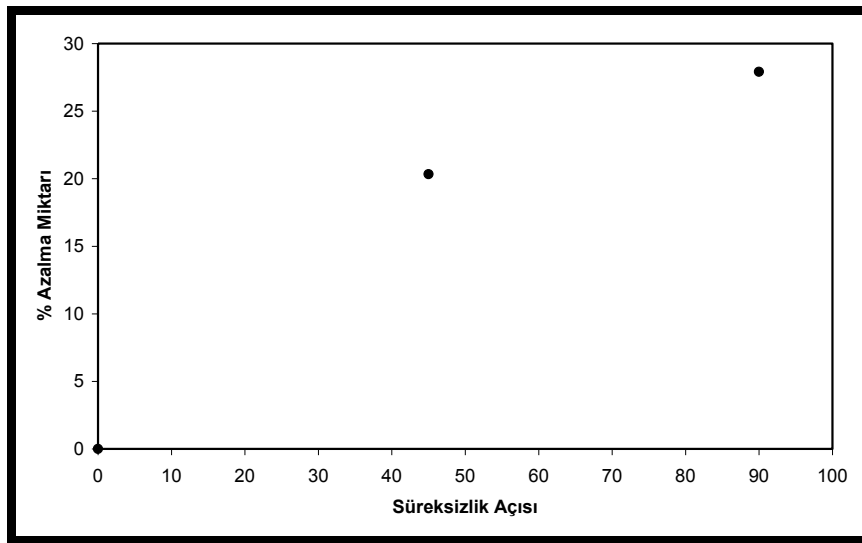


Şekil 6.26. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi tabaka kalınlığının artmasıyla siyah renkli tüf numunelerine ait bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir düşüşün olduğu belirlenmiştir. Siyah renkli tüf numunesinin bileşke maksimum parçacık hızı, tabaka kalınlığı 100 mm iken 49,30 mm/s olarak ölçülmüştür. Tabaka kalınlığı 75 mm'ye düşürüldüğünde parçacık hızı değeri 53,45 mm/s değerine ulaşmıştır. Son olarak tabaka kalınlığı 50 mm olarak hazırlandığında ise bileşke maksimum parçacık hızı değeri 60,85 mm/s olarak ölçülmüştür. Burada 100 mm tabaka kalınlığında elde edilen değer ile 50 mm tabaka kalınlığında elde edilen değer arasında % 18,981' lik bir fark söz konusudur.

6.2.3.23. Siyah Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Yapay darbelerin oluşturulduğu noktaya dik açılı, 45° açılı ve 0° açılı olarak tabir edilen numuneler üzerlerinde yapılan testler ve bu testler sonucunda bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde ki değişimler her bir numune cinsine göre irdelenmektedir. Siyah renkli tüf numunesinin açı değişimlerine bağlı olarak bileşke maksimum parçacık hızlarının % cinsinden azalma miktarları kullanılarak oluşturulan grafik, Şekil 6.27' de sunulmaktadır.



Şekil 6.27. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

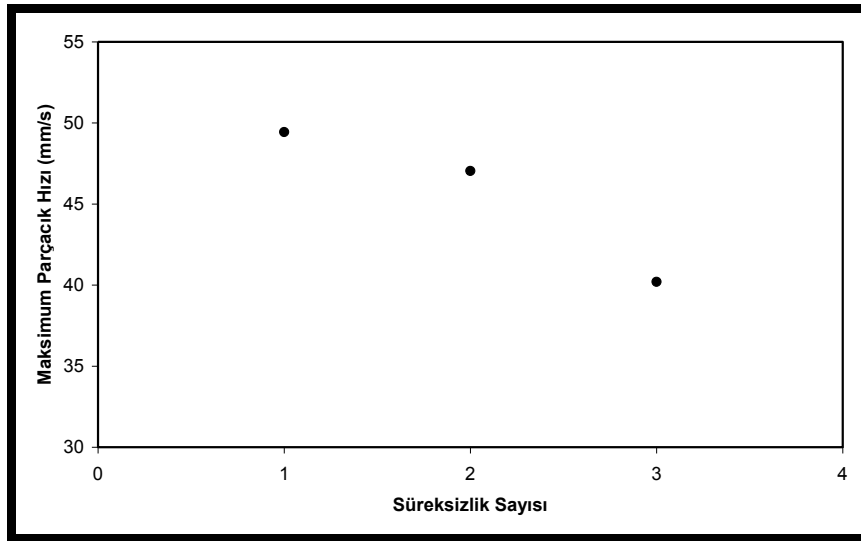
Grafik incelendiğinde süreksizlik açısındaki değişimle, % azalma miktarının da değiştiği gözlemlenmektedir. En büyük bileşke maksimum parçacık hızındaki azalma, süreksizlik açısı 90° olduğunda gerçekleşmiştir. Bunun tersine süreksizlik açısı değeri 0° iken her hangi bir azalma miktarı olmadığı gibi çok düşük bir oranda artış meydana gelmiştir. Açı 45° iken meydana gelen % azalma miktarı ise 90° lik açı değerindekinden daha düşük bir değerdedir.

6.2.3.24. Siyah Tüf numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Siyah renkli tüf numunelerini temsilen hazırlanan örnekler üzerinde numune kuru iken ve suya doymunken titreşim testleri yapılmış ve kayacın maksimum parçacık hızının sulu ve kuru ortamda ne şekilde değişim gösterdiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Siyah renkli tüf numunesi kuru iken yapılan test neticesinde bileşke maksimum parçacık hızı değeri 49,3 mm/s olarak kaydedilmiştir. Aynı numune suya doyurulduktan sonra tekrar titreşim testine tabi tutulmuş ve doymun numunenin bileşke maksimum parçacık hızı değeri 21,48 mm/s olarak belirlenmiştir. Kuru ve suya doymun olarak yapılan bu deneyler neticesinde elde edilen değerler arasındaki fark % 56,430 olarak tespit edilmiştir.

6.2.3.25. Pembe Tüf'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve her biri fiziksel ve mekanik özellikler bakımından birbirinden farklı olan numunelerden bir tanesi olan pembe renkli tüf numuneleri üzerlerinde tasarlanan yapay süreksizliklerin sayısının artmasıyla birlikte, numuneye ait maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişim grafiği aşağıda Şekil 6.28'de verildiği gibidir.

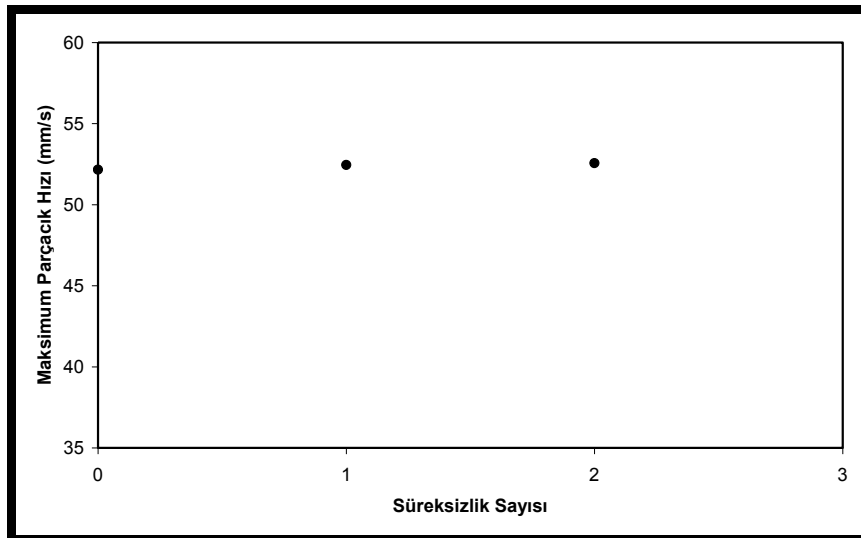


Şekil 6.28. Pembe Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Pembe renkli tf numunesine ait 90° açılı süreksizlik düzlemi sayısının artırılması ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin değişim grafiğine göre, süreksizlik sayısı bir tane iken 49,44 mm/s olan bileşke maksimum parçacık hızı, süreksizlik düzlemi iki taneye çıkarıldığında 47,67 mm/s değerine dmtr. Süreksizlik sayısı tekrar artırıldığında ise örneğe ait bileşke maksimum parçacık hızı değeri 40,2 mm/s olarak llmtr. İlk değerle son değer arasında % 18,689'luk bir değer kaybı söz konusu olmuştur.

6.2.3.26. Pembe Tf'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Pembe Tf numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemlili (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi için elde edilen grafik aşağıda Şekil 6.29' da sunulmaktadır.

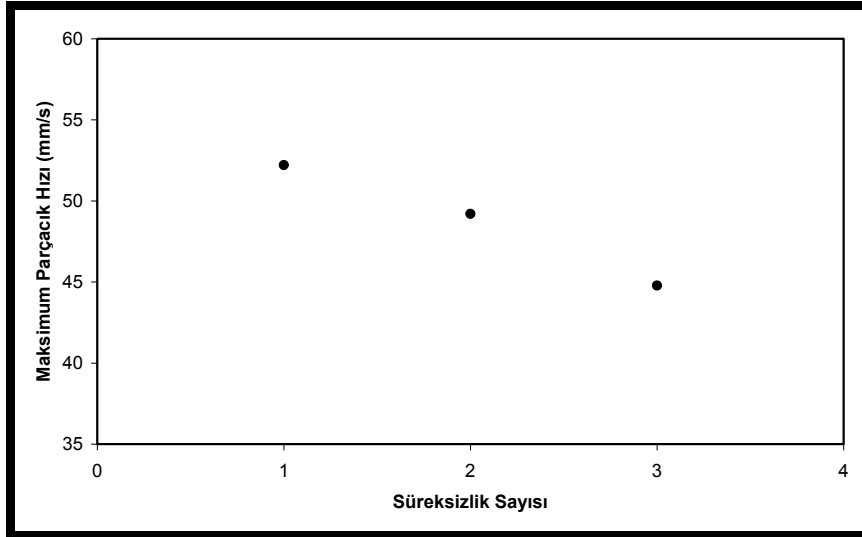


Şekil 6.29. Pembe Tf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Diğer örneklerde de olduğu gibi pembe renkli tf numunesinde de bu tip süreksizlik sayısı artırıldığında numuneye ait maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalmanın olmadığı tespit edilmiştir. Azalmanın aksine bu model numunelerde ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde küçük bir artış meydana gelmiştir.

6.2.3.27. Pembe Tüf'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Pembe renkli numuneler üzerinde 45° 'lik bir açı ile oluşturulan süreksizlik düzlemleri için yapılan titreşim testleri sonucunda bulunan bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin, süreksizlik sayısının artırılmasıyla birlikte ne şekilde değiştiğini ifade eden grafik Şekil 6.30' da sunulmaktadır.

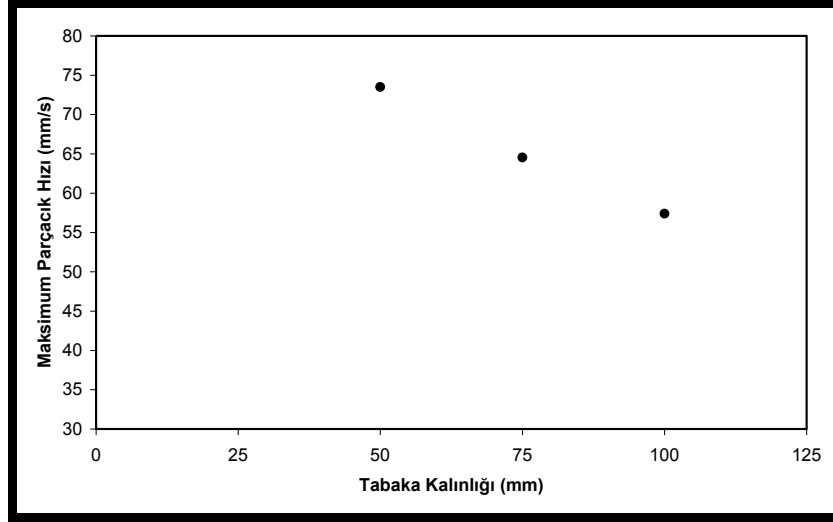


Şekil 6.30. Pembe Tüf numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

Grafik incelendiğinde 90° açılı süreksizlik düzlemleri numunelerde olduğu gibi 45° açılı numunelerde de süreksizlik sayısının artırılmasıyla bir düşüşün gerçekleştiği gözükmektedir. Burada süreksizlik sayısı bir taneyken $52,21 \text{ mm/s}$ olarak belirlenen maksimum parçacık hızı değeri, süreksizlik sayısı iki taneyken $49,2 \text{ mm/s}$ 'ye ve son olarak süreksizlik sayısı üç taneyken ise $44,78 \text{ mm/s}$ değerine gerilemiştir. Değerlerdeki 90° açılı süreksizlik düzlemi ve 45° açılı süreksizlik düzlemlerinin her ikisinde de bir düşüş gerçekleşmiş, ancak 90° açılı süreksizlik düzlemleri numunelerde % azalma miktarı $\%18,69$ iken, 45° açılı süreksizlik düzlemlerinde elde edilen değerlerdeki azalma miktarı $\% 14,23$ olarak belirlenmiştir.

6.2.3.28. Pembe Tüf'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Pembe renkli tüf numunesi farklı tabaka kalınlıklarında kesilmiştir. Kesilen her bir tabaka arasına dolgu malzemesi yerleştirilmiş ve titreşim testleri yapılmıştır. Testler neticesinde elde edilen değerlerin tabaka kalınlığı ile nasıl bir değişim gösterdiği Şekil 6.31' de verilen grafikte sunulmaktadır.

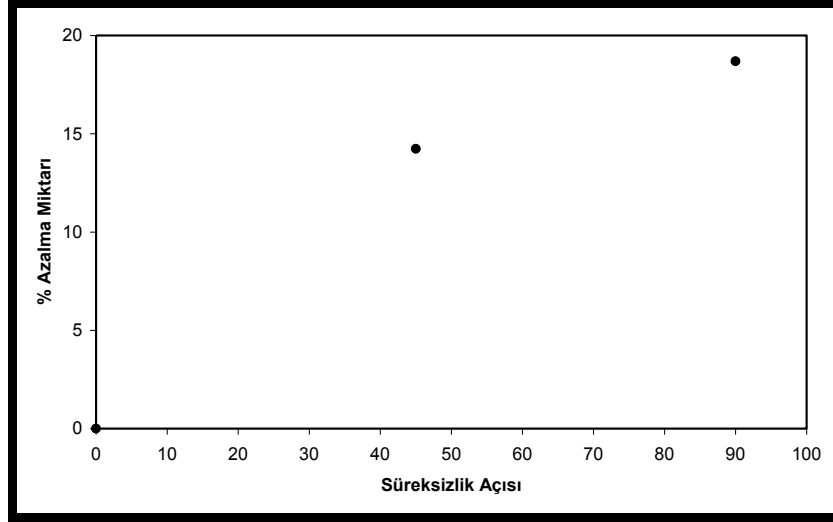


Şekil 6.31. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Elde edilen grafiğe bakıldığında pembe renkli tüf numunelerin tabaka kalınlığının artırılmasıyla birlikte bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Tabaka kalınlığı 100 mm olduğunda 57,39 mm/s olan bileşke maksimum parçacık hızı değeri 75 mm kalınlıklı tabakada 64,54 mm/s ve 50 mm kalınlığında ise 73,51 mm/s olarak ölçülmüştür.

6.2.3.29. Pembe Tüf numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Yukarıda bahsedildiği gibi numune üzerine farklı açılar kullanılarak yerleştirilen yapay süreksizliklerin sayısı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin azaldığı tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra pembe renkli tüfler üzerinde yapılan deneylerle, farklı açılarda yerleştirilen bu süreksizlerin düzlemlerin maksimum parçacık hızı değerlerindeki etkisini görselleştirmek amacıyla, Şekil 6.32'de verilen süreksizlik açısı ile açığa bağlı % azalma miktarı grafiği sunulmuştur.



Şekil 6.32. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

Süreksizlik açısına bağlı olarak bileşke maksimum parçacık hızında meydana gelen değişimleri tanımlamak amacıyla oluşturulan grafik incelendiğinde açı 90° olarak yerleştirilen süreksizlik düzlemleri model numunelerdeki azalma miktarının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Süreksizlik düzlemi ile darbe noktası arasındaki açı 45° olduğunda yine bir azalmanın söz konusu olduğu, ancak bu azalma miktarının 90° açılı olarak yerleştirilen süreksizlik düzlemleri kadar yüksek olmadığı gözükmemektedir. Açı 0° iken yani düşey tabakalı numunelerde ise azalmanın hiç olmadığı, bunun aksine küçük bir miktar artış meydana geldiği belirlenmiştir.

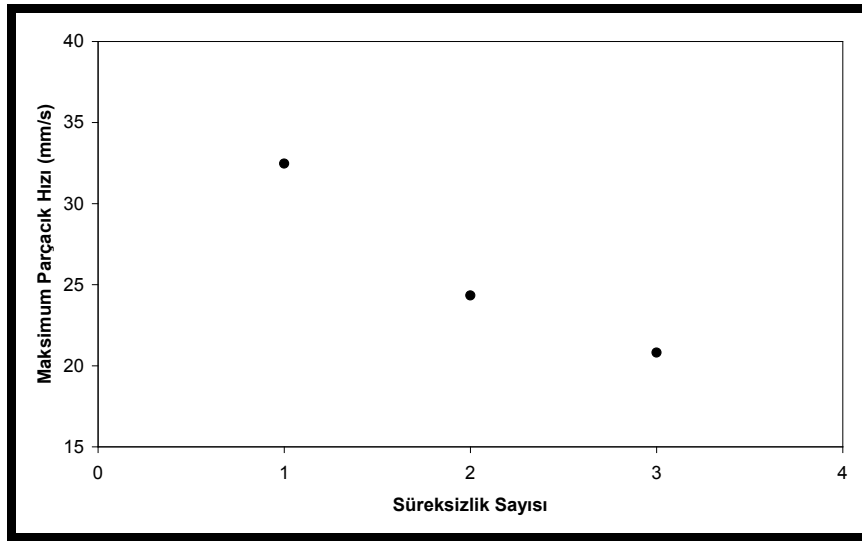
6.2.3.30. Pembe Tüf numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Pembe renkli tüf numunelerinden hazırlanan örnekler üzerinde numune kuru iken ve suya doymunken titreşim testleri yapılmış ve sulu ve kuru ortamda kayacın maksimum parçacık hızı değerlerindeki meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. Pembe renkli tüf numunesi kuru iken yapılan test neticesinde bileşke maksimum parçacık hızı değeri $57,39$ mm/s olarak tespit edilmiştir. Aynı numune suya doyurulduktan sonra tekrar titreşim testine tabi tutulmuş ve doymun numunenin bileşke maksimum parçacık hızı değeri $26,17$ mm/s olarak belirlenmiştir. Numune kuru iken yapılan titreşim testi neticesinde bulunan bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile

numune suya doymun iken yapılan titreşim testi neticesinde bulunan bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında % 54,40'lık bir değer kaybının olduğu tespit edilmiştir.

6.2.3.31. Traverten-KRM'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bu çalışmaya örnek teşkil eden ve farklı bir oluşuma sahip olan traverten türü kayalardan, Traverten-KRM olarak adlandırılan numuneler üzerinde titreşim testleri yapılmıştır. Tıpkı tuf numunelerinde olduğu gibi aynı sistem ve düzende yapılan titreşim testleri neticesinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin artırılan süreksizlik sayısına bağlı değişimi incelenmiştir. Şekil 6.33'de Traverten-KRM numunesine ait 90° süreksizlik düzlemleri modellenen elde edilen bileşke maksimum parçacık hızının süreksizlik sayısıyla değişim grafiği verilmektedir.



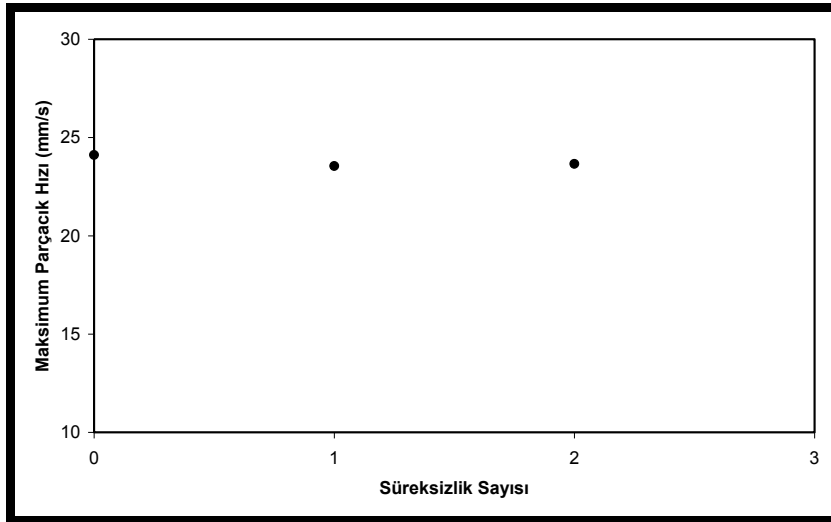
Şekil 6.33. Traverten-KRM numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Örnek olarak seçilen Traverten-KRM numunelerinin bileşke maksimum parçacık hızı değerleri süreksizlik sayısı artırıldıkça azalmaktadır. Grafik incelendiğinde süreksizlik sayısı bir taneyken ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 32,47 mm/s olduğu belirlenmiştir. Aynı numune üzerinde birinci süreksizlik düzleminin 10 cm uzağına aynı şartlarda ikinci bir süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 24,33 mm/s'ye gerilediği ve son olarak üçüncü bir süreksizlik düzlemi oluşturulduğuna ise bu değerinin 20,81 mm/s olduğu tespit edilmiştir.

Yani birinci süreksizlik düzlemi ile üçüncü süreksizlik düzleminde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasında % 35,910'luk bir değer kaybı gözlemlenmiştir.

6.2.3.32. Traverten-KRM'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-KRM numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi; ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin süreksizlik sayısına bağlı değişim grafiğinin (Şekil 6.34) elde edilmesinden sonra yapılmıştır.

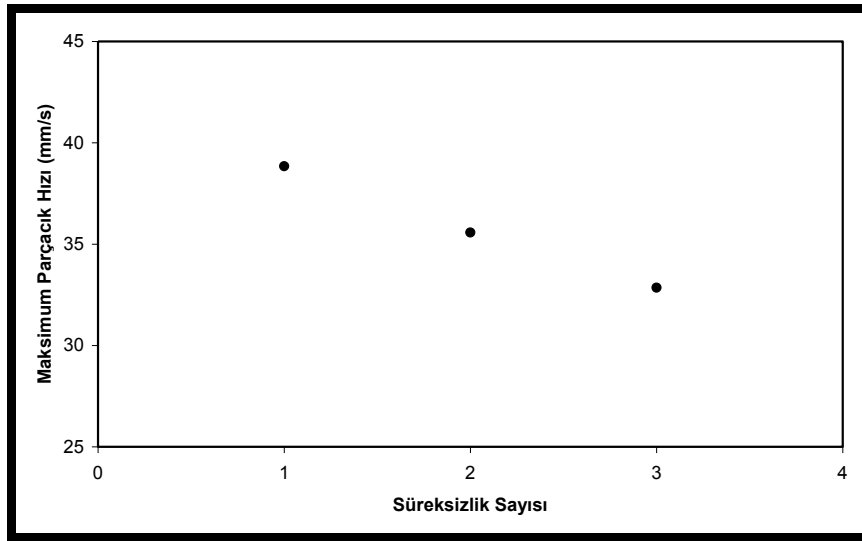


Şekil 6.34. Traverten-KRM numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Grafikten de görüldüğü gibi süreksizlik sayısının artırılması ile birlikte numuneye ait bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde çok fazla bir değişiklikten bahsetmek mümkün gözükmemektedir. Burada kayaç orjinal boyutundayken ($50 \times 15 \times 10$ cm) elde edilen bileşke maksimum parçacık değeri ile süreksizlik sayısı iki adetken elde edilen değer arasındaki azalma %1,866 olarak belirlenmiştir.

6.2.3.33. Traverten-KRM'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-KRM örnekleri üzerine 45°'lik açılarla yerleştirilen üç adet süreksizlik düzlemleri model olarak tasarlanmıştır. Her bir süreksizlik düzlemi yerleştirildikten sonra, numune titreşim testlerine tabi tutulmuş ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri kaydedilmiştir. Bu değerlerin süreksizlik sayısı ile değişimini gösteren grafik Şekil 6.35'deki gibidir. Grafik incelendiğinde süreksizlik sayısının artmasıyla birlikte bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Her bir süreksizlik düzlemi için ayrı ayrı yapılan testler neticesinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri, süreksizlik sayısı bir taneyken 38,84 mm/s, süreksizlik sayısı üç taneye çıkarıldığında 32,85 mm/s değerine düşmüştür. Burada değer kaybı % 15,422 olarak tespit edilmiştir.

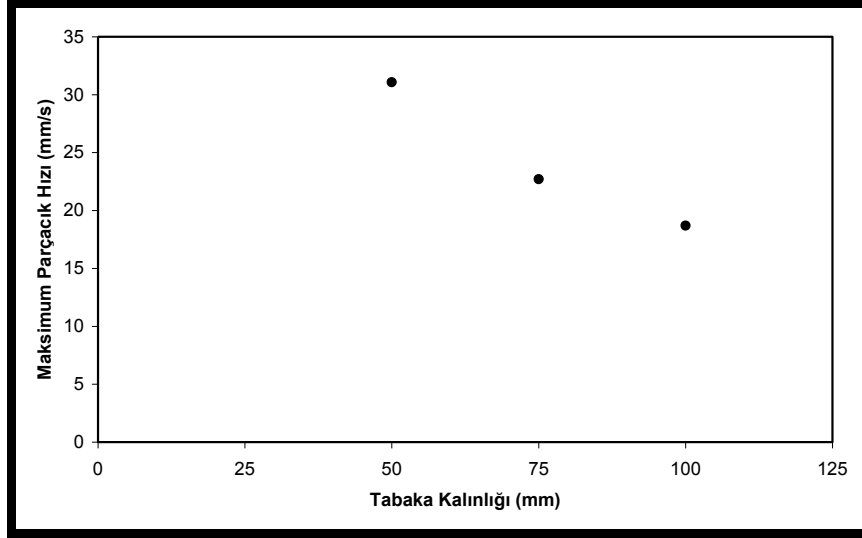


Şekil 6.35. Traverten-KRM numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

6.2.3.34. Traverten-KRM'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Numune hazırlama bölümünde detaylı olarak anlatıldığı şekilde hazırlanan farklı tabaka kalınlığına sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim testlerinin tabaka kalınlığına bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 6.36). Tabaka kalınlıkları ile

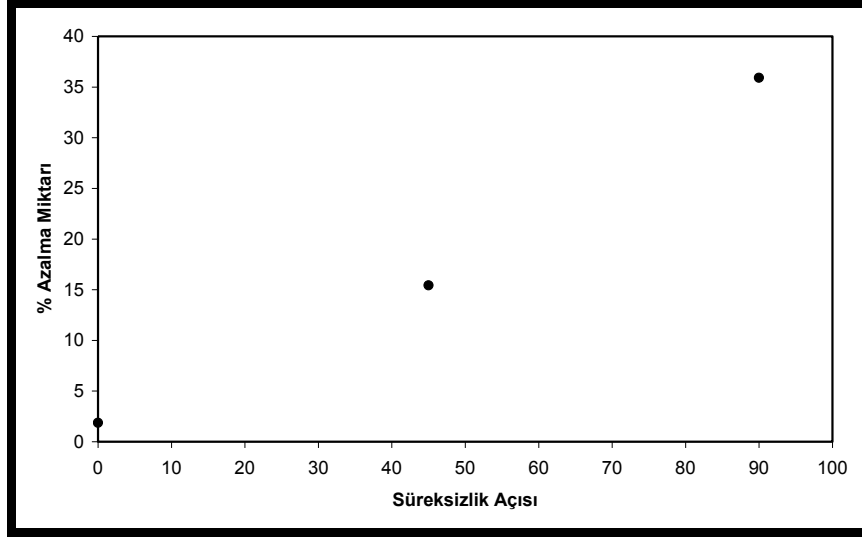
bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan grafik incelendiğinde, 100 mm olarak seçilen tabak kalınlığında bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 18,69 mm/s olduğu belirlenmiştir. Tabaka kalınlığı 75 mm kalınlığına indirildiğinde bileşke maksimum parçacık hızı değeri 22,70 mm/s ölçülmüştür. 50 mm'lik tabaka kalınlığında ise bileşke maksimum parçacık hızı değerinin 31,08 değerine ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 6.36. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

6.2.3.35. Traverten-KRM numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Süreksizlik düzlemlerinin numune üzerine yerleştirilme açılarının değişimi ile, ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri de değişmektedir. Değerlerdeki bu değişim aşağıdaki grafikte sunulmaktadır (Şekil 6.37).



Şekil 6.37. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

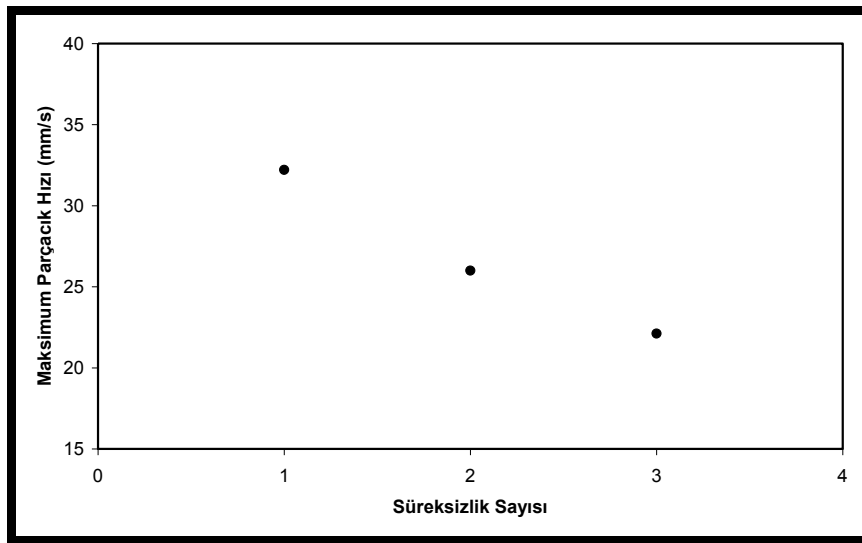
Traverten-KRM numunesi üzerinde oluşturulan süreksizlik açılarının değiştirilmesi ile, ölçülen bileşke maksimum parçacık hızları değerlerindeki değişim her bir açısal değişim için % azalma miktarı olarak hesaplanmış ve Şekil 6.37’ de sunulmuştur. Grafiğe göre darbe noktası ile süreksizlik düzlemi arasındaki açı 90° iken azalma miktarı % 35,910 olarak, bu açı 45° iken azalma miktarı % 15,422 olarak ve 0° iken azalma miktarı % 1,866 olarak hesaplanmıştır.

6.2.3.36. Traverten-KRM numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Traverten-KRM numunesine ait kayaç örneğinde bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin, numunenin kuru ve suya doymun durumlarında ki değişiminin belirlenmesi için bir seri titreşim testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu testler neticesinde kuru haldeki Traverten-KRM numunelerinin ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değerleri 18,69 mm/s olarak belirlenmiştir. Numune kuru haldeyken ölçümlerin alındığı numune suya doyurulduktan sonra tekrar standart titreşim testlerine tabi tutulmuş ve doymun numunenin ortalama bileşke maksimum hızı değerinin 12,86 mm/s değerine düştüğü tespit edilmiştir. Burada iki farklı şarttaki numune için bileşke maksimum parçacık hızındaki değer kaybı % 31,193’tür.

6.2.3.37. Traverten-GDN'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-GDN numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemleri için maksimum parçacık hızı testleri yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen ikinci tür traverten örneği, Traverten-GDN üzerinde yapılan yapay süreksizlik düzlemlerinin sayılarının artırılması ile örneğe ait bileşke maksimum parçacık hızlarının değişimini gösteren grafik aşağıda verilmektedir (Şekil 6.38).

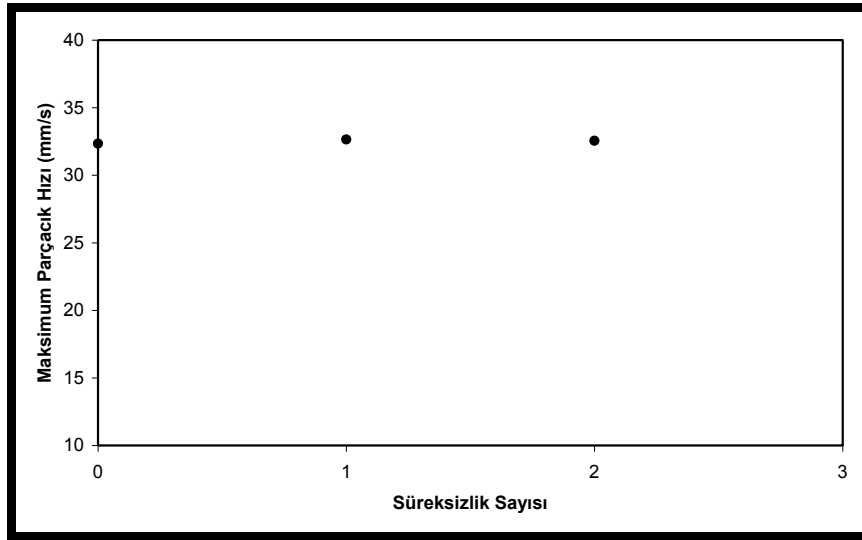


Şekil 6.38. Traverten-GDN numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Traverten-GDN numunesine ait süreksizlik sayısı-maksimum parçacık hızı grafiği incelendiğinde diğer örneklerde olduğu gibi süreksizlik sayısının artırılması ile maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bu örnek için 90° açılı olarak yerleştirilen yapay süreksizlik sayısı bir taneyken bileşke maksimum parçacık hızı değeri 32,21 mm/s olarak ölçülmüştür. Süreksizlik sayısı ikiye çıkarıldığında bileşke maksimum parçacık hızı değeri 26,00 mm/s ve son olarak yapay süreksizlik sayısı üçe çıkarıldığında ise bileşke maksimum parçacık hızı değeri 22,11 mm/s değerine düşmüştür. Birinci süreksizlik düzlemi ile elde edilen maksimum parçacık hızı değeri ile üçüncü süreksizlik düzlemi yerleştirildikten sonra elde edilen değer arasında % 31,357'lik bir değer kaybı oluşmuştur.

6.2.3.38. Traverten-GDN'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-GDN numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı test sonuçları aşağıdaki grafikte sunulmuştur (Şekil 6.39).

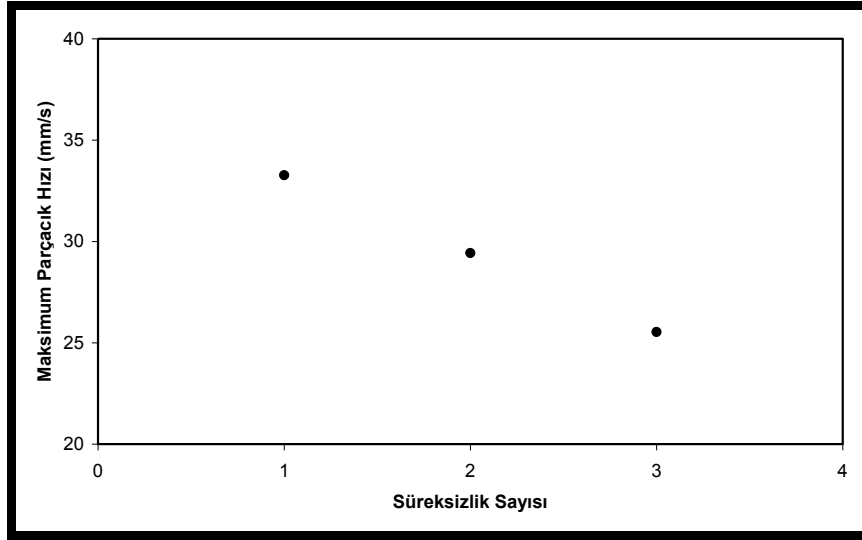


Şekil 6.39. Traverten-GDN numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Bu grafikte; 0° açılı olarak oluşturulan süreksizlik düzlemleri numune boyunca yerleştirilmişlerdir. Orijinal boyutundaki kayaç üzerinde yapılan titreşim testleri neticesinde bileşke maksimum parçacık hızı değeri 32,34 mm/s olarak belirlenmiştir. Darbe noktasının sağına, numune boyunca yerleştirilen süreksizlik düzlemi veya düşey tabaka modeli üzerinde yapılan test sonucunda bileşke maksimum parçacık hızı değeri 32,65 mm/s olarak ölçülmüştür. Son olarak darbe noktasının soluna yerleştirilen süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra kayaca ait bileşke maksimum parçacık hızı değeri 32,55 mm/s olarak okunmuştur. Değerlerden de görüldüğü üzere bu tür oluşturulan modellerde bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde çok büyük farklılıklar oluşmamaktadır.

6.2.3.39. Traverten-GDN'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-GDN numunesi üzerine 45° lik bir açı ile yerleştirilen süreksizlik düzlemlerinin bileşke maksimum parçacık hızı üzerine etkilerini göstermek amacıyla oluşturulan değer değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 6.40).

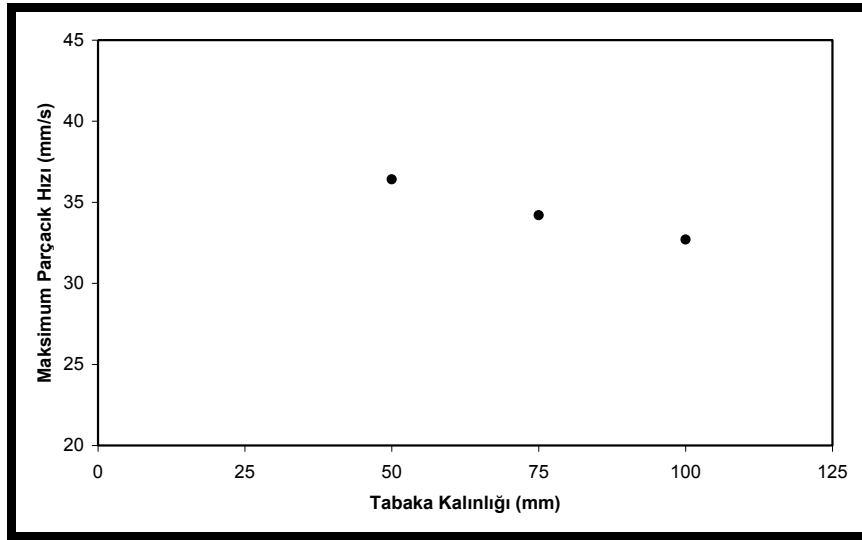


Şekil 6.40. Traverten-GDN numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

45° lik açılarla yerleştirilen süreksizlik düzlemlerinin sayısı arttıkça bileşke maksimum parçacık hızı değerlerin de azalmalar meydana gelmektedir. Süreksizlik düzlemi $50 \times 15 \times 10$ cm boyutundaki örnek kayaca bir adet olarak yerleştirildikten sonra yapılan standart titreşim testi neticesinde Traverten-GDN numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızı değeri $33,27$ mm/s olarak belirlenmiştir. Birinci süreksizlik düzleminin 10 cm uzağına yine 45° açılı ikinci bir süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değeri $29,43$ mm/s olarak tespit edilmiştir. Üçüncü ve son süreksizlik düzlemi oluşturulduğunda ise yapılan titreşim testi neticesinde bileşke maksimum parçacık hızı değerinin $25,53$ mm/s değerine gerilediği belirlenmiştir. Birinci süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile üçüncü süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasında % $23,264$ 'lük bir değer kaybı söz konusu olmuştur.

6.2.3.40. Traverten-GDN'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-GDN numuneleri üzerinde farklı tabaka kalınlıklarında yapılan standart titreşim testleri sonucunda elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerinin, tabaka kalınlığına bağlı olarak değişim grafikleri aşağıda Şekil 6.41'de sunulan grafikte verilmektedir.



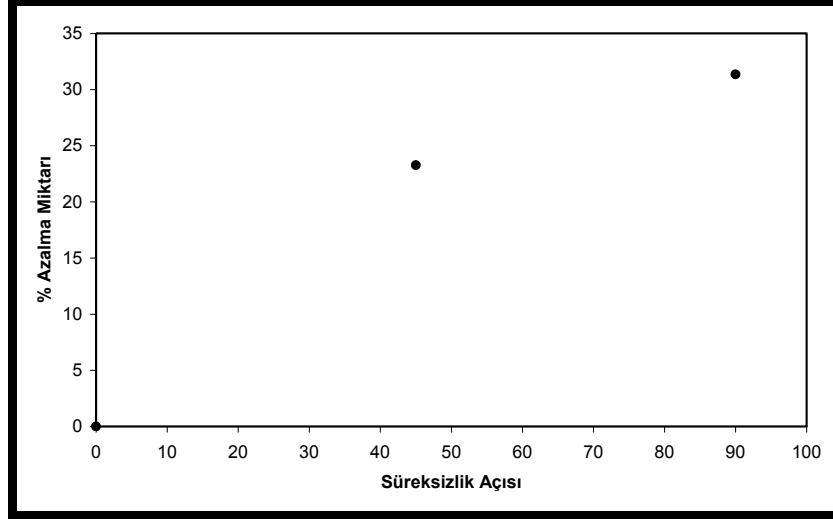
Şekil 6.41. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Şekil 6.41' de verilen grafik incelendiğinde farklı tabaka kalınlıklarının ölçülen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri üzerinde bir etkisinin olduğu gözlemlenmektedir. Bu iki değişken arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Grafikten de görüldüğü üzere tabaka kalınlığı arttıkça Traverten GDN numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir.

6.2.3.41. Traverten-GDN numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Numune üzerine yerleştirilen farklı açılardaki yapay süreksizlik düzlemlerinin her birinin maksimum parçacık hızı değerleri üzerinde etkileri olduğu yukarıdaki başlıklarda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Şekil 6.42'de sunulan grafikte farklı

açılardaki süreksizlik düzlemlerinin sayısının artırılması ile birlikte örneğin bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki % azalma miktarları sunulmaktadır. Bir başka deyişle farklı süreksizlik açılarının % azalma miktarına olan etkileri verilmektedir.



Şekil 6.42. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

Süreksizlik açısı-% azalma miktarı değerleri grafiği incelendiğinde en yüksek azalma miktarına, numuneler üzerine 90° açılı olarak yerleştirilen yapay süreksizlik düzlemlerinin oluşturulduğu modeller üzerinde rastlanmıştır. Bu durumdaki azalma miktarı % 31,357 olarak hesaplanmıştır. Traverten-GDN numuneleri üzerine yapay süreksizlik düzlemleri 45° açılı olacak şekilde yerleştirildiğinde bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki azalma miktarı % 23,264 olarak belirlenmiştir. Diğer bir model olan 0° açılı numunelerde ise maksimum parçacık hızı değerinin yaklaşık 32 mm/s olarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Yani bir azalamadan bahsetmek mümkün olmamıştır.

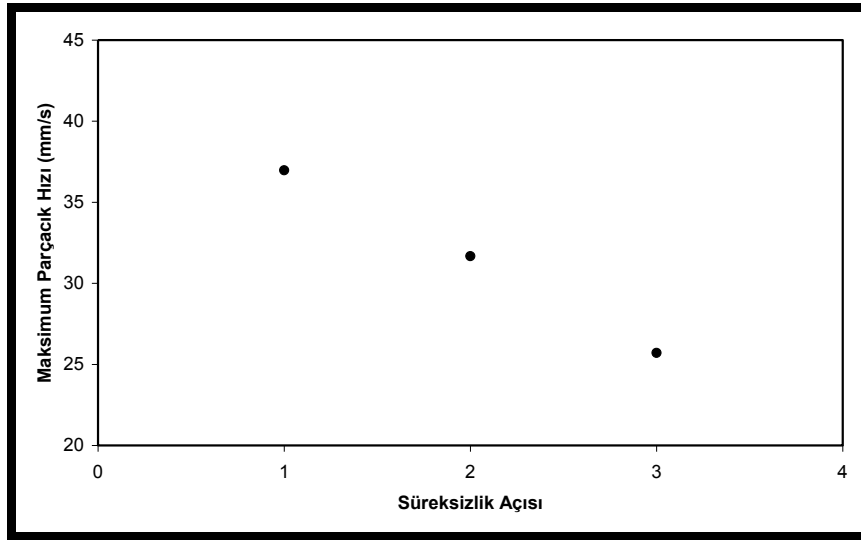
6.2.3.42. Traverten-GDN numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Traverten-GDN numuneleri üzerlerinde, kuru ve suya doymun iken gerçekleştirilen titreşim testleri neticesinde, numunenin kuruluk ve suya doymunluk durumuna göre bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişimler araştırılmıştır. Aynı blok numune üzerinde gerçekleştirilen bu deneyde numune kuru

iken titreşim testleri yapılarak kayacın bileşke maksimum parçacık hızı değerleri kaydedilmiştir. Numune kuru iken bileşke maksimum parçacık hızı değerleri 33,41 mm/s, numune suya doyurulduktan sonra ise 21,59 mm/s olarak ölçülmüştür. Numune kuru iken ölçülen değer ile numune suya doymuş iken ölçülen değer arasında % 35,379'luk bir değer kaybı meydana gelmiştir.

6.2.3.43. Traverten-PLT'den hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bu çalışmada kullanılan traverten türü kayalardan bir diğeri olan Traverten-PLT üzerine yerleştirilen 90° açılı yapay süreksizlik sayısının bileşke maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkileri Şekil 6.43'de verilen grafikte sunulmaktadır.



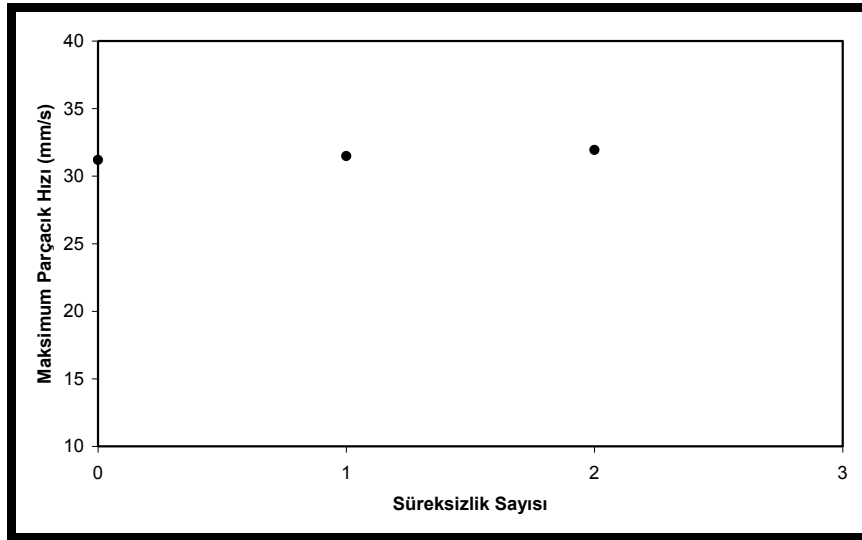
Şekil 6.43. Traverten-PLT numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Traverten-PLT numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemleri için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin değerlendirilmesi sırasında; bu numuneler üzerlerine 90° açılı olarak yerleştirilen her bir süreksizlik düzlemi ile birlikte bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Ölçülen maksimum parçacık hızı değerleri incelendiğinde, birinci süreksizlik düzlemi için ölçülen değer 36,97 mm/s olarak tespit edilmiştir. Bu değer süreksizlik sayısı iki taneye çıkarıldığında 31,67 mm/s olarak ölçülmüştür. Son olarak, numune üzerine yerleştirilen üçüncü

süreksizlik düzlemi ile birlikte bileşke maksimum parçacık hızı değeri 25,71 mm/s bulunmuştur. Birinci ve üçüncü süreksizlik düzlemi ile belirlenen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki azalma miktarı % 30,457 olarak hesaplanmıştır.

6.2.3.44. Traverten-PLT'den hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-PLT numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemleri (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testleri; süreksizlik düzlemi eklendikçe, bu hız değerlerindeki azalmayı (Şekil 6.44) işaret etmektedir.

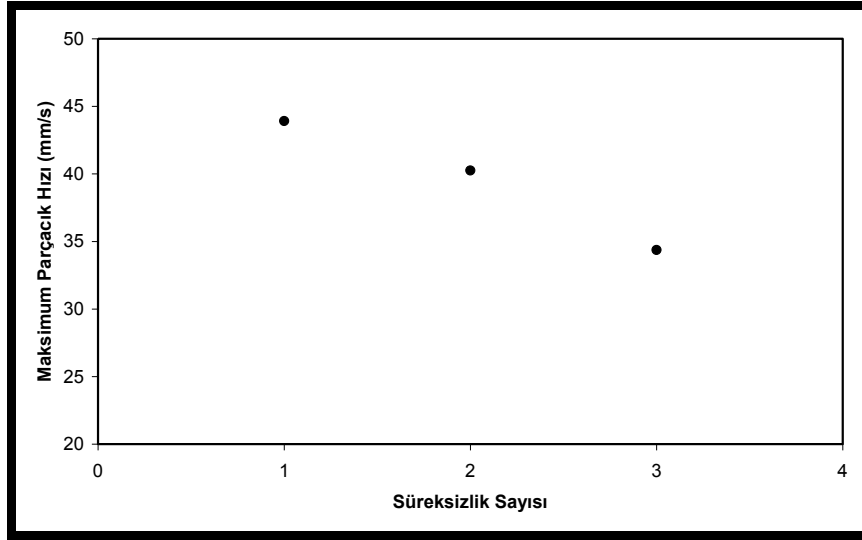


Şekil 6.44. Traverten-PLT numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Gerçekleştirilen ilk test sonucunda ölçülen değer ile süreksizlik düzlemleri yerleştirildikten sonra ölçülen değerler arasında küçük bir değişikliğin olduğu ancak bileşke maksimum parçacık hızı değerinin çok fazla bir değişikliğe uğramadığı gözlemlenmiştir.

6.2.3.45. Traverten-PLT'den hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-PLT numunesi üzerine 45°'lik bir açı ile yerleştirilen yapay süreksizlik sayısının artırılması ile bileşke maksimum hızı değerlerinde aşağıda grafikte görüldüğü gibi bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 6.45).

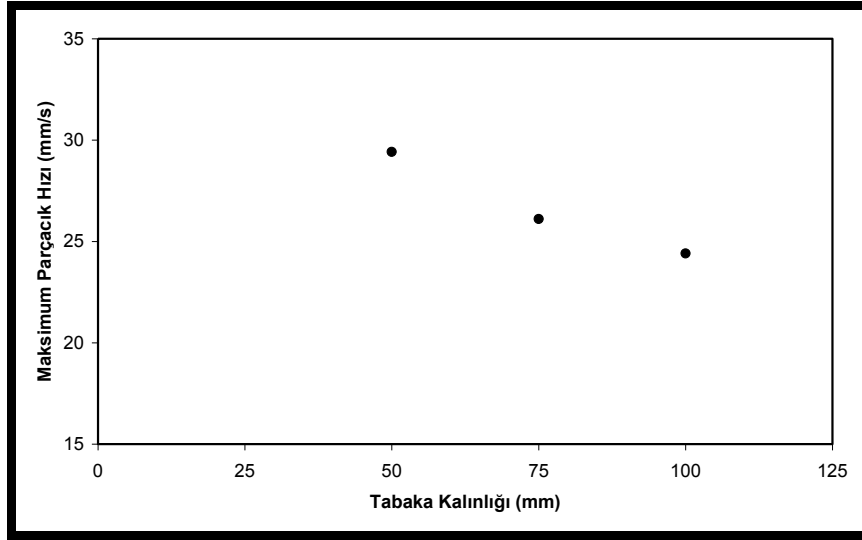


Şekil 6.45. Traverten-PLT numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

Kullanılan 50x15x10 cm boyutunda hazırlanan Traverten-PLT numuneleri üzerine yapay olarak yerleştirilen ilk süreksizlik düzleminden sonra yapılan titreşim testi neticesinde, bileşke maksimum parçacık hızı değeri 43,91 mm/s olarak ölçülmüştür. Bu değer, ikinci süreksizlik düzlemi numune üzerindeki yerini aldıktan sonra 40,25 mm/s olarak belirlenmiştir. Üçüncü ve son yapay süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra tekrarlanan titreşim testi neticesinde bulunan ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değeri 34,37 mm/s olarak tespit edilmiştir. Traverten-PLT numuneleri üzerinde gerçekleştirilen titreşim testleri neticesinde elde edilen bu değerler incelendiğinde süreksizlik düzlemi sayısı bir taneyken ölçülen değer ile üç taneyken ölçülen değer arasında % 21,726'lık bir azalmanın varlığı belirlenmiştir.

6.2.3.46. Traverten-PLT'den hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Traverten-PLT numunesini temsilen hazırlanan ve tabaka kalınlıkları farklı olarak ayarlanan modelde yapılan titreşim testi sonuçları aşağıda Şekil 6.46' da sunulmaktadır.



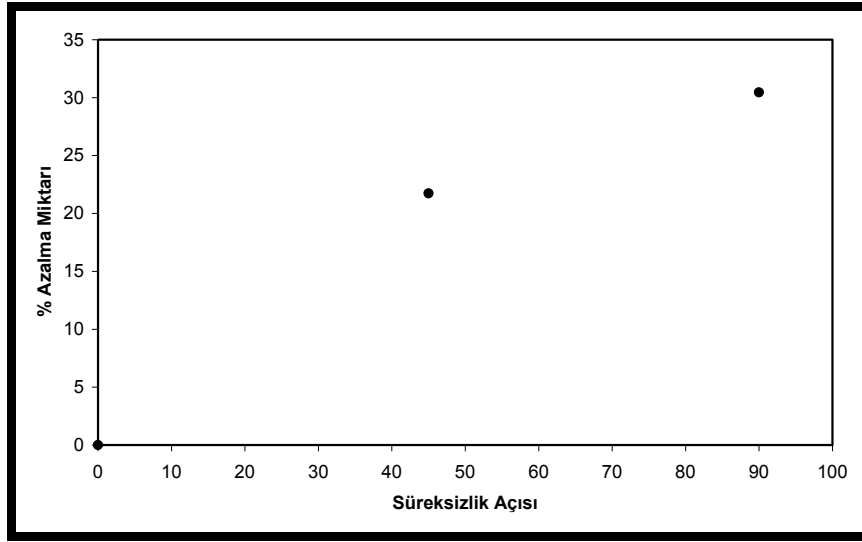
Şekil 6.46. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Numune 50x15x10 cm ebadında iken ilk titreşim testi yapılmış ve bileşke maksimum parçacık hızı 24,41 mm/s olarak tespit edilmiştir. Tabaka kalınlığı 75 mm olarak ayarlandığında bileşke maksimum parçacık hızı değeri 25,54 mm/s olarak ölçülmüştür. Tabaka kalınlığı 50 mm olduğunda ise bileşke maksimum parçacık hızı değeri 29,42 mm/s değerine ulaştığı belirlenmiştir.

6.2.3.47. Traverten-PLT numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Numuneler üzerine 0° açılı, 45° açılı ve 90° açılı olarak farklı açılarda yerleştirilen süreksizlik düzlemleri ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde değişimler gerçekleşmiştir. Şekil 6.47'de açısal farklılıklar ile meydana gelen bu değişimler grafik olarak gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde 0° süreksizlik düzlemi yerleştirilen süreksizlik düzlemleri model numunelerde elde edilen bileşke maksimum

parçacık hızı değerlerinde süreksizlik sayısının artırılması ile büyük bir değişim gerçekleşmemiştir. Diğer kullanılan açılarda süreksizlik sayısının artmasıyla bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Bu değer kayıpları % azalma miktarları olarak ele alınmış ve 90° süreksizlik açılı numunelerde % 30,457 olarak belirlenirken 45° açılı numunelerde % 21,726 olarak bulunmuştur.



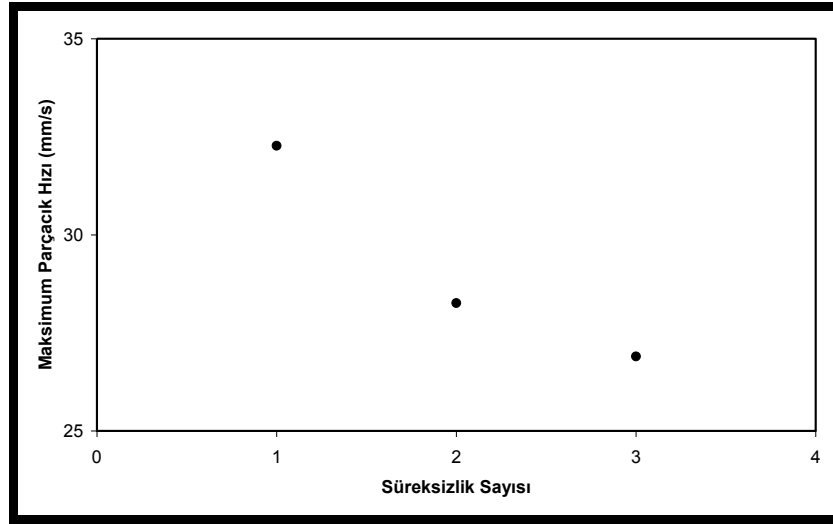
Şekil 6.47. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

6.2.3.48. Traverten-PLT numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen titreşim testleri neticesinde kuru haldeki Traverten-PLT numunelerinin ortalama bileşke maksimum parçacık hızı değerleri 24,41 mm/s olarak belirlenmiştir. Numune kuru haldeyken titreşim testlerinin yapıldığı aynı blok numune suya doyurulduktan sonra tekrar standart titreşim testlerine tabi tutulmuş ve doymun numunenin ortalama bileşke maksimum hızı değerinin 18,56 mm/s değerine düştüğü tespit edilmiştir. Numune kuru iken elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri ile numune suya doymun iken elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri arasındaki değer kaybı % 23,966'dır.

6.2.3.49. Bazalt'dan hazırlanan 1.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bazalt numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya dik süreksizlik düzlemler için gerçekleştirilen maksimum parçacık hızı testlerinin sonuçları aşağıda verilen grafikte sunulmaktadır (Şekil 6.48).

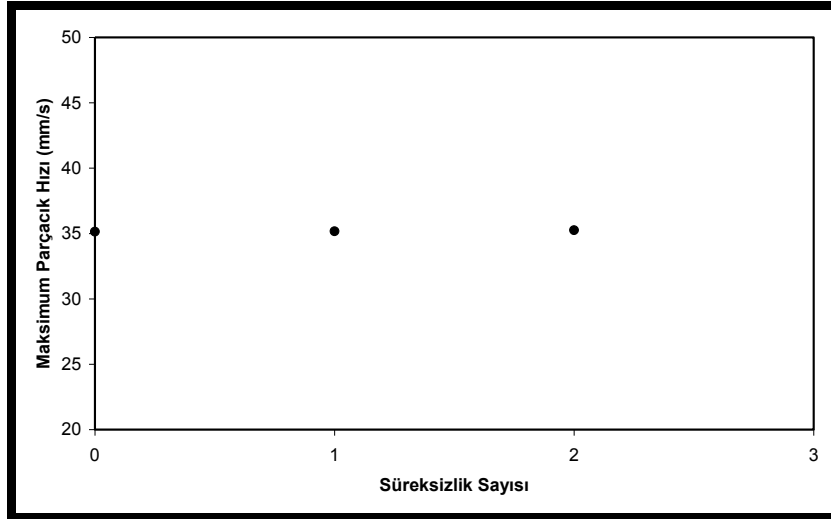


Şekil 6.48. Bazalt numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 90°)

Grafikten de görüldüğü gibi, her bir süreksizlik sayısı için ayrı ayrı yapılan standart titreşim testleri neticesinde elde edilen, bileşke maksimum parçacık hızı değerleri, numune üzerine yerleştirilen yapay süreksizlik düzlemi sayısı arttıkça azalmaktadır. Bazalt numunesi üzerine ilk yerleştirilen süreksizlik düzleminde sonra, bileşke maksimum parçacık hızı 32,27 mm/s olarak ölçülmüştür. Numuneye son süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra bu değer % 16,641 olarak azaldığı tespit edilmiştir.

6.2.3.50. Bazalt'dan hazırlanan 2.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bazalt numuneleri üzerlerinde, yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya paralel (0°) açılı süreksizlik düzlemler (düşey tabakalı) numuneler için gerçekleştirilen testler neticesinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değişimleri, aşağıdaki grafikte sunulmaktadır (Şekil 6.49).



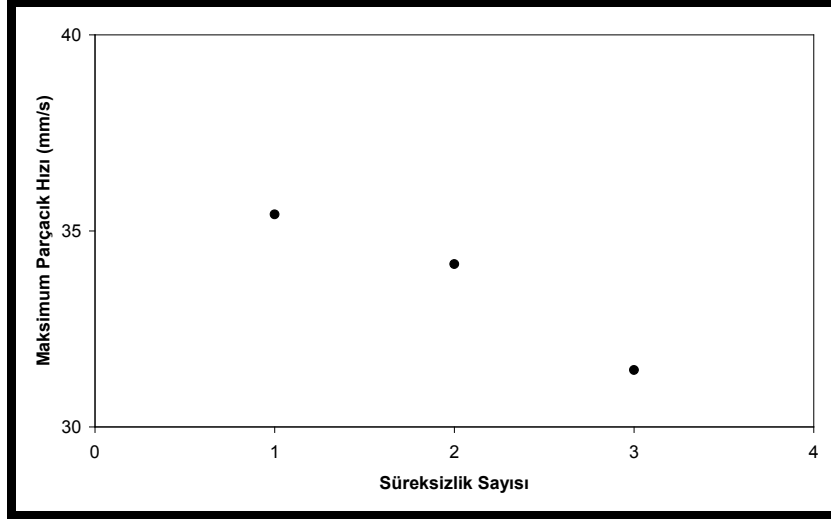
Şekil 6.49. Bazalt numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 0°)

Numune orijinal boyutundayken (50x15x10 cm) titreşim testine tabi tutulmuş ve örneğe ait bileşke maksimum parçacık hızı değeri 35,14 mm/s olarak ölçülmüştür. Yapay darbe oluşturulan noktanın ilk olarak sağına numune boyunca yerleştirilen süreksizlik düzlemi oluşturulduktan sonra tekrar titreşim testine tabi tutulan kayacın titreşim ölçümleri yapılmış ve bileşke maksimum parçacık hızı değeri 35,17 mm/s olarak belirlenmiştir. Model için oluşturulan son süreksizlik düzlemi, yapay dalganın oluşturulduğu noktanın soluna yerleştirilmiş ve titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu son ölçüm neticesinde bileşke maksimum parçacık hızı değeri 35,25 mm/s olarak tespit edilmiştir. Değerlerden de anlaşıldığı gibi bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde diğer bütün örneklerde de olduğu gibi değişim miktarı oldukça düşüktür.

6.2.3.51. Bazalt'dan hazırlanan 3.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bazalt numunesi üzerinde 45° açılı olarak oluşturulan süreksizlik düzlemlerinin sayısının artırılmasıyla bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde meydana gelen değişiklikler aşağıdaki grafikte sunulmaktadır (Şekil 6.50). Süreksizlik açısı 45° iken yapılan testler neticesinde diğer tüm numunelerde olduğu gibi süreksizlik sayısı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir değer kaybının varlığı belirlenmiştir. Numune üzerine yerleştirilen yapay süreksizlik düzlemlerinin açısı 90° seçildiğinde numune üzerinden okunan bileşke maksimum hız değerlerindeki azalma miktarı % 16,641 iken süreksizlik düzlemi açısı 45° olarak seçildiğinde % azalma miktarı 11,208

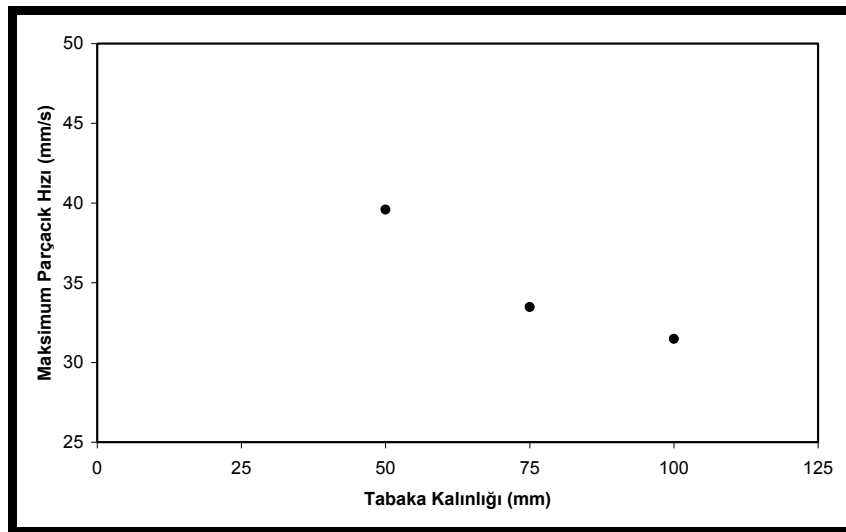
olarak belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan diğer bütün örneklerde olduğu gibi bu örnekte de süreksizlik açısıyla birlikte % azalma miktarı 90° süreksizlik düzlemlerinde, 45° süreksizlik modellerdekine nazaran daha fazla olmuştur.



Şekil 6.50. Bazalt numunesine ait bileşke maksimum parçacık hızlarının süreksizlik sayısına bağlı olarak değişim grafiği (Süreksizlik düzlemi 45°)

6.2.3.52. Bazalt'dan hazırlanan 4.Grup numunelerde yapılan titreşim testleri

Bu çalışmada ele alınan son örnek olan bazalt numunesi, diğer numunelerde de olduğu gibi farklı tabaka kalınlıklarında düzenlenmiş ve tabakalı model oluşturulmuştur. Aşağıda verilen grafikte tabaka kalınlığı ile bazalt numunelerine ait bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişim sunulmaktadır (Şekil 6.51).

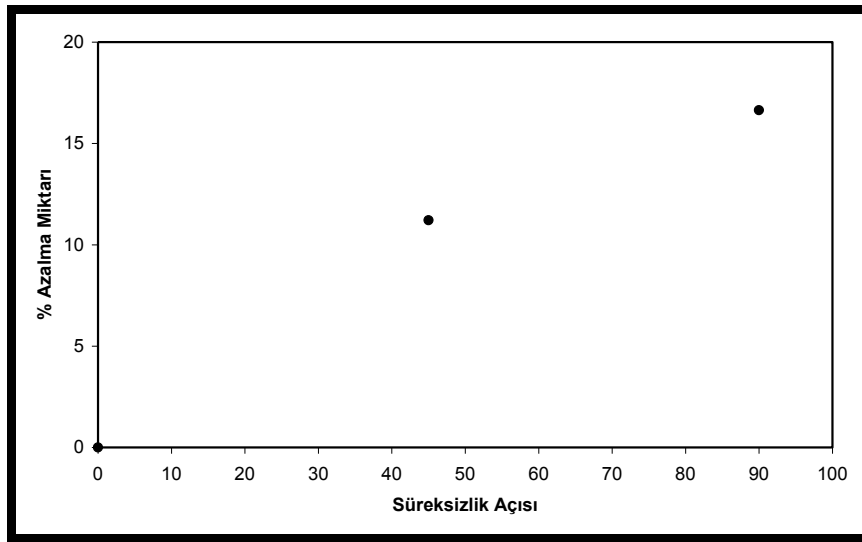


Şekil 6.51. Farklı tabaka kalınlığına göre bileşke maksimum parçacık hızı değişim grafiği

Grafikte görüldüğü gibi bazalt numunelerinin tabaka kalınlığı azaldıkça, bileşke maksimum parçacık hızı değerleri artmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bütün örnekler ele alındığında, tabaka kalınlığı değerleri ile birlikte örneklere ait bileşke maksimum parçacıkları hızı değerlerinde benzer karakterlerde bir değişimin olduğu belirlenmiştir.

6.2.3.53. Bazalt numuneleri için, farklı süreksizlik açılarının, maksimum parçacık hızı değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Bazalt örneklerinde oluşturulan farklı açılı model malzemelerde gerçekleştirilen testlerin sonuçları, yukarıda başlıklar halinde sunulmuştur. Farklı açılar için elde edilen % azalma değerlerinin süreksizlik açısına bağlı olarak değişim grafiği Şekil 6.52' de verilmektedir.



Şekil 6.52. Yapay titreşim dalgalarının oluşturulduğu noktaya farklı açılarda oluşturulan süreksizlik düzlemleri ve bu açılara bağlı % değer azalma grafikleri

Yine bu örnekte de diğer örneklerde gözlenen karakteristik değişim gözlemlenmiştir. Yani süreksizlik açısının artmasıyla farklı yapay süreksizlik düzlemlerinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde ki % azalma miktarında bir artış söz konusudur.

6.2.3.54. Bazalt numuneleri için, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde yapılan titreşim test sonuçlarının değerlendirilmesi

Örnekler üzerinde yapılan diğler bir araştırma olan numune şartlarının bileşke maksimum parçacık hızı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla bazalt numunesi üzerinde titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Bazalt numuneleri kuru iken yapılan test ile elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değeri 31,48 mm/s olarak ölçülmüştür. Numune ISRM'81 standartlarına uygun olarak suya doyurulduktan sonra tekrar titreşim testleri yapılmış ve bileşke maksimum parçacık hızı değeri 22,8 mm/s olarak belirlenmiştir.

Kuru ve suya doymun olarak yapılan test neticesinde bulunan bu değler incelendiğinde, kayacın su durumunun bileşke maksimum parçacık hızı üzerinde oldukça etkili olduğunu söylemek mümkündür.

6.3. Laboratuvar deneylerinden elde edilen genel değerlendirme

Bu çalışmada örnek olarak kullanılan dokuz farklı kayaç numunesi, fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından birbirleri ile farklılıklar göstermektedir. Kullanılan farklı mühendislik özelliklerine sahip numuneler üzerlerinde gerçekleştirilen titreşim testleri neticesinde elde edilen maksimum parçacık hızı değleri ile kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik değlerinin ilişkili oldukları belirlenmiştir. Bu değler kullanarak elde edilen ilişki grafiklerinden, değışkenler arasında grafikler üzerinde gösterilen amprik bağıntılar elde edilmiştir. Genel olarak düşünöldüğünde, oluşturulan yapay darbelerin meydana getirdiğı titreşim dalgalarının etkisiyle hareketlenen parçacıkların hızları numune özelliklerine bağı olarak değışimler göstermiştir.

Çalışma kapsamında oluşturulan modeller üzerinde de standart titreşim testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde incelenmiştir. Bütün kayaç örneklerinden oluşturulan modeller, eşit şartlarda yapılan titreşim testlerine tabi tutulmuştur. Dokuz farklı kayaç türü için oluşturulan benzer modeller kendi aralarında incelendiğinde, maksimum parçacık hızı değlerinde meydana gelen değışimlerin benzer karakteristikte oldukları gözlemlenmiştir. Bu gözlemler neticesinde patlatma kaynaklı yersarsıntılarını temsilen oluşturulan yapay titreşim dalgalarının kaya kütlesi özelliklerinden etkilenecek yayılım gösterdikleri tespit edilmiştir.

Genel olarak bu çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin bütünü düşünüldüğünde, modeller üzerinde oluşturulan farklı açılı süreksizlikler için yapılan deneyler neticesinde; yapay dalga oluşturulan noktaya dik olarak yerleştirilen yapay süreksizlik sayısının artmasıyla birlikte, kayacın maksimum parçacık hızı değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Benzer şekilde, yapay darbelerin oluşturulduğu noktaya 45° açıya sahip olarak yerleştirilen yapay süreksizliklerin sayısının artırılması ile maksimum parçacık hızı değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Ancak bu iki grup numune kendi arasında kıyaslandığında 1. grup olarak nitelendiren, (yapay dalga oluşturulan noktaya dik olarak yerleştirilen) süreksizlik tipine sahip numunelerdeki % azalma miktarları, 3. grup numuneler olarak nitelendirilen (yapay darbelerin oluşturulduğu noktaya 45° açıya sahip) süreksizlik tipli numunelere göre daha fazla olmuştur. Araştırmadaki 2. grup numuneler (Yapay darbelerin oluşturulduğu noktaya 0° açılı süreksizlik tipli) üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri neticesinde ise maksimum parçacık hızı değerlerinde büyük değişikliklerin olmadığı gözlemlenmiştir.

7. ARAZİ ÇALIŞMALARI

7.1. Genel

Bu bölümde titreşim ölçümlerinin arazideki uygulamalarına yer verilerek titreşim ölçümleriyle arazi durumu arasındaki ilişkiler kavramsal olarak incelenmiştir.

7.2. Çalışma Sahasının Tanıtımı

Çalışma bölgesi olan Konya Çimento A.Ş.'ye ait kireçtaşı ocağı, Konya Selçuklu ilçesi, Ankara yolu üzeri 8. km' de, yerleşim yerlerine oldukça yakın bir bölgede faaliyet gösteren bir işletme özelliği taşımaktadır. Bu işletme, 1963 yılında üretime başlamış ve kurulduğu tarihten itibaren Konya Çimento fabrikasına hammadde sağlamıştır (Şekil 7.1.).



Şekil 7.1. Konya Çimento fabrikası ve hammadde ocağı

Çalışma sahasının yer bulduru haritası Şekil 1.2' de sunulmuştur. Ayrıca açık işletme tekniğiyle faaliyet gösteren işletmenin ocak içi görünüşü ve yakın bölgelerindeki yerleşim yerlerine ait görüntüler Şekil 7.2' de verilmiştir.



Şekil 7.2. Konya Çimento'ya ait kireçtaşı ocağı ve yakın bölgelerindeki yerleşim yerleri (Bayram, 2007)

7.2.1. Çalışma sahasının genel jeolojisi ve tektonik yapısı

Konya Çimento fabrikası, çimento üretiminde en fazla ihtiyaç duyulan kireçtaşı hammaddesi için, Konya'ya yakın konumdaki kireçtaşı rezervlerinden birinin hemen yanında kurulmuştur. Şehirleşmenin taş ocağı çevresine doğru genişlemesi ile sanayi siteleri ve meskenler ortasında faaliyet göstermek zorunda kalan fabrika, “şehir içi faaliyet gösteren bir işletme” özelliği kazanmıştır. Çalışma sahası olarak belirlenen bu bölge, Konya kapalı havzasında yer almaktadır. Bu havza, 1975 yılında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan "Konya-Çumra- Karapınar Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu" kapsamında etüt edilmiştir. Rapordan ve diğer çalışmalardan elde edilen bilgilere göre, bölgenin stratigrafik jeolojisi Şekil 7.3' de verilmektedir.

| JEOLOJİ ZAMAN BİRİMLERİ Geochronology | | | | KALINLIK Thickness (m) | STRATİGRAFİ Stratigraphy | |
|--|-------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|--|
| Zaman Era | Devir Period | Alt Devir Lower Period | Devre Epoch | | | |
| SENOZOİK Cenozoic | Küaterner Quaternary | | | | | |
| | TERŞİYER Tertiary | NEOJEN Neogene | PLİYOSEN Pliocene | 300 | | |
| | | | MİYOSEN Miocene | ALT Lower | >250 | |
| | | | | | | |
| MEZOZOİK Mesozoic | KRETASE Cretaceous | | | 150 | | |
| | TRİAS Triassic | | | | | |
| | PERMEN Permian | | | 400 | | |
| PALEZOİK Paleozoic | | | | | | |

Şekil 7.3. Çalışma sahasının stratigrafik jeolojisi (Çamtaş, 2004)

Bu raporda incelenen formasyonların hidrojeolojik özellikleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Bölgede Paleozoik'den itibaren bütün jeolojik zamanlar vardır. Paleozoik formasyonları; Permo-Trias kireçtaşları, Mikaşistler, Kuvarsitler ve çeşitli şistler halinde olup, bölgenin temelini teşkil ederler.
- Bölgenin en yaygın formasyonu ise, Neojen devrinde teşekkül etmiş olan sedimanlardır, Bunlar, Miosen ve Pliosen devirlerinde oluşmuşlardır.
- Miosen (m) birimleri, Taban Konglomeraları, Marn ve Kireçtaşları halindedir. Kireçtaşları, bölgede çok geniş bir saha kaplamaktadır. Güneyde daha çok marnlıdır. Marnlar gri ve krem renklidir. Kireçtaşları ise beyaz krem ve gri renklidirler. Bunlar

bazen yumuşak, çoğu yerde sert, bol erime boşluklu, kırıklı ve çatlaklıdır. Aynı zamanda sünger yapılı, yer yer oldukça karstik, yataya yakın ve ince tabakalıdır.

- Pliosen yaşlı sedimanlar, Miosen (veya Neojen) formasyonları üzerinde konkordan olarak yer almaktadır. Genellikle kil-kum ve çakılın muhtemel nispetlerde karışımından ve kilden müteşekkildir. Tabaka aralarında jips teşekkülleri de mevcuttur. Killer kahve renklidirler. Bölge, Hersinien orojenezinden etkilenmiş, Alp orojenezi ile bugünkü halini almıştır. Paleozoik şistler ve mermerler, Hersinien orojenezi ile kıvamlanmış, kırıklar teşekkül etmiş ve mermerler tabakalı durumlarını kaybetmişlerdir.

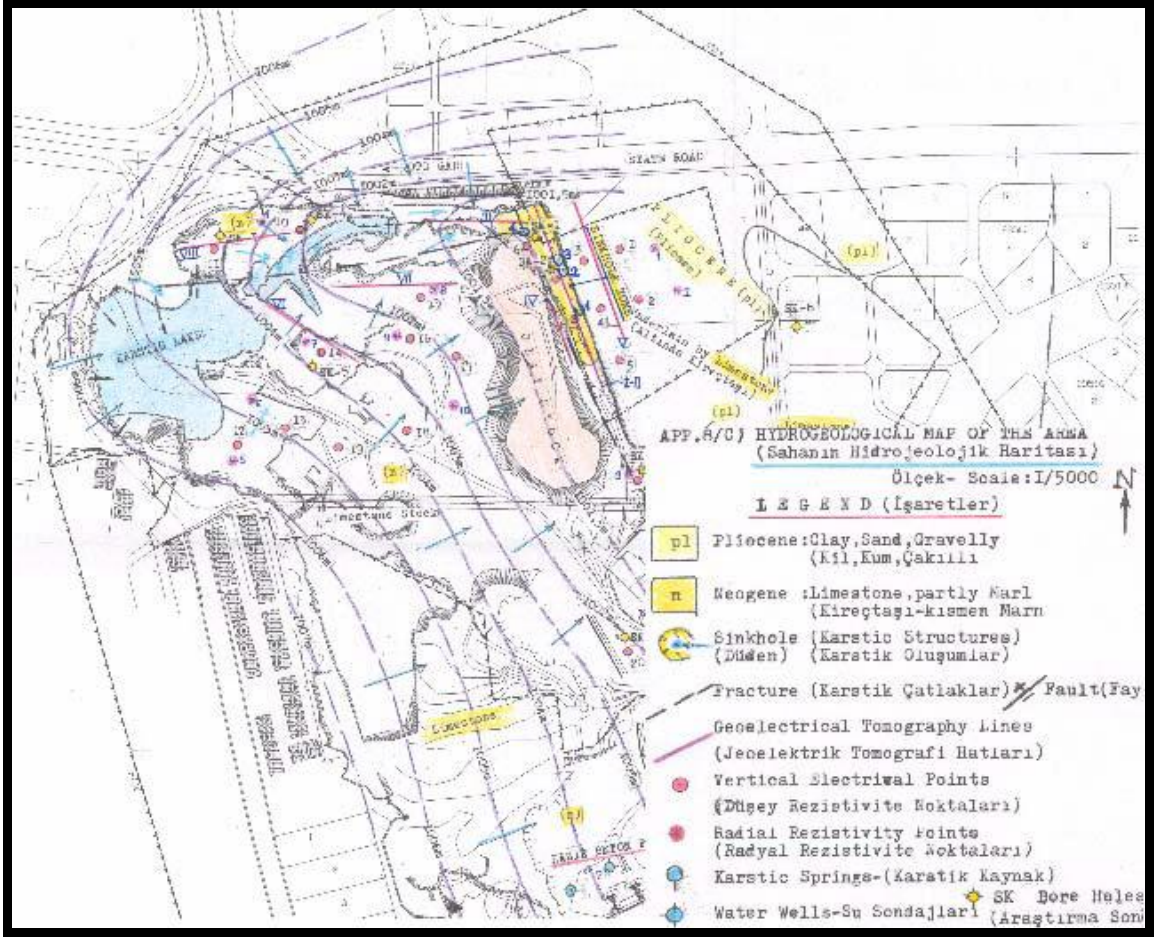
- Alp orojenezi ile bölge bütünüyle tekrar tektonik tesirlere maruz kalmıştır. Tektonik tesirleriyle faylar teşekkül etmiştir. Paleozoik yaşlı Mermerler ile Neojen kireçtaşlarında oluşan kırıklar genel olarak kuzeybatı-güneydoğu yönündedir. Neojen'den sonraki tektonik hareketler öncekilere nazaran daha az etkili olmuştur. Neojen formasyonlarında çok hafif bir ondülasyon mevcuttur.

- Konya ovası, Paleozoik'de bir jeosenklinal olup, daha sonraları bölgesel Metamorfizma ve dislokasyon metamorfizma tesiri ile kırılmış, çatlamış ve faylaşmalar olmuştur.

- Kuzeydeki Sarıcalar ve güneydeki Alakova fayı, ovanın batısı ile doğusunu ayırmıştır. Çimento fabrikası ile taş ocağı sahası fayın batısında, yükselen blok üzerindedir, Tersier'de muhtemelen üst Miosen devrinde Toroslar su yüzüne çıkmıştır. Bu devrede İç Anadolu'daki göllerin, yükselen Toroslar sebebi ile Mesoje (Akdeniz) denizi ile irtibatı kesilmiş ve Konya kapalı havzasında büyük bir iç deniz (göl) meydana getirmiştir. Neojen kireçtaşları bu göl içinde teşekkül etmiştir. Daha ileri safhada havza tamamen Evaporit bir karakter almış ve Pliosen sedimanları içinde Jips teşekkül etmiştir.



7.2.2. Çalışma sahasının jeolojisi

Konya Çimento fabrikasına hammadde sağlayan kireçtaşı ocağı Konya kapalı havzasında yer almakta olup, kireçtaşları sedimenter oluşum göstermiştir. Bunlar Neojen devrinde teşekkül etmiş olup, Pliosen ve Miosen yaşlıdır. Bu jeolojik yapılar Şekil 7.4'de çalışma sahasının jeolojik haritasında gösterilmektedir. Çalışma sahasına ait litolojisi ise Şekil 7.5' de sunulmaktadır. Bu yapılarla ilgili genel bilgiler aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 7.4. Çalışma sahasının jeolojik haritası (Konya Çimento A. Ş. Arşivi, 2006)

a) *Pliosen Sedimanları (pl)*: Bunlar, kil ve muayyen oranda kil-kum-çakıl karışımından ibaret olan Neojen (Miosen) formasyonlarının üzerinde konkordan olarak bulunurlar. Taş ocağının doğusundan başlayarak doğuya ve kuzeydoğuya doğru yayılımları vardır. Ayrıca, Konya ovasının doğusunda, güneyinde ve kuzeyinde Kuaterner sedimanlarıyla beraber geniş alanlar kaplarlar. Kil, genelde kahve renkli olup, çimento fabrikasında malzeme olarak kullanılmaktadır. Toros dağları su yüzüne Tersiyer'de, muhtemelen Miosen'de çıkınca Akdeniz ile İç Anadolu göllerinin ilişkileri kesilmiştir. Konya kapalı havzası içinde oluşan büyük iç denizde Neojen formasyonları teşekkül etmiştir. O sırada havzada Evaporit karakter hakim olduğundan, Pliosen devrinde Jips tabakaları da teşekkül etmiştir. Özellikle Pliosen'in üst seviyeleri jipslidir. Bundan dolayı, jipsli sedimanlardan süzülen yeraltı suları sülfat iyonu ihtiva etmektedir. Suların EC (Elektriki İletkenlikleri) değerleri de bu nedenle yüksektir.

| JEOLOJİK ZAMAN Geochronology | | simge Symbol | KALINLIK (m) Thickness | STRATİGRAFI Stratigraphy | Litoloji Lithology |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|---|--|
| ZAMAN Era | DEVİR Period | | | | |
| SENOZOİK Cenozoic | NEOJEN Neogene | Pliosen Pliocene | 5-10 |  | Kil, kum, çakıllı ve jipsli üst seviyeler karbonatlı. Kahve renkli kil hakimdir. Permabilite çok düşüktür. |
| | | (n) | 200-250 |  | Kireçtaşı ve marn. Kireçtaş hakimdir. Marn gri - krem, kireçtaşalı beyaz - krem ve gridir. |
| | | Miosen Miocene | (m) | | Kireçtaşları bazen yumuşak, genelde sert, oldukça karstik, çatlaklı, erime boşluklu olup çatlakları killi ve belirli kir miltarda yer altı suyu içermektedir. Ortalama olarak permabilite 0,5 - 60 m /gündür. |

Şekil 7.5. Çalışma sahasının stratigrafik haritası ve litolojisi (Çamtaş, 2004)

b) Neogene (n) Formasyonları: Bunlar genel olarak marnlı olmakla beraber hakim formasyon kireçtaşıdır. Marn gri-krem; kireçtaşları ise beyaz-krem ve gri renklidir. Kireçtaşları bazı yerlerde yumuşak, genelde sert, boşluklu, çatlaklı, kırıklı, yüzeyde sünger yapılı, ince tabakalı ve yataya yakın (5-6°) eğimlidir. Çatlakların bir kısmı kahve renkli kil dolguludur. Ayrıca taş ocağı içindeki çatlaklar düşeye yakın pozisyonda olup, kuzeybatı-güneydoğu istikametindedir. Neojen kireçtaşları ve Marnlar, Konya kapalı havzasındaki iç deniz içinde teşekkül etmiştir. Marnlar yumuşak olup, yer yer kireçtaşları tabakalarının içinde ve Pliosen malzemelerin altında görülmektedir. Sahanın güneydoğu kenarında demiryolu boyunca uzanan önemli bir fay vardır. Bu fay kuzeyde Sarıcaların güneybatıda Alkova'ya kadar uzanmaktadır. Düşey atımlı olan bu fayla sahanın doğusu çökmüş, batı bloğu yükselmiştir. Taş ocağı ise yükselen blok

üzerindedir. Ayrıca taş ocağındaki ana kırıklar da bu fayın etkisiyle oluşmuş ve istikametleri kuzeybatı-güneydoğu olup, faya doğrudur.

7.2.3. Kireçtaşı ocağının tanıtımı

Konya Çimento Fabrikasına hammadde sağlayan kireçtaşı açık işletmesi, 1963 yılından beri faaliyet göstermektedir (Şekil 7.2). Konya Çimento fabrikasının hammadde gereksinimini karşılayan ocak aynı zamanda çimento üretimi için gerekli diğer hammaddelere stok sahası olarak da kullanılmaktadır. Ocak genel olarak tabakalı bir yapı arz etmektedir. Ocaktaki kireçtaşı kütlelerinde yer yer; bozuşmalara ve obruklaşmaya bağlı sediman dolgulu küçük boşluklar ve genişlemiş süreksizlikler mevcuttur (Şekil 7.6). Ocağın genel durumu incelendiğinde ocak içindeki tabakalar yüzeye yaklaştıkça incelmektedir. Genel tabaka kalınlıkları yüzeyden yaklaşık 15m derinliğe kadar yer yer 0,5-2,0 m kalınlıkta, 15-30 m derinlik arasında 2,0-5,0 m kalınlıkta, derinlerde ise daha da kalın özellik gösterebilmektedir. Genel olarak tabakaların eğimi değişik yönlerde ve eğim açısı 3° - 5° arasındadır. Ocaktaki en önemli süreksizlik konumundaki tabakaların hemen hemen yatay konumda olması, laboratuvar ortamında yapılan yatay konumlu süreksizlik modeli (4.Grup Modeller) sonucunda elde edilen değerlerle karşılaştırma yapma imkânını sunmaktadır.



Şekil 7.6. Ocak şevlerinin genel yapısı

Ocağın taban kotu hemen hemen yeraltı su seviyesi olan 998 m' ye kadar oturtulmuştur. Ocağın en üst basamak kotu ise çevresinde bulunan karayolları ve yerleşim merkezleri ile aynı seviyededir (1028 m). İşletme bir taraftan üretim faaliyetlerini sürdürürken, diğer taraftan da reklamasyon çalışmalarını gerçekleştirmektedir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. İşletme faaliyetlerinin yanında devam eden reklamasyon çalışmaları

Sahaya ait kaya kütle sınıflamaları Özkan ve Özşen, (2008) tarafından analiz edilmiştir. Kaya kütlelerini belirlemek amacıyla bölgede 29,5 m derinliğinde karotlu sondaj yapılarak karşılaşılan kaya birimleri üzerinde kaya kütleleri RMR₇₉, RMR₈₉, Q ve M-RMR sınıflama sistemleri kullanılarak belirlenmiştir. RMR₇₉ ve RMR₈₉ sınıflama sistemi için gereken bazı parametreler, sağlam karot randımanının (ICR) % 25'ten düşük olduğu bölgelerde belirlenememiştir. Alınan karot örneğinin diğer bölümlerinde ise RMR₇₉ sistemine göre kayaç **Çok Zayıf-Zayıf** olarak, RMR₈₉ sistemine göre ise **Çok Zayıf-Zayıf** ve **Zayıf-Vasat** olarak tanımlanmıştır. Q sınıflama sisteminde ise yine sağlam karot randımanının düşük olduğu bölümlerde belirlenemeyen parametreler nedeniyle bazı jeoteknik aralıklarda sınıflama gerçekleştirilememiştir. Q sınıflama sistemine göre kayaç, alınan karot örneklerinin 0-9 metre arasında **Zayıf-Çok zayıf**, 9-14 metre arasında **Orta sınıf**, 14-29 metre aralığı için ise **Zayıf-Çok zayıf** olarak tanımlanmıştır. M-RMR sınıflama sistemi ile sağlam karot randımanının % 25' ten

düşük olduğu bölgelerdeki belirsizliklerde tanımlanabilmiştir. M-RMR kaya kütlesi sınıflama sistemine göre topoğrafyadan itibaren ilk 11 m için kayaç, *Zayıf-Vasat*, 11-12,24 metre arası için *İyi* ve geri kalan bölüm için *Zayıf-Vasat* olarak sınıflandırılmıştır.

7.3. Çalışmada Kullanılan Delme - Patlatma Yöntemleri

Bu bölümde, patlatmalı kazı faaliyetlerini yürütmek amacıyla kullanılan patlayıcı maddeler, delme-patlatma tasarımı ve bu işlemler için kullanılan ekipmanlar incelemeye alınmıştır.

7.3.1. Çalışmada kullanılan delme ve patlatma tasarımı

Konya Çimento fabrikası, kireçtaşı ocağında kazı, delme-patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. İşletme yerleşim yerleri içinde kaldığı için patlatma faaliyetlerinden oluşan çevresel etkilerin titizlikle takip edilmesi gerekmektedir. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının sınır değerler içerisinde tutulabilmesi için ocakta sürekli yersarsıntı ölçümleri yapılmaktadır. Ocakta delikler, tek sıra şeklinde, bir defada ateşlenecek delik sayısı 21'i geçilmeyecek şekilde seri bağlanarak (tek hat üzerinden) patlatılmaktadır (Şekil 7.8). Patlatılacak şev boyutları ve basamak genişlikleri düşünülerek, bazı özel durumlarda, nadiren çift sıra delikler delinebilmektedir. Bu durumda patlatma delikleri şeş-beş şeklinde tasarlanmaktadır.



Şekil 7.8. Tek hat üzerinden patlatılmaya hazırlanan delik düzeni

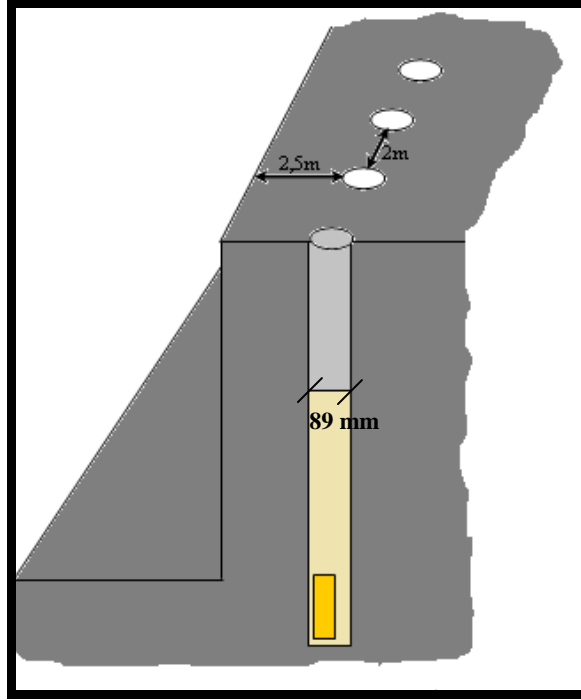
7.3.2. Delik tasarımı

Çalışma sahasında, kazı kolaylığı amacıyla delme-patlatma yöntemi kullanılmaktadır, Aynı zamanda düzenli bir işletmeciliğin önemli bir parametresi olan ocak düzeni, basamakların uygun şekillerde planlanmasıyla bu ocak için büyük ölçüde sağlanmıştır. Delik delme işlemlerini “Furukawa HCR 12” marka vagon drill makinesiyle (Şekil 7.9) gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7.9. Furukawa HCR 12 marka delik delme makinesi

Delik çapları 89 mm olarak açılmakta ve delik boyu belirlenirken patlatmanın yapılacağı basamak boyu dikkate alınmaktadır, Patlatma neticesinde tırnak kalmaması için patlatma delikleri, basamak yüksekliğinden bir metre daha derine delinmektedir. Bu işletmede, patlatma deliklerinin lokalizasyonu; şev aynasından 2,5 metre uzaklıkta, deliklerin birbirleri arasındaki mesafe ise 2 m olarak tasarlanmaktadır (Şekil 7.10). Delikler dik (90°) olarak delinmektedir.



Şekil 7.10. Çalışma sahasında uygulanan delik düzeni

7.3.3. Patlatma tasarımı

Patlatma işlemleri, deliklerin seri bağlanmasıyla tek hat üzerinden gerçekleştirilmektedir (Şekil 7.8). 89 mm çapında basamak boyunun 1 m daha fazlası olarak delinen dik delikler içerisine ana patlayıcı madde olarak ANFO şarj edilmektedir (Şekil 7.11a). Sıkılama malzemesi olarak delikler delinirken çıkan kırıntı malzemeler kullanılmaktadır. Deliğin en üst üç metresi sıkılama malzemesi ile doldurulmaktadır. (Şekil 7.12).

İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler Orica–Nitro A.Ş. firmasından satın alınmakta ve güvenlik güçleri nezaretinde taşınmakta ve ateşlenmektedir. Kullanılan ANFO'nun yoğunluğu $0,80 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Delik çapı ve ANFO'nun yoğunluğuna bağlı olarak, delik içerisinde 5 kg ANFO bir metre şarj yüksekliği vermektedir (Yücel, 2008). Buna bağlı olarak, delik başına 15-50 kg arasında ANFO kullanılmaktadır. Yemleme olarak delik başına 0,5 kg ağırlığında bir adet kapsüle duyarlı emülsiyon dinamit kartuşu kullanılmaktadır. Böylelikle delik başına kullanılan patlayıcı miktarı 15,5– 50,5 kg arasında değişmektedir. Ateşleme için, ilk enerji elektrikli kapsülle yapılmakta olup, deliklerde 25/500 ms delik ve yüzey gecikmeli, elektriksiz kapsüller kullanılmaktadır (Şekil 7.13).

Ateşleme sistemlerinde gecikmeli kapsüllerin kullanılması, şarj edilen patlayıcı maddelerin hepsinin bir anda ateşlenmesini engellemektedir. Böylece, her bir delik birbirinden bağımsız olarak ateşlenmekte ve bir defada ateşlenen patlayıcı miktarı azalmaktadır. Bir defada devreye giren patlayıcı madde miktarının bu şekilde azaltılması patlatmanın en önemli çevresel etkilerinden olan yer sarsıntılarını da etkisiz hale getirebilmektedir. Gecikmeli kapsül kullanımı, patlatmanın çevresel etkilerini azalttığı gibi, verimliliği de artırmaktadır.



Şekil 7.11. Deliklere patlayıcı madde şarjı



Şekil 7.12. Deliklerin sıkılama işlemleri



Şekil 7.13. ANFO, emülsiyon dinamit ve gecikmeli kapsüller

7.4. Patlatma Kaynaklı Yersarsıntılarının Ölçümleri ve Değerlendirmeler

Bu bölümde, araştırmanın arazi verilerinin toplandığı kiretaşı ocağında yapılan kazı faaliyetlerinin planlanması incelenmiş ve bu amaçla yapılan patlatmaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi açısından patlatma sismografları kullanılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle üzerinde çalışılan kiretaşı ocağına ait arazi (saha) sabitleri tespit edilmiştir ve ocağın farklı bölümlerinden alınan maksimum parçacık hızı değerleri yorumlanmıştır.

7.4.1. Konya çimento kiretaşı ocağında yapılan patlatma ve sarsıntı ölçümleri

Konya Çimento kiretaşı ocağında kazı kolaylığını sağlamak amacıyla yapılan patlatma faaliyetleri patlatma sismografları ile kontrol edilmiştir. Patlatma yapılan

aynının ve ölçüm noktasının koordinatları *Magellan marka Triton 500* model el GPS ile tespit edilmektedir (Şekil 7.14).



Şekil 7.14. Çalışmalarda kullanılan el tipi GPS

Ölçekli mesafenin hesaplanmasında bir parametre olan patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe bu koordinatlar sayesinde belirlenmektedir. Yapılan ölçümler ocağın değişik bölgelerinde kurulan cihazlarla sağlanmaktadır. Aynı patlatma için farklı iki noktaya kurulan cihazların tespit ettiği değerler aşağıda Çizelge 7.1' de sunulmaktadır.

Çizelge 7.1. Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının ölçüm değerleri

| Pat. No | Delik Sayısı | Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı (Q) (kg) | Patlatma bölgesi Ölçüm Noktası Arası Mesafe (R) (m) | Ölçekli Mesafe (SD) (m) | Maksimum Parçacık Hızı (mm/s) | | | |
|---------|--------------|---|---|-------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------|
| | | | | | Tran. Enine | Vert. Düşey | Long. Boyuna | PPV |
| 1 | 14 | 38 | 410 | 66,51 | 0,825 | 0,714 | 0,857 | 0,961 |
| 2 | 8 | 37,75 | 419 | 68,20 | 0,587 | 0,556 | 0,540 | 0,803 |
| 3 | 23 | 37,75 | 264 | 42,97 | 0,857 | 0,365 | 0,825 | 0,892 |
| 4 | 21 | 38 | 427 | 69,27 | 0,730 | 0,429 | 0,810 | 0,928 |
| 5 | 21 | 38 | 423 | 68,62 | 0,587 | 0,349 | 0,444 | 0,623 |
| 6 | 14 | 38 | 467 | 75,76 | 0,746 | 0,984 | 1,400 | 1,780 |
| 7 | 8 | 37,75 | 466 | 75,85 | 0,603 | 0,524 | 1,590 | 1,630 |
| 8 | 23 | 37,75 | 316 | 51,43 | 0,730 | 0,794 | 1,480 | 1,500 |
| 9 | 21 | 38 | 468 | 75,92 | 0,667 | 0,635 | 1,870 | 1,910 |
| 10 | 21 | 38 | 471 | 76,41 | 0,651 | 0,429 | 1,020 | 1,020 |
| 11 | 8 | 50,5 | 330 | 46,44 | 2,020 | 0,476 | 1,980 | 2,450 |
| 12 | 9 | 50,5 | 335 | 47,14 | 1,940 | 0,841 | 2,480 | 2,530 |
| 13 | 13 | 38 | 455 | 73,81 | 0,921 | 0,730 | 0,762 | 0,170 |
| 14 | 8 | 50,5 | 443 | 62,34 | 1,100 | 0,540 | 0,333 | 1,160 |
| 15 | 9 | 50,5 | 422 | 59,38 | 1,270 | 0,937 | 0,444 | 1,340 |
| 16 | 13 | 38 | 67 | 10,87 | 3,440 | 9,050 | 6,220 | 9,430 |
| 17 | 21 | 38 | 294 | 47,69 | 0,603 | 0,651 | 1,210 | 1,250 |
| 18 | 21 | 38 | 280 | 45,42 | 1,640 | 0,825 | 1,540 | 2,080 |
| 19 | 8 | 40,5 | 329 | 51,70 | 0,413 | 0,27 | 0,429 | 0,464 |
| 20 | 8 | 40,5 | 329 | 51,70 | 0,476 | 0,429 | 0,333 | 0,722 |
| 21 | 8 | 40,5 | 297 | 46,67 | 0,397 | 0,317 | 0,429 | 0,574 |
| 22 | 10 | 40,5 | 318 | 49,97 | 0,857 | 0,524 | 0,794 | 1,06 |
| 23 | 10 | 40,5 | 324 | 50,91 | 0,333 | 0,27 | 0,413 | 0,502 |

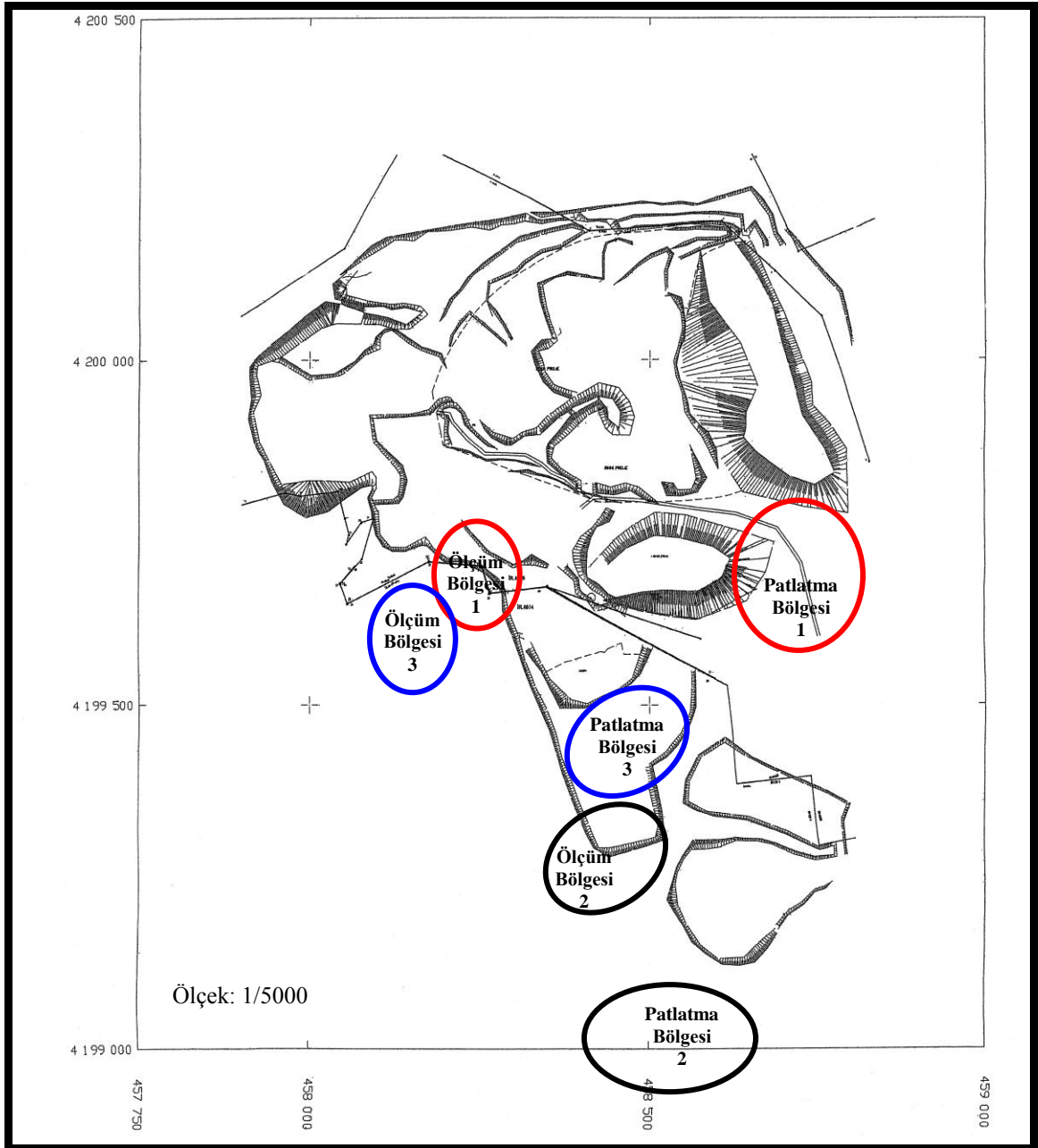
Çizelge 7.1. Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının ölçüm değerleri (Devamı)

| Pat. No | Delik Sayısı | Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı (Q) (kg) | Patlatma bölgesi Ölçüm Noktası Arası Mesafe (R) (m) | Ölçekli Mesafe (SD) (m) | Maksimum Parçacık Hızı (mm/s) | | | |
|---------|--------------|---|---|-------------------------|--|-------------|--------------|-------|
| | | | | | Tran. Enine | Vert. Düşey | Long. Boyuna | PPV |
| 24 | 8 | 40,5 | 323 | 50,75 | 0,73 | 0,571 | 1,16 | 1,26 |
| 25 | 8 | 40,5 | 315 | 49,50 | 0,381 | 0,254 | 0,667 | 0,708 |
| 26 | 8 | 40,5 | 275 | 43,21 | 0,508 | 0,333 | 1,21 | 1,22 |
| 27 | 10 | 40,5 | 298 | 46,83 | 1,03 | 0,683 | 1,87 | 2,11 |
| 28 | 10 | 40,5 | 307 | 48,24 | 0,603 | 0,381 | 0,968 | 0,986 |
| 29 | 11 | 45,5 | 369 | 54,70 | 0,937 | 0,429 | 1,08 | 1,16 |
| 30 | 10 | 45,5 | 369 | 54,70 | 1,000 | 0,556 | 0,651 | 1,000 |
| 31 | 11 | 45,5 | 258 | 38,25 | 1,10 | 0,873 | 1,620 | 1,640 |
| 32 | 10 | 45,5 | 258 | 38,25 | 0,730 | 0,540 | 1,520 | 1,600 |
| 33 | 10 | 40,5 | 307 | 48,24 | 0,190 | 0,254 | 0,381 | 0,398 |
| 34 | 11 | 40,5 | 305 | 47,93 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 35 | 8 | 40,5 | 301 | 47,30 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 36 | 10 | 40,5 | 290 | 45,57 | 0,492 | 0,413 | 0,524 | 0,608 |
| 37 | 11 | 40,5 | 288 | 45,25 | 0,365 | 0,317 | 0,524 | 0,590 |
| 38 | 8 | 40,5 | 284 | 44,63 | 0,349 | 0,270 | 0,365 | 0,487 |
| 39 | 10 | 40,5 | 311 | 48,87 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 40 | 11 | 40,5 | 344 | 54,05 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 41 | 10 | 40,5 | 356 | 55,94 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 42 | 11 | 40,5 | 319 | 50,13 | Maksimum parçacık hızı değeri okunamamıştır. | | | |
| 43 | 11 | 40,5 | 341 | 53,58 | 0,587 | 0,333 | 1,000 | 1,030 |
| 44 | 11 | 40,5 | 321 | 50,44 | 0,587 | 0,397 | 0,571 | 0,764 |
| 45 | 10 | 40,5 | 347 | 54,53 | 0,238 | 0,317 | 0,413 | 0,438 |
| 46 | 10 | 40,5 | 351 | 55,15 | 0,317 | 0,270 | 0,603 | 0,638 |

Çizelge 7.1. Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının ölçüm değerleri (Devamı)

| Pat. No | Delik Sayısı | Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı (Q) (kg) | Patlatma bölgesi Ölçüm Noktası Arası Mesafe (R) (m) | Ölçekli Mesafe (SD) (m) | Maksimum Parçacık Hızı (mm/s) | | | |
|---------|--------------|---|---|-------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------|
| | | | | | Tran. Enine | Vert. Düşey | Long. Boyuna | PPV |
| 47 | 11 | 40,5 | 196 | 30,80 | 1,950 | 1,650 | 1,270 | 2,040 |
| 48 | 14 | 40,5 | 184 | 28,91 | 1,520 | 1,300 | 1,190 | 1,660 |
| 49 | 11 | 40,5 | 132 | 20,74 | 3,710 | 3,860 | 3,370 | 4,450 |
| 50 | 14 | 40,5 | 144 | 22,63 | 3,270 | 4,810 | 2,620 | 5,840 |
| 51 | 8 | 50,5 | 378 | 53,19 | 0,746 | 0,857 | 1,46 | 1,82 |
| 52 | 9 | 50,5 | 394 | 55,44 | 0,556 | 0,397 | 0,619 | 0,709 |
| 53 | 11 | 50,5 | 415 | 58,40 | 0,492 | 0,857 | 1,86 | 2,04 |
| 54 | 8 | 50,5 | 155 | 21,81 | 3,38 | 1,7 | 3,27 | 3,88 |
| 55 | 9 | 50,5 | 117 | 16,46 | 2,14 | 1,41 | 2,08 | 2,64 |
| 56 | 11 | 50,5 | 203 | 28,57 | 2,13 | 1,32 | 2,6 | 3,06 |
| 57 | 13 | 40,5 | 141 | 22,16 | 5,21 | 3,86 | 5,29 | 7,08 |
| 58 | 11 | 40,5 | 129 | 20,27 | 6,21 | 3,71 | 5,51 | 6,78 |
| 59 | 10 | 40,5 | 116 | 18,23 | 2,71 | 2,02 | 2,73 | 3,04 |
| 60 | 12 | 40,5 | 70 | 11,00 | 6,32 | 6,79 | 4,05 | 7,91 |
| 61 | 13 | 40,5 | 108 | 16,97 | 4,91 | 3,32 | 4,06 | 5,28 |
| 62 | 11 | 40,5 | 134 | 21,06 | 2,54 | 2,08 | 3,03 | 3,15 |
| 63 | 10 | 40,5 | 157 | 24,67 | 1,24 | 0,937 | 1,51 | 1,77 |
| 64 | 12 | 40,5 | 171 | 26,87 | 3,41 | 2,03 | 2,68 | 3,55 |

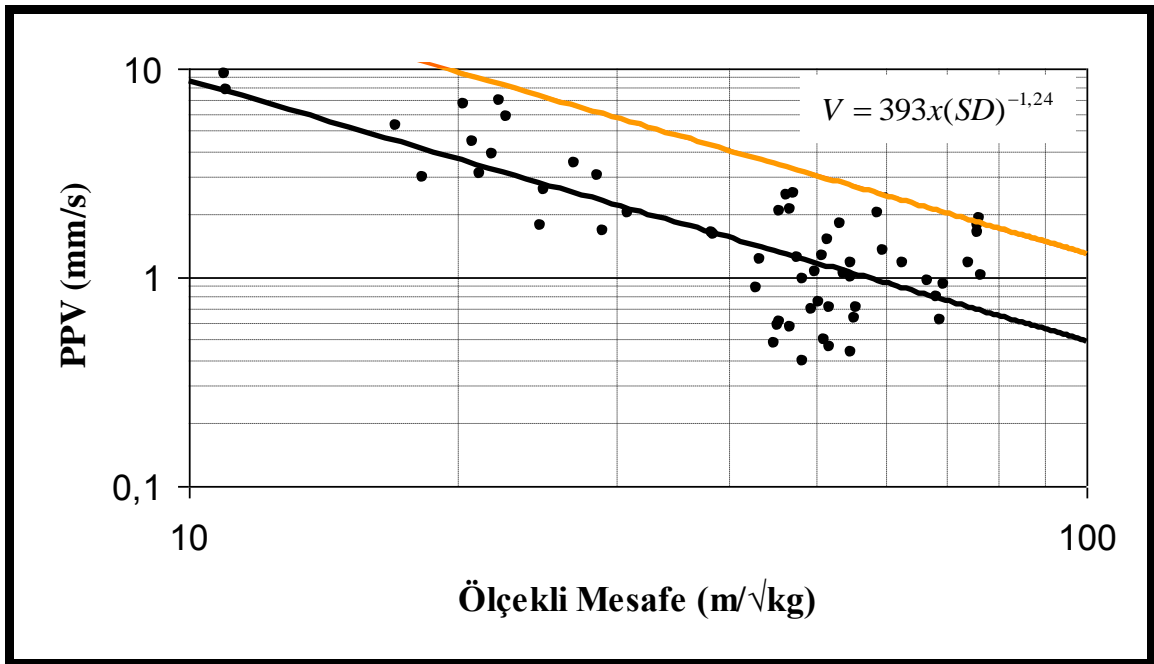
Kazı faaliyetlerinin yürütülmesi için yapılan patlatmalar neticesinde alınan sarsıntı (titreşim) ölçümleri sahanın farklı noktalarına kurulan cihazlarla sağlanmıştır. Konya Çimento Fabrikası, Kireçtaşı ocağında patlatmalı kazı faaliyetlerini üç ana bölgede sürdürmektedir. Patlatma bölgeleri ve bu bölgelere yerleştirilen sismografların konumlandırıldığı bölgeler, işletmeye ait imalat haritasında, Şekil 7.15’de gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Çalışma sahasının imalat haritası (Çamtaş, 2004)

Arazi genellikle tabakalı bir yapı arz ettiği için ölçümler tamamen tabakalı bölgelerde yapılmıştır. Farklı şartlarda farklı bölgelerde ölçülen değerler arasında kıyaslamalar yapılırken patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığında önemli bir etken olduğu bilindiği için mümkün olduğu kadar ve kireçtaşı ocağının sınırlarının izin verdiği kadar uzaklıklar ayarlanmaya çalışılmıştır. Ölçümler yapılırken cihazlar hemen hemen eşit uzaklıklarda olacak şekilde alt basamaklarda, üst basamaklarda, farklı hava şartlarında yapılan atımlar esnasında, stok sahası olarak kullanılan bölgelerde kurulmuş ve ölçümler alınmıştır.

Yapılan patlatmalar sonucunda “*Instantel Minimate Plus*” patlatma sismografları ile kayıt altına alınan en yüksek maksimum hız bileşikleri kullanılarak, ölçekli mesafe değerleri ile logaritmik ölçekle ilişkilendirilmiş (Şekil 7.16) ve bölge kayacına ait % 95 güvenilirlikte iletim ve sönümlenme katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 7.16. Konya Çimento kireçtaşı ocağına ait en yüksek parçacık hızları bileşkesi Ölçekli mesafe arasındaki % 95 güvenilirlikteki ilişki grafiği

Ölçümlerden elde edilen verilerden; enine, boyuna ve düşey maksimum hız bileşenleri belirlenmiş ve bu bileşenlerin en yüksek vektörel bileşikleri için en yüksek parçacık hızı (PPV)–Ölçekli mesafe (SD) grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafiğin ham verileri kullanılarak % 95 güvenilirlik aralığında $V = 393x(SD)^{-1,24}$ eşitliği tespit edilmiştir.

Eşitlikten de görüldüğü gibi incelemeye alınan Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı ocağında yer alan kireçtaşı kütlesi için;

Kayaç iletim katsayısı, $k= 393$

Kayaç sönümlenme katsayısı, $\beta= 1,240$

olarak tespit edilmiştir.

Stok alanı arkasına kurulan cihazlardan alınan verilerin değerlendirilmesindeki amaç yüzeyde bulunan yığının maksimum parçacık hızı üzerinde bir etkisinin olup olmadığı belirlemektir.



Şekil 7.17. Fabrika fırınlarında kullanılan kömür stoklarının bulunduğu bölgenin

Bu amaçla yapılan ölçümler için, patlatma no: 32 ile patlatma no: 39 arasında verilen şartlarda yapılan atımlar esnasında cihazlar, fabrika fırınlarında kullanılan kömür stoklarının bulunduğu bölgenin arkasına ve stokun yan kısmında bulunan ana kayaç üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 7.17). Cihazların patlatma noktasına olan uzaklıkları, stok arkasına kurulan cihaz için 307 m ve stok alanının yan kısmındaki ana kayaç malzemesi üzerine kurulan cihaz için ortalama 290 m olarak belirlenmiş ve ölçümler alınmıştır. Çizelge 7.1’de de görüldüğü üzere stok arkasından alınan maksimum parçacık hızı değerleri ya çok düşük ya da cihaz tarafından hiç

okunamamıştır. Stok bölgesinin yan tarafı için okunan değerlerde de diğer üst kademe verilerine nazaran düşük değerler elde edilmiştir. Diğer bir deyişle stok bölgesinin arkasında yer sarsıntılarının stok tarafından sönümlendiği düşünülmektedir.

Hava şartlarının oldukça yağışlı olduğu dönemlerde, saha içerisinde yoğun bir şekilde su birikintilerinin olduğu gözlenmiştir. Çalışılan bölgede yeraltı su seviyesinin 998 m kotunda olduğu bilinmektedir. Alt kademe basamak deliklerinde sıkça sulu deliklerle karşılaşmaktadır. Dolayısı ile taban kayacının suya doymun olduğu tahmin edilmektedir. Bu şartlarda (Patlatma no:38 ve Patlatma no:43) yapılan patlatmalar neticesinde cihazlar patlatma noktasından 310-355 m uzaklığa ve aralarında yaklaşık 30 metre mesafe bırakılarak kurulmuştur ve ölçümler alınmıştır. Çizelge 7.1’de sunulan şartlarda yapılan atımlar neticesinde, yine Çizelge 7.1’de görüldüğü gibi herhangi bir parçacık hızı değeri elde edilememiştir. Oysa hemen hemen aynı şartlarda ve aynı mesafelerde hava şartları yağışsız ve sahanın kuru olduğu dönemlerde yapılan atımlarda maksimum parçacık hızı değerleri kaydedilebilmiştir.

Yağışın bol olduğu ve sahada bulunan kayaçların suya doymun olduğu durumlarda alınan bu ölçümler, laboratuvar şartlarında oluşturulan suya doymun ve kuru numune modelleri (5. grup modeller) üzerinde yapılan temsili titreşim testi sonuçlarında elde edilen veriler ile uyum içinde hareket etmişlerdir. Yani burada elde edilen sonuçlar laboratuvar çalışmalarında oluşturulan model numuneler üzerinde yapılan yapay titreşim testleri neticesinde elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişimleri destekler niteliktedir.

Yukarıda Çizelge 7.1’de verilen ölçümlerden ilk beş değer ve bu değerleri takip eden beş değer eşit patlatma şartlarında alt ve üst basamaklara (Şekil 7.18) kurulan “*Instantel Minimate Plus*” patlatma sismografları ile kaydedilen değerlerdir.



Şekil 7.18. Çalışma bölgesine ait alt ve üst basamak görünüşü

Bu veriler değerlendirildiğinde eşit şartlarda yapılan atımlardan alt basamakta ölçülen sarsıntı değerlerinin üst basamaktan ölçülen değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Oysa alt basamak verilerinin okunduğu nokta patlatma noktasına biraz daha yakın mesafededir. Şekil 7.18’de görüldüğü üzere üst basamak kayaçlar alt basamak kayaçlara nazaran daha kırıklı ve zayıf bir yapı içermektedir. Bölgeye ait kaya kütle sınıflamasında elde edilen tanımlamalar düşünüldüğünde, kayacın zayıf bölgesi olan üst kısımlarında maksimum parçacık hızının daha fazla olması, laboratuvar şartlarında oluşturulan zayıf kayaçlar için elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri ile aynı karakteristikte olup, laboratuvar modellerini destekler niteliktedir. Aynı şekilde alt basamağın daha düşük maksimum parçacık hızına sahip olması kayacın sağlamlaştıkça maksimum parçacık hızı değerinin düşeceğine işaret etmektedir.

Saha genel olarak tabakalı bir yapı arz etmektedir. Sahanın yapısı, laboratuvar şartlarında oluşturulan 4. grup, yani farklı tabaka kalınlığına sahip modeller oluşturularak temsil edilmeye çalışılmıştır (Şekil 7.19 ve Şekil 3. 16).



Şekil 7.19. Sahaya ait Farklı tabaka kalınlığına sahip ayna yüzeyi

Tabaka kalınlıkları yüzeye yakın bölgelerde azalırken, derinlerde tabaka kalınlıklarında artış göstermektedir. Başka bir deyişle üst basamak tabakaları alt basamak tabakalarına nazaran daha ince tabakalıdır. Alt basamak ve üst basamak ölçümleri değerlendirildiğinde üst basamak verilerinin alt basamak verilerine nazaran daha büyük çıkması, laboratuvar ortamında oluşturulan farklı tabaka kalınlıklarına sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonuçları ile aynı karakterdedir. Yani tabaka kalınlığı arttıkça bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde bir azalmanın varlığı söz konusu olmaktadır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Delme-patlatma faaliyetleri madencilik ve inşaat sektörünün önemli faaliyetlerinden bir tanesidir. Maden ocaklarında üretim yapabilmek için kazı faaliyetlerinin süreklilik arz etmesi gerekmektedir. Kazıyı kolaylaştırmak amacıyla mevcut kayayı gevşetmek gerekmektedir. Patlatmalı kazı faaliyetleri kayayı gevşetmek amacıyla kullanılan en ekonomik yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kazı kolaylığının yanı sıra üretilen malzemeyi belirli parça boyutlarına getirebilmek ideal patlatma şartlarıyla mümkün olmaktadır. Günümüz şartlarında en ekonomik kazı yöntemi olan patlatmalı kazı faaliyetleri neticesinde faydalı ve faydasız enerji olarak açığa çıkan enerji türlerinden, faydasız enerjiler önlem alınmadıkça çevreye önemli ölçüde zarar verebilmektedir. Bu tür enerjilerin en önemlisi olan yersarsıntılarını kompleks bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmakla beraber, bunların etki alanı göz önünde bulundurulduğunda özel olarak irdelenmesi ve tedbir alınması kaçınılmazdır.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler, laboratuvar ve arazi çalışmaları olarak iki ana kısımda özetlenebilir. Laboratuvar çalışmaları sırasında, dokuz farklı kayaç örneği kullanılmıştır. Numuneler seçilirken fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından birbirinden farklı olan kayaç örnekleri tercih edilmiştir. Buldukları bölgelerden kaya blokları olarak laboratuvara getirilen örnekler, kaya mekaniği deneylerinde numune olarak kullanılmak amacıyla ISRM'1981 standartlarına göre hazırlanmıştır. Bunlara ilave olarak hazırlanan titreşim testi numuneleri 50x15x10 cm boyutlarında özel olarak farklı süreksizlikleri modelleyerek hazırlanmışlardır.

Kullanılan kayaç örnekleri üzerinde ISRM'1981 standartlarına uygun olarak fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Fiziksel olarak, sertlik, yoğunluk belirleme, toplam porozite ve su emme kapasite değerleri, mekanik özelliklerden de tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, endirekt çekme dayanımı değerleri belirlenmiştir.

Kayaçlar içinde ilerleyen sismik dalgalarla, kayaç iç yapısının sismik hareket iletme etkileşimini anlamak amacıyla yapılan titreşim testleri, bu tez çalışması kapsamında hazırlanan özel test düzeneği yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Titreşim deneyleri için hazırlanan numunelerde yapay olarak oluşturulan titreşimler, her test için numunenin aynı lokasyonundan başlatılmaktadır. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını temsilen oluşturulan bu titreşimlerin maksimum parçacık hız değerleri, titreşimlerin

oluşturulduğu lokasyonun 35 cm uzağında “*Instantel-Minimate Plus*” patlatma sismografi ile ölçülmüştür. Bu çalışma içeriğinde tasarlanan bir deney düzeneğiyle, test numunelerine istenilen seviyede, tekrarlanabilen, titreşimler sağlanmıştır. Bu şekilde titreşim testleri standart hale getirilmiştir. Belirlenen kaya mekaniği deneyleri sonuçları ile titreşim testleri sonuçları arasındaki ilişkiler ilgili verilerin değerlendirilmesiyle korelasyon katsayısı kullanılarak belirlenmiştir.

8.1. Kayaç Özellikleriyle Titreşim Parametreler Arasındaki İlişkiler

Yapılan araştırmalarda, numunelere ait yoğunluk değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki araştırıldığında, maksimum parçacık hızı değerleri ile yoğunluk değerleri arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Özellikle enine maksimum parçacık hızı değerleri ile kayaç örneklerine ait yoğunluk değerleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısı ($R^2=0,9751$) ile kuvvetli bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Test numunelerinin boyuna parçacık hızı, düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızları ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise korelasyon değerleri 0,5518 ile 0,6378 arasında değişmektedir. Dolayısıyla ilişki, muhtemel, olarak tanımlanabilmektedir.

Schmidt sertlik değerleri ile maksimum parçacık hızı arasındaki ilişkiye bakıldığında, enine maksimum parçacık hızı üzerinde schmidt sertliğinin baskın bir etkisinden bahsetmek mümkündür ($R^2=0,7498$). Boyuna parçacık hızı ile schmidt sertlik değeri arasındaki ilişki eğrisi değişkenler arasında bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir ($R^2=0,581$). Bunların aksine, düşey yöndeki maksimum parçacık hızı ile bileşke maksimum parçacık hızı değerleri üzerinde schmidt sertlik değerinin baskın bir parametre olmadığı belirlenmiştir.

Toplam porozitenin maksimum parçacık hızları üzerinde etken bir parametre olduğu gözükmemektedir. Bu iki değişken arasında doğru orantılı bir ilişkinin mümkün olabileceği görülmüştür. Patlatma kaynaklı yersarsıntılarını temsilen oluşturulan yapay darbelerin oluşturduğu enine maksimum parçacık hızı ile porozite değerleri arasında R^2 değeri 0,9705 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen boyuna maksimum parçacık hızı değerleri ile porozite değerleri arasında 0,7713, düşey maksimum parçacık hızı değerleri ile porozite değerleri arasında 0,6643, bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile porozite değerleri arasında ise 0,7361 değerinde bir korelasyon katsayısı tespit edilmiştir.

Kayaç numunelerinin maksimum parçacık hızlarının, su emme kapasite özellikleri ile ilişkili bir şekilde değişim gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu iki değişken arasında da doğru orantılı bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Özellikle test örneklerine ait enine maksimum parçacık hızı değerleri ile su emme kapasiteleri arasında korelasyon değeri 0,9813 olarak tespit edilmiş ve değerler arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde örneklere ait boyuna maksimum parçacık hızı, düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile su emme değerleri arasında ise korelasyon katsayıları (R^2) yaklaşık 0,70 olarak belirlenmiştir.

Kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir. Elde edilen enine maksimum parçacık hızı değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki korelasyon katsayısı değeri $R^2= 0,8751$ olarak belirlenmiş ve ilişki mümkün olarak tanımlanmaktadır. Boyuna maksimum parçacık hızı, düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasında ise korelasyon değerleri $R^2= 0,50-0,70$ arasında değişmektedir. Dolayısıyla bu değerler arasında muhtemel ilişkilerin olabileceği belirlenmiştir.

Endirekt çekme dayanım değerleri ile maksimum parçacık hız değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, enine maksimum parçacık hızı ile endirekt çekme dayanımı değerleri arasında bir ilişkidir bahsedilebilmektedir ($R^2=0,8783$). Boyuna maksimum parçacık hızı ile endirekt çekme dayanımı değerleri arasında ise R^2 değeri 0,5275 olarak belirlenmiştir. Ancak, düşey ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri ile endirekt çekme dayanımı değerleri arasında Belirlenen R^2 değerlerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla örneklerin endirekt çekme dayanımları ile düşey maksimum parçacık hızı ve bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasında bir ilişkin varlığı belirlenmemiştir.

Kayaç örneklerinin nokta yükleme dayanımları ile maksimum parçacık hızı değerleri arasında, genel olarak ters orantılı bir ilişkinin varlığı söz konusu olmuştur. Yapılan testler neticesinde elde edilen enine ve boyuna maksimum parçacık hızı değerleri ile nokta yükleme değerleri arasında sırasıyla korelasyon katsayısı değerleri 0,8983 ve 0,7346 olarak belirlenmiştir. Buna göre bu değerler çifti aralarında, mümkün, bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Belirlenen düşey ve bileşke maksimum parçacık hızı ile nokta yükleme dayanımı değerleri arasında ise korelasyon değerleri sırasıyla 0,5549

ve 0,5667 olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile bu değişkenler arasında, muhtemel, bir ilişkiden bahsedilebilmektedir.

Kullanılan kayaç numunelerinin titreşim değerleriyle; tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları, titreşim değerleriyle endirekt çekme dayanımı arasında oluşan korelasyon katsayılarından daha güçlü olmuştur.

8.2. Süreksizlik İçeren Laboratuvar Modellerinin Titreşim Analiz Sonuçları

Kaya kütlesi özelliklerine bağlı olarak titreşim testleri neticesinde elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişimlerin belirlenebilmesi için her bir numuneden kaya kütlelerinde görülmesi muhtemel beş farklı fiziksel model oluşturulmuştur. Bu modeller, yapay dalga oluşturulan noktaya 90° açılı, 45° açılı, 0° açılı (düşey tabakalı) modellerdir. Bunlara ilaveten yatay tabakalı modeller ve kuru-suya doymun modeller olmak üzere diğer iki farklı model de incelemelerde kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında örnek olarak kullanılmak üzere seçilen kayaçlardan hazırlanan ve titreşim kaynağıyla, titreşim ölçüm noktası arasında 90° süreksizlik açısına sahip numuneler genel olarak incelendiğinde, testler sırasında kullanılan dokuz örnekte de süreksizlik sayısının artmasıyla örneklere ait bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bileşke maksimum hızı değerlerindeki azalma miktarları yüzde olarak incelendiğinde bütün örnekler için en yüksek düşüşün 90° süreksizlik açısına sahip numunelerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yapılan titreşim ölçümlerinde 45° süreksizlik açısına sahip numunelerde de süreksizlik sayısının artmasıyla bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Ancak bu azalma miktarının, 90° süreksizlik açılı numunelerde hesaplanan % azalma miktarlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak 0° süreksizlik düzlemleri olarak tabir edilen modeller incelendiğinde, bu örnekler üzerinden elde edilen bileşke maksimum parçacık hızlarının numune sayısı ile çok küçük değişimler gösterdiği belirlenmiştir. Bu model numune başlıkları altında verilen grafikler incelendiğinde değerlerin hemen hemen sabit değerler olduğu görülmüştür.

Farklı tabaka kalınlığına sahip numuneler üzerlerinde gerçekleştirilen titreşim testleri incelendiğinde ise, tabaka kalınlığı arttıkça numunelerin bileşke maksimum parçacık hızı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Farklı açılarda farklı süreksizlik sayıları ile elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerlerindeki azalma miktarları birinci süreksizlik sayısı ve üçüncü süreksizlik sayısında ölçülen değerlerin arasındaki % azalma miktarları belirlenerek tespit edilmiştir. Kayaçlar heterojen yapılar olduğu için blokların yapısı sebebiyle oluşacak bileşke maksimum parçacık hızı değerleri değişimlerini kıyaslamada bertaraf edebilmek için her bir kayaç ayrı ayrı irdelenmiş ve azalma yüzdeleri ile değerlendirilmeye alınmışlardır. 90° açılı, 45° açılı, 0° süreksizlik açılına sahip modeller üzerindeki % azalma miktarlarının açılara bağlı değişimleri incelendiğinde açı arttıkça % azalma miktarının da arttığı belirlenmiştir.

8.3. Suya Doygun ve Kuru Laboratuvar Modellerinin Titreşim Analiz Sonuçları

Bu araştırmada kullanılan kuru ve suya doymuş numuneler üzerinde yapılan titreşim testleri neticesinde elde edilen bileşke maksimum parçacık hızı değerleri arasında oldukça büyük değişimlerin olduğu belirlenmiştir. Bir başka deyişle kayacın su içeriğinin, bileşke maksimum parçacık hızı değerleri üzerinde baskın bir parametre olduğundan bahsetmek mümkündür. Arazi çalışmalarında elde edilen yağışlı ve yağışsız dönemlerdeki ölçümlerde benzer sonuçlara işaret etmektedir.

8.4. Arazi Şartlarında Uygulanan Titreşim Analiz Sonuçları

Arazi çalışmaları kapsamında, Konya Çimento A.Ş' ye ait açık ocak işletme tekniğiyle, patlatmalı kazı faaliyetleri ile üretim yapan kireçtaşı ocağı çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Yerleşim yerlerine oldukça yakın bir bölgede faaliyet gösteren işletmenin patlatma faaliyetleri neticesinde oluşan yersarsıntıları *Instantel* marka *Minimate Plus* model patlatma sismografi ile incelenmiş ve kaya iletim ve sönümleme katsayıları belirlenmiştir. Ayrıca aynı atımlar neticesinde farklı iki cihaz kurularak, farklı iki noktadan maksimum parçacık hızı değerleri ölçülmüş ve ölçüm değerleri kıyaslanmıştır.

Ölçümlerden elde edilen enine, boyuna ve düşey maksimum hız bileşenleri belirlenmiş ve bu bileşenlerin en yüksek vektörel bileşkeleri için en yüksek parçacık

hızı (PPV)–Ölçekli mesafe (SD) ilişkileri belirlenmiştir. Belirlenen ilişkilere bağlı olarak % 95 güvenilirlik aralığında $V = 393x(SD)^{-1.24}$ eşitliği tespit edilmiştir. Eşitlikten de görüldüğü gibi arazi saha çalışmalarının yapıldığı kireçtaşı ocağındaki gösel kireçtaşları için kayaç iletim katsayısı (k) 393 ve kayaç sönümleme katsayısı (β) 1,240 olarak tespit edilmiştir.

Patlatma no: 32 ile patlatma no: 39 arasında verilen şartlarda yapılan atımlar esnasında cihazlar, fabrika fırınlarında kullanılan kömür stoklarının bulunduğu bölgenin arkasına ve stokun yan kısmında bulunan ana kayaç üzerine yerleştirilmiştir. Cihazların patlatma noktasına olan uzaklıklar da dikkate alındığında, bu ölçümlerde yersarsıntısının sönümlenmiş olduğu ortaya çıkmıştır. Ölçümlerde stok arkasından alınan maksimum parçacık hızı değerleri ya çok düşük olarak belirlenmiş ya da cihaz hiç tetiklenmemiş yani okuma alınamamıştır. Stok bölgesinin yan tarafı için okunan değerlerde de ocağın diğer üst kademelerinde yapılan ölçüm değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir.

Hava şartlarının oldukça yağışlı olduğu dönemlerde, saha içerisinde yoğun şekilde su birikintilerinin olduğu gözlenmiştir. Çalışılan bölgede yeraltı su seviyesinin 998 m kotunda olduğu bilinmektedir. Alt kademe basamak deliklerinde sıkça sulu deliklerle karşılaşmaktadır. Dolayısı ile taban kayacının suya doymun olduğu tahmin edilmektedir. Bu şartlarda (Patlatma no:38 ve Patlatma no:43) yapılan patlatmalar neticesinde cihazlar patlatma noktasından 310-355 m uzaklığa ve aralarında yaklaşık 30 metre mesafe bırakılarak kurulmuştur ve ölçümler alınmıştır. Bu patlatma şartlarında yapılan atımlar neticesinde, yine herhangi bir parçacık hızı değeri elde edilememiştir. Oysa hemen hemen aynı şartlarda yapılan atımlar neticesinde ve aynı mesafelerde, hava şartları yağışsız ve sahanın kuru olduğu dönemlerde yapılan atımlarda maksimum parçacık hızı değerleri kaydedilebilmiştir. Yağışın bol olduğu ve sahada bulunan kayaçların suya doymun olduğu durumlarda alınan bu ölçümler, laboratuvar şartlarında oluşturulan suya doymun ve kuru numune modelleri üzerinde yapılan temsili titreşim testi sonuçlarında elde edilen veriler ile uyum içinde hareket etmişlerdir. Kuru ortamda yapılan arazi ve laboratuvar titreşim test sonuçları, suyadoymuş ortamda yapılan ölçüm (laboratuvar ve arazi) değerlerine göre fazladır. Yani burada elde edilen sonuçlar laboratuvar çalışmalarında oluşturulan model numuneler üzerinde yapılan yapay titreşim testleri neticesinde elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerindeki değişimleri destekler niteliktedir.

Çizelge 7.1’de verilen ölçümlerden ilk beş değer ve bu değerleri takip eden diğer beş değer, eşit patlatma şartlarında alt ve üst basamaklara kurulan *Instantel Minimate Plus* patlatma sismografları ile kaydedilen değerlerdir. Bu veriler değerlendirildiğinde eşit şartlarda yapılan atımlardan alt basamakta ölçülen sarsıntı değerlerinin üst basamaktan ölçülen değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Oysa alt basamak verilerinin okunduğu nokta patlatma noktasına biraz daha yakın mesafededir. Bölgeye ait kaya kütle sınıflamasında elde edilen tanımlamalar düşünüldüğünde, kayacın zayıf bölgesi olan üst kısımlarında maksimum parçacık hızının daha fazla olması, laboratuvar şartlarında oluşturulan zayıf kayaçlar için elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri ile aynı karakteristikte olup, laboratuvar modellerini destekler niteliktedir. Aynı şekilde alt basamağın daha düşük maksimum parçacık hızına sahip olması kayacın sağlamlaştıkça maksimum parçacık hızı değerinin düşeceğine işaret etmektedir.

Ocağın genel yapısı düşünüldüğünde, tabaka düzlemlerinin üst kademelerde kalınlığının azalması ve alt kademelere inildikçe kalınlığın artması, çalışmanın 4. Grup model numunelerle paralellik arz etmektedir. Gerek laboratuvar, gerekse arazi ortamında tabaka kalınlığının azaldığı bölgelerde maksimum parçacık hızı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Tabaka kalınlığının arttığı alt kademelerde ise üst kademelere nazaran ölçülen parçacık hızı değerleri daha düşük çıkmaktadır.

8.5. Sonuç Olarak

Bu araştırma kapsamında ele alınan deneyler, bunların sonuçları ve değerlendirmeler, patlatma faaliyetlerinin madencilik çalışmalarında fiziko-mekanik özellikler açısından araştırılması gereken, vazgeçilmez bir inceleme alanı olduğunu vurgulamıştır. Başarılı bir patlatma tasarımında; ekonomiklik ve istenilen parça boyutu, gevşetilen malzeme hacmi ile orantılı olduğu kadar çevresel etki bakımından da düşünülmelidir. Madencilik faaliyetlerinin, artan hammadde gereksinimine bağlı olarak artması, madenciliği her türlü kaynağı değerlendirme yoluna götürmektedir. Günümüz işletmeleri baraj, tarihi yapılar, yüksek gerilim hatları, su depoları, ticari ve sosyal yerleşim yerleri yakınlarında faaliyet göstermektedir. Bu tür bölgelerde patlatma faaliyetleri daima kontrollü ve uzman kişiler nezaretinde yapılmalı ve olası bir kaybın yaşanmaması için elden gelen bütün imkanlar kullanılmalıdır.

Madencilik faaliyetleri dışında yapılan kazı çalışmalarında; yol, boru hattı gibi inşaat faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgelerde de patlatmalar kontrollü bir şekilde

sürdürülmelidir. Kontrollü patlatma için patlatma şartları kadar mevcut zeminin durumu da analiz edilmelidir. Mevcut süreksizlik düzlemleri, faylanmalar, yeraltı su durumu ve kaya maddesi özellikleri bilinerek yapılan atımlar hem patlatmanın ekonomikliğine hem de çevresel etkilerine pozitif yönde katkı sağlayacaktır. Gerekli bölgelerde titreşim etkisini azaltıcı unsurlar kullanılmalıdır. Örneğin, patlatma bölgesi ile hasar görmesi istenmeyen bölge arasında patlatma kaynaklı sarsıntıların yansımaları için serbest yüzeyler oluşturulmalı, stok alanları oluşturularak sönümlenme sağlanabilmeli veya bölge suya doyurularak sarsıntı değerleri minimize edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ak, H., 2006, "Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Yönel Değişiminin Araştırılması" *Doktora Tezi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s.261*
- Aldaş, G., 2002, Effect of Some Rock Mass Properties on Blasting Induced Ground Vibration Wave Characteristics At Orhaneli Surface Coal Mine, *METU, Ph.D Thesis, Ankara, p.113*
- Alpaydın, E, Alpsar, M., Elmacı, E., Halıcılar, G., İnal, H.S., İşcen, H.İ., Patır, O., Özkazanç M.Ö., 2004, *Nitromak Eğitim Yayınları, Patlayıcı Maddeler ve Patlatma Teknikleri, Ankara, s.129*
- Ambraeys, N.R., Hendron, A.J., 1968; Dynamic Behaviour Of Rock Masses, İn: *Rock Mechanics İn Engineering Practice, Editors: Stagg, K.G., Zienkiewicz, O.C., John Wiley And Sons, London, pp. 203-207*
- Arpaz, E., 2000, Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi Ve Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, s. 174*
- 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*
- Bauer, A., Calder , P.N., 1977, Pit Slope Manual, Chapter 7, *Canmet Report ,77-14.*
- Bayram, N., 2007, <http://www.panoramio.com/photo/2711058> [Ziyaret Tarihi: 13 Aralık 2009]
- Bilgin, H.A, İnal, H.S., 2006, Ulus-Keçiören Metro Tünelleri İnşaatıda Yer Titreşimi Denetimi ve Kaya Özellikleri İle İlişkisi, *Kayamek'2006, İstanbul, pp. 237-243*
- Bilgin, H.A., Çakmak, B.B. 2006. Konya Çimento Hammadde Ocağı Patlatma Çevresel Etki Etüdü Sonuç Raporu, *ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara. s.43*
- Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç.M., 1999, Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisi ve Büyüme Faktörünün Önemi, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi, Ankara, ss. 25-32*
- Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M. ve Aldaş, G.G.U., 2000, Yeniköy Linyit İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yersarsıntılarının İncelenmesi, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, ss.147-158*
- Bilgin, H.A., Esen, S. ve Kılıç, M. 1998, TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi için Araştırma, *Proje kod no: 97- 03-05-01-08, ODTÜ, Ankara, s. 100*

- Bilgin, H.A., Pasamehmetoglu, A.G., Özkahraman H.T., 1993. Optimum Burden Determination and Fragmentation Evaluation by Full Scale Slab Blasting, Rock Fragmentation by Blasting, *Fragblast-4, A.A.Belkama publ.*, pp. 337-344, Vienna, Austria
- Blair, D.P. And Spathis A.T., 1982, Attenuation of Explosion Generated Pulse On Rock Masses, *Journal Geophys. Res.*, pp. 3385-3892
- Bohloli, B.,1997 Effect of The Geological Parameters on Rock Blasting Using The Hopkinson Split Bar, *Int. J. Rock. Min. Sci.*, V. (34)
- Brady, E.H. & Brown, E.T., 1985, "Rock Mechanics For Underground Mining, *Kluwer Academic Publishers*, New York, p. 628
- Ceylanoğlu, A. 1991. Açık İşletme Tekniği Ders Notları, *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Sivas, s. 71
- Cook, N.G.W, 1992, Natural Joints İn Rock Mechanical, Hydraulic And Sismic Behaviour and Properties Under Normal Stres, *Int. J. Rock. Min. Sci. Geomech.*, (29), pp. 198-223
- Crandell, F.J., 1949, Ground Vibration Due to Blasting and Its Effect Upon Structures, *Journal of The Boston Society Of Civil Engineers*, 49 (2), pp 152-168
- Çamtaş İnşaat Mad. Dış Tic Ltd. Şti., 2004, Konya Çimento San. A.Ş, Sondaj Sonuç Raporu, *Konya Çimento San. A. Ş. Arşivi*, Konya
- Çebi, M.A., 2007, S.L.İ' de Yapay Süreksizliklerin Patlatma Kaynaklı Yersarsıntılarına Etkisinin İncelenmesi, *Y. Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, s.86
- Çilsal, M., Cücen, Ö., Timur, E., 2006, The Effect of Geotechnical Factors on Blasting Induced Graund Vibration Particle Velocity, *Tunnelling And Underground Space Tech.*, 21, pp.235-242
- Davies, B., Farmer, I.W., Attewell, P.B., 1964; Ground Vibration From Shallow Sub-Surface Blasts, *The Engineer*, London, 217, pp.553-559
- Dick, R.A., Fletcher, L.R., D'Andrea, D.V., 1983, Explosives And Blasting Procedures Manual, *USBM, IC 8560*, USA, p.44
- Dowding, C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, *Prentice-Hall, Englewood Ciffs*, USA, p. 289
- Dowding, C.H. and Aimone C.T., 1992, Rock breakage: Explosives, *Mining Engineering Handbook*, Chapter 9.2, pp. 722-737
- Edwards, At., Northwood, T.D., 1959, Experimental Blasting Studies on Structures, *National Research Council*, Ottawa, Kanada

- Erçikdi B. Cihangir F. Kesimal A., 2006, Korkuthan Tasocağında Yapılan Patlatmalı Kazı Çalışmalarının Çevresel Açından Değerlendirilmesi, 8. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu* s. 221-227
- Eskikaya Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., 2008, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası*, s.678, Ankara
- Fookes, P.G., and Dennes, B., 1969, Observational studies on fissure patterns in Cretaceous sediments of southeast England, *Geotechnique*, 19 (4), 453-477
- Foster, G.A., 1983; "OSM's New Blasting Regulations, *A More Reasonable Interpretation*, Stone News
- Ghosh, A., Daemen, J.J.K., 1983; A Simple New Blast Vibration Predictor (Based On Wave Propagation Laws), 24. *U.S. Symp. On Rock Mechanics*, June, pp.151-161.
- Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A., Singh, B., 1987; "Dynamic Effects in Various Rock Mass and Their Predictions", *J. Mines, Met. Fuels*, pp. 455-462.
- Gupta, R.N., Roy, P.P., Sing, B., 1988, On a Blast Induced Blast Vibration Predictor for Efficient Blasting, *Proceedings Of The 22th International Conference Of Safety in Mines*, pp. 1015–1021
- Gustafsson, T., 1973, Swedish Blasting Technique, *Barutsan Dergisi*, Sayı:3, Ankara.
- Hawkins, L.V., 1961, The Reciprocal Method of Routine Shallow Seismic Refraction Investigations, *Geophysics* 26 (1961), pp. 806–819
- Hindistan Standartları Enstitüsü No:6922 1973
- Hoek, E., Bray, J.W., 1991, Kaya Şev Stabilitesi, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını*, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.) Ankara.
- InstanTel Inc., 1993; Blastmate Series II User Manual, 59 p., Kanada.
- ISRM, 1981, ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing And Monitoring. E.T. Brown (Ed), *Pergamon Pres*, London, p.211
- ISRM, 1978, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials: Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16p.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A., Translated By Ramiro Y.V., 1995, Drilling and Blasting of Rocks, *A.A. Balkema Publishers*, ISBN: 90 5410 1997, Rotterdam, pp.390

- Johnston, G.J., Durucan, Ş., 1994, The Numerical Prediction, Analysis and Modeling of Ground Vibration Induced by Blasting, *Third International Symposium On Mine Planning And Equipment Selection*, 18-20 October, İstanbul
- Kahriman, A., 1995, *Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas*
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A., 1996, Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, 2. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, Ankara, s. 89-96,
- Kahriman, A., Gungor, T., 1999 Prediction of Ground Vibration Produced From Bench Blasting, *Proceedings of Twenty-Fifth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, Nashville, Tennessee, U.S.A. pp.379-386,
- Kahriman, A., Tuncer, G., Gorgun, S., Karadoğan A.K., 2000, Estimation Particle Velocity on the Basis of Blast Event Measurements, *26th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique Anaheim, Ca, Vol II* p.107-115
- Kahriman, A., 2001, Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting for An Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, *Min. Res. Eng.*, Vol.10, pp. 205-218
- Kahriman, A., 2002 Predictability of the Ground Vibration Parameters Induced by Blasting During The Tunneling, *Min. Res. Eng.*, Vol. 11, pp. 279-291
- Kahriman, A., Gungor, T., Gorgun, S., Karadoğan, A., Özdemir, K., 2003, Prediction of the Ground Vibration Attenuation Induced by Blasting for the Different Rock Masses, *Proceedings of The Twenty-Ninth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, Vol 1, 193-201
- Kahriman, A., Gungor, T., 2006a, Investigation of Ground Vibration Induced by Blasting at Hisarcik Boron Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting For An Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, *Min. Res. Eng.*, Vol.10, pp.205-218
- Kahriman, A., Özer, Ü., Karadoğan, A., Adıgüzel, D., Tuncer, G., Kara, M.Y., Akyol, H., 2006b, “Çatalca Yöresi Akyol Taş Ocağında Patlatmalı Kazı Çalışmalarından Kaynaklanan Titreşimlerin Çevresel Hasar Riski Açısından Analizi”, 4. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, ss. 109 – 116
- Karadoğan, A., 2008, Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- Karakuş, D., 2000, Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*

- Karpuz, C., Hindistan, M. A., 2006, Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları, *Maden Mühendisleri Odası*, Ankara, s.346
- Kavuşan, G., 2001, [Http://80.251.40.59/Eng.Ankara.Edu.Tr/Jm209/Saha/Lok6.Html](http://80.251.40.59/Eng.Ankara.Edu.Tr/Jm209/Saha/Lok6.Html) [Ziyaret Tarihi: 02 Nisan 2009]
- Kertsen, R.W.O., 1990, The Stres Distribution Required for Fault and Joint Development, *Proc. Int.. Conf. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, Vienna, Austria, 639-646
- Konya C.J., Walter E. J., 1990, "Surface Blast Design", Prentice Hall, ISBN, 0-13-877994-5, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 20-22
- Konya-Çumra-Karapınar Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, 1975, *DSİ Genel Müdürlüğü*, Ankara
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Kızıl, M.S., 2001, Açık İşletme Tekniği, *D.E.Ü.Müh.Fak.Basım Ünitesi*, İzmir, s. 467
- Kuzu, C., 2009, [Http://Web.İtu.Edu.Tr/~Kuzu/Pro/Part1.Html](http://Web.İtu.Edu.Tr/~Kuzu/Pro/Part1.Html) [Ziyaret Tarihi: 16 Mayıs 2008]
- Langefors, U., Kihlstrom, B., 1967, The Modern Techniques of Rock Blasting, *John Wiley & Sons Inc.*, New York, p. 405
- Langefors, U, Khilström, B., 1973, *Rock Blasting*, John Wiley And Sons, New York
- Meyer, R., 1977, Explosives, *Verlag Chemie GmbH*, Weinheim
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., And Duvall, W.I., 1971, Blasting Vibrations And Their Effects On Structures, *Bulletin No. 656*, Washington, DC: U.S. Bureau of Mines.
- Olofsson, S. O., 1988, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, *ISBN 91- 7970-634-7*, Sweden, p.303
- OSM, 1983; Rules And Regulations, *Office Of Surface Mining Reclamation And Enforcement*, Vol 46, USA.
- Osmre, 1983, Federal Register Rules And Regulations, Vol. 48, No. 46
- Özer, Ü., Dağ, A., 2004, Petrol Boru Hattı Yakınında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesi. *Kayamek'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, ss 349-354.
- Özkan, İ., Özşen, H., 2008, Şev Yerdeğişimlerinin Bir Açık Maden Ocağı için Uzun Dönemde İzlenmesi ve Modellenmesi, *TÜBİTAK Araştırma Projesi*, Proje No:106M126, Nihai Rapor, Konya

- Priest, S.D., 1993, Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman&Hall, pp.453
- Rockwell, E.H., 1934, Vibrations Caused by Quarry Blasting and Their Effect on Structures, *Rock Products*, Wilmington 20, pp. 58-61.
- Rosenthal, M.F., Morlock, G.L., 1987, Blasting guidance manuel, *OSMRE, USA*
- Roy, P.P., 1991; Vibration Control in an Opencast Mine Based on Improved Blast Vibration Predictors, *Mining Science and Technology*, 12, pp. 157-165
- Saltoğlu, S., 1976, Madenlerde Hazırlık ve Kazı İşleri, *İTÜ Kütüphanesi*, Sayı:1062, İstanbul s.366
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59, pp.34–35.
- Shoop, S.A., Daemen, J.J.K., 1983; Sire-Specific Predictions of Ground Vibrations Induced by Blasting, *AIME Spring Meeting*, March, Atlanta
- Singh, V., Singh, T.N., 2006, Safe Blasting Near Important Civil Structures: A Case Study, *Int. Society Of Explosive Eng.*, Vol. 1, p.1-12.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Koop J.W., Dowding, C.H., 1980, Structure Response And Damage Produced By Ground Vibration From Surface Mine Blasting, *RI 8507, Bureo Of Mines*, p.74
- Tamrock, (1984), Handbook of Surface Drilling and Blasting, *Painofaktorit*, Finland
- Thoenen, J.R., Wtndes, S.L., 1942, Seismic Effects On Quarry Blasting, *U.S. Bureu of Mines, Bulletin*, p. 442
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2002, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, S.243.
- Wu, Y.K., Hao, H., Zhou, Y.X., Chong, K., 1998, Propagation Characteristics of Blast-Induced Shock Waves in a Jointed Rock Mass, *Soil Dynamics and Eartquaeke Engineering*, pp. 407-412.
- Yıldız, R., Köse, H., 2003, Açık İşletmelerde Delik Delme Metotları ve Delici Makineler, *Kütahya*, s. 218
- Yiğiter, N., 2008, Isparta Çünür Bölgesi'nde Yüzey Dalgası Yöntemi ile Zemin Özelliklerinin Araştırılması, *Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta
- Yücel, H. L., 2008, Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağındaki Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi, *Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, s.161

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bilgehan KEKEÇ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas-13.12.1978
Telefon : 0 544 544 5842
Faks :
e-mail : kekec@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

| Derece | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---------------|---|--------------|
| Lise | : Sivas Lisesi, Merkez, Sivas | 1996 |
| Üniversite | : Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya | 2002 |
| Yüksek Lisans | : S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuklu, Konya | 2005 |
| Doktora | : S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuklu, Konya | 2010 |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-------|-------------------------------------|---------------------|
| 2002- | Selçuk Üniversitesi Müh. –Mim. Fak. | Araştırma Görevlisi |

UZMANLIK ALANI

Delme-Patlatma ve Çevresel Etkileri, Doğal Yapı Taşları ve Teknolojisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Kekeç, B., Unal, M., Sensogut, C , “Effect Of The Textural Properties Of Rocks On Their Crushing And Grinding Features”, J. of University of Science and Technology Beijing, 5, 13, 385 - 392, 2006 (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)
B. Kekeç, M. Unal, Description Of The Relationship Between Physico-Mechanical Properties And Size Reduction Processing Of Rocks, SGEM2006, 6, 6, 187 - 200, 2006 (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)
B. Kekeç, M. Unal, Investigation Of The Texture, Physical And Mechanical Properties Of Some Rocks Used As Building Stone, SGEM'2007, 7 - , 2007 (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)
B. Kekeç, M. Ünal, E. Kekeç, Geçmişten Günümüze Konya'da Doğal Yapıtaşı Kullanımı, Mersem'2006, 59 - 64, 2006 (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)
Kekeç, B., Gokay M.K., Determination Of Ground Vibration Around Limestone Quarry in Konya, Turkey, 9th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 389-396, 2009 (**Doktora tezinden yapılmıştır**)
Bilgehan KEKEÇ, Mehmet Kemal GÖKAY, Farklı Kayaçlar Üzerinde Oluşturulan Yapay Titreşim Dalga Hareketlerinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21, 2010 (**Doktora tezinden yapılmıştır**)