

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERLEŞİM BİRİMLERİNE YAKIN PATLATMA  
KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN İNSANLAR  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**



**Tuğçe ÖNGEN**

**Şubat, 2019  
İZMİR**

**YERLEŞİM BİRİMLERİNE YAKIN PATLATMA  
KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN İNSANLAR  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Doktora Tezi  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı**

**Tuğçe ÖNGEN**

**Şubat, 2019  
İZMİR**


## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TUĞÇE ÖNGEN, tarafından PROF. DR. GÜRCAN KONAK yönetiminde hazırlanan “YERLEŞİM BİRİMLERİNE YAKIN PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



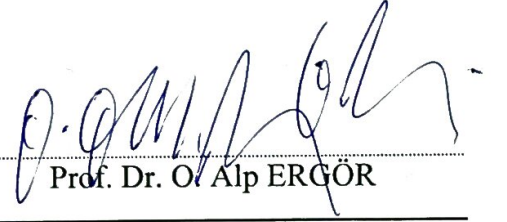
Prof. Dr. Gürcan KONAK

Yönetici



Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. O. Alp ERGÖR

Tez İzleme Komitesi Üyesi



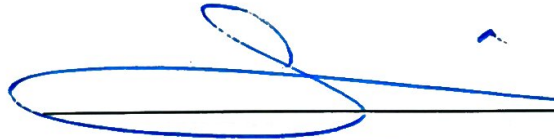
Prof. Dr. Ahmet DAĞ

Jüri Üyesi



Doc. Dr. Ümit ÖZEL

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimde bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, tez çalışmalarımı yakından ilgilenen, yüksek lisansa başladığım günden beri bana yol gösteren, akademik anlamda büyümemi ve gelişmemi sağlayan, bilgisini ve ilgisini benden hiç bir zaman esirgemeyen, bir baba gibi her zaman koruyan kollayan, yaşadığım her zorlukta yanımda olan, desteğini her an hissettiğim, her zaman örnek aldığım ve alacağım hocam Prof. Dr. Gürcan KONAK'a

Yapıcı yorumlarıyla tezime katkıda bulunan, tez izlemelerimde farklı bakış açılarıyla ufku genişleten tez izleme komitesinde yer alan hocalarım Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR'a ve Prof. Dr. O. Alp ERGÖR'e,

Akademik anlamda yaşadığım her sıkıntıda, çözüm bulamadığım anlarda bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerinden her zaman faydalandığım, tez çalışmalarım da verdiği fikirler ile beni aydınlatan, emin adımlarla ilerlememi sağlayan, konu ne olursa olsun mutlaka zaman ayırarak, sabırla benimle ilgilenen, desteğini hep hissettiğim ve her zaman yanımda olacağını bildiğim hocam, manevi abim, Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ'a,

Yurt dışında araştırma yapmam için beni teşvik eden, yol gösteren ve destekleyen, bu süreci başından sonuna takip eden hocam Öğr. Gör. Dr. Alper GÖNEN'e, simülasyon çalışmaları konusunda beni yönlendiren, bu çalışmaları gerçekleştirmem için MST'de gerekli laboratuvar imkanını sağlayan Doç. Dr. Nassib AOUAD'a, BAP kapsamında yaptığım çalışmalarımındaki katkılarından dolayı DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Abdullah SEÇGİN'e,

Tezin arazi çalışmaları aşamasında gerekli imkânları sağlayan ve yardımcı olan Batıçim Batı Anadolu Çimento A.Ş ailesine, Pınartaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına ve İzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş. (Çimentaş) çalışanlarına göstermiş oldukları ilgiden dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı (2014.KB.FEN.011)'nolu Dokuz Eylül Bilimsel Araştırmalar Projesi (BAP) kapsamında maddi olarak destekleyen Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu çalışma 2214-A Yurtdışı doktora sırası araştırma bursu kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Burs programı çerçevesinde, doktoram sırasında bana Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde çalışma yapma olanağı sunan ve maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB)'na teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi, eğitim hayatım boyunca da beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

Her zaman ve her koşulda olduğu gibi, doktora çalışmamda da büyük bir sabırla yanımda olan, tezimle ilgili çıkmaza düştüğümde fikirlerini benimle paylaşarak gerekirse benimle beraber sabahlara kadar çalışarak destek olan günlerce uykusuz kalan, çalışmalarım sırasında zorlandığım noktalarda hep yapıcı olmaya çalışan, meslektaşım ve eşim Özgür ÖNGEN'e, akademik hayata adım attığım ilk günden beri beni yalnız bırakmadığı, hep destek olduğu ve olacağı, en önemlisi de hayatıma iyi ki girdiği ve iyi ki benim eşim olduğu için teşekkür ederim.

Tuğçe ÖNGEN

# YERLEŞİM BİRİMLERİNE YAKIN PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Günümüzde, birçok maden ocağı ve patlatma ile yapılan kazı çalışmaları şehir sınırları içerisinde veya yerleşim bölgelerine yakın konumdadır. Patlatma faaliyetleri sonucu oluşan yer sarsıntısı, gürültü vb. olumsuzluklar patlatma yapılan bölgelere yakın yerlerde yaşayan insanlar tarafından hissedilebilir. Böyle bir durumda da, bir takım şikayetler meydana gelebilmektedir. Yerleşim yerlerine yakın bölgelerde gerçekleştirilen patlatmalarda oluşan parçaçık hızları, konuyla ilgili yönetmeliklerde yapılar için izin verilen titreşim sınır değerlerinin altında olsa bile, bu bölgelerde yaşayan insanlar bu titreşim hızlarından rahatsız olabilirler. Patlatmanın neden olduğu titreşim sorunları iyi bilinmesine rağmen, patlatma titreşimlerine karşı insan tepkisinin daha fazla araştırılmaya ve incelenmeye ihtiyacı vardır. Bu çalışmanın ana amacı, patlatma kaynaklı titreşimlerin insanlar üzerindeki etkilerini tespit etmektir.

Araştırmada öncelikle, titreşim algı seviyesi ve patlatma titreşimindeki rahatsızlık seviyelerinin ortaya konulması amacıyla ankete dayalı saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, iki farklı alanda patlatma operasyonları takip edilmiş, patlatma alanlarında patlatma kaynaklı titreşimler kaydedilirken, gönüllü katılımcılar titreşime maruz kalma ve algılama ile ilgili anket çalışmasına katılmıştır. Titreşimi sınıflandırmak ve rahatsızlık seviyesini belirlemek için 4'lü Likert ölçeğine göre sorular hazırlanmıştır. Ayrıca, cinsiyetin rahatsızlık seviyelerini nasıl etkilediği de incelenmiştir. Takip edilen patlatmalardan 228 adet anket elde edilmiş, katılımcıların cevapları bir istatistik yazılımı olan SPSS programı kullanılarak farklı analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak için laboratuvar ortamında simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu simülasyon ile psikolojik etkilerin yanı sıra insan vücudu üzerindeki fiziksel etkilerin incelenmesi sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Patlatma kaynaklı sarsıntı, patlatma kaynaklı hava şoku, titreşimin algı seviyesi, titreşimden rahatsızlık, titreşim anketleri, titreşim simülasyon modeli



# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BLAST INDUCED VIBRATION CLOSE TO SETTLEMENTS ON HUMAN BEINGS

## ABSTRACT

Several mines and excavation work with blasting are within city limits or close to settled areas. Blasting activities are felt by people living in proximity to them. In such a case, several complaints are inevitable. People living in these areas can be made uncomfortable by the blast vibrations and air blasts, even if particle velocities are within the vibration permissible levels for structures according to regulations. Even though, the blast induced vibrations problems are well known, there is a need to further investigate and study the human perception to induced blast vibrations. The main aim of this study was to determine the effects of blasting on human.

Firstly, it was investigated the perception level and the discomfort levels of blast vibration. Also, it was investigated how gender affects the level of being uncomfortable with blast-induced vibration. For this purpose, blasting operations were followed in two different areas. Volunteers taken to the blast areas were surveyed about the vibrations exposure and perception, while blast-induced vibrations were being recorded. The questions were prepared according to 4-Point Likert scale in order to classify the vibration and to determine the discomfort level. 228 surveys were obtained from the blast events. Participants' answers were evaluated by statistical analysis methods using SPSS software. The second study is to understand the effects of blast induced vibrations on the human body and simulate such behavior in a laboratory environment. As a result, the lab simulation allowed the investigator to study their severe physical impact on the human body.

**Keywords:** Blast induced vibration, air blast, vibration perception level, vibration discomfort, vibration questionnaire, vibration simulation model



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	v
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - LİTERATÜR İNCELEMESİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Patlatmanın Çevresel Etkileri.....	3
2.1.1 Hava Şoku ve Gürültü .....	3
2.1.1.1 Hava Şoku ve Gürültü Ölçüm Yöntemleri.....	5
2.1.1.2 Hava Şoku Tahmini ve Önlemesi .....	7
2.1.1.3 Gürültünün İnsanlar Üzerindeki Etkileri ve Uluslararası Normlar....	9
2.1.2 Patlatma Kaynaklı Titreşim .....	15
2.1.2.1 Titreşim Oluşumu ve Sismik Dalga Tipleri.....	16
2.1.2.2 Titreşim Analizinde Kullanılan Temel Parametreleri.....	21
2.1.2.3 Patlatma Kaynaklı Titreşim Ölçümü Temel Prensipleri.....	23
2.1.2.4 Ölçekli Mesafe ve Parçacık Hızı Tahmini .....	27
2.1.2.5 Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar ve Uluslararası Normlar .....	30
<b>BÖLÜM ÜÇ - ÇALIŞMA METODOLOJİSİ .....</b>	<b>55</b>
3.1 Giriş.....	55
<b>BÖLÜM DÖRT - ARAZİ ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>62</b>
4.1 Giriş.....	62
4.2 Çalışma Sahası-1 .....	62

4.2.1 Bölgenin Coğrafi Konum, Bitki örtüsü ve Genel Jeolojisi.....	63
4.2.2 Arazi Ölçümleri .....	66
4.3 Çalışma Sahası-2 .....	71
4.3.1 Bölgenin Coğrafi Konum, Bitki örtüsü ve Genel Jeolojisi.....	72
4.3.2 Arazi Ölçümleri .....	74
<b>BÖLÜM BEŞ - SİMÜLASYON ÇALIŞMASI.....</b>	<b>80</b>
5.1 Giriş.....	80
5.2 Konu İle İlgili Önceki Çalışmalar .....	80
5.3 İnsan Vücudu Üzerindeki Titreşim Etkisini Belirlemek İçin Patlatma Kaynaklı Titreşim Simülatörü.....	85
5.4 Simülasyon Çalışmasından Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi .....	96
<b>BÖLÜM ALTI - ANKET VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>108</b>
6.1 Giriş.....	108
6.2 Anketin Psikometrik Çözümlemesi.....	108
6.2.1 Güvenilirlik Analizi .....	109
6.2.2 Anket Sorularına Verilen Yanıtların İncelenmesi .....	111
6.2.3 Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Değerlerinin Rahatsızlık Düzeyine Etkisinin Belirlenmesi.....	114
6.2.4 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Algılanmasında Cinsiyetin Etkisinin Belirlenmesi .....	119
6.3 Anket Verileri ile Bileşke Parçacık Hızı İlişkisinin Araştırılması .....	122
6.3.1 Titreşim Şiddeti Sınıflandırma Limit Değerlerin Tespiti .....	124
6.3.2 Cinsiyete Bağlı Rahatsızlık Limit Değerlerinin Tespiti .....	129
6.3.3 Elde Edilen Limit Değerlerin Literatürle Karşılaştırılması .....	130
<b>BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR.....</b>	<b>133</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>140</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Patlatma kaynaklı hava şokuna bulutların etkisi (Hava şoku dalgası A alçak bulut kümesinden yansıyarak ocağın yakınında bulunan eve iletilmiş, B ise ocağın karşısında bulunan yamaç şevi tarafından kesilmiştir) .....	4
Şekil 2.2 Atmosferik etkiler .....	5
Şekil 2.3 Gürültü ölçme cihazlarında bulunan skalalar .....	7
Şekil 2.4 Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına etkileyen faktörler .....	17
Şekil 2.5 Sismik dalgalar; yüzey ve gövde dalgaları .....	18
Şekil 2.6 Gövde dalgaları olan P ve S dalgaları ile yüzey dalgaları .....	19
Şekil 2.7 Patlatma sonucu oluşan dalgalar .....	20
Şekil 2.8 Titreşim için yer değiştirme, ivme ve hızın gösterilmesi.....	22
Şekil 2.9 Kaya yapısı içindeki elastik deformasyonun elemanları .....	23
Şekil 2.10 Tipik bir patlatma kaydı.....	25
Şekil 2.11 Titreşim ölçüm cihazlarında frekans değerinin belirlenmesi.....	26
Şekil 2.12 Logaritmik ölçekli maksimum parçacık hızı-ölçekli mesafe grafiği .....	30
Şekil 2.13 Patlatma kaynaklı titreşime evlerindeki insanların tepkileri.....	34
Şekil 2.14 Parçacık hızı-frekans sınır değerleri (25/a maddesinde atıf yapılan ve EK VII Tablo 6 'da tarif edilen esaslara göre ) .....	37
Şekil 2.15 Uzun süreli ve kısa süreli titreşimlere insanların tepkisi .....	39
Şekil 2.16 İnsan algısının tespitine yönelik sönümlenmeye bağlı grafik.....	40
Şekil 2.17 Bina hasar kriterleri ile insan algısının karşılaştırılması.....	41
Şekil 2.18 Maksimum parçacık hızı ile toplumun aşırı rahatsız olanlarının yüzdesel değeri arasındaki ilişki .....	46
Şekil 2.19 Toplumun aşırı rahatsızlık duyan yüzdesi ile hava şoku arasındaki ilişki.....	47
Şekil 2.20 Farklı ölçekli mesafelerde öngörülen insan tepkisi .....	50
Şekil 4.1 Çalışma Sahası-1 genel görünüm.....	62
Şekil 4.2 Çalışma alanının yakın çevresinin genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti .....	64
Şekil 4.3 Çalışma sahasının yakın çevresinin jeoloji haritası .....	65
Şekil 4.4 Çalışma Sahası-1 ve çevresindeki yerleşim yerlerinin konumları.....	66

Şekil 4.5 Çalışma Sahası-1 Patlatma-1 plan görüntüsü, (a) Delik geometrisi ve bağlantı planı, (b) Delik düşey kesiti (Ölçeksiz).....	67
Şekil 4.6 Patlatma bölgeleri ve jeofonların konumları.....	68
Şekil 4.7 Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı .....	69
Şekil 4.8 Çalışma Sahası-2 genel görünüm.....	71
Şekil 4.9 Çalışma Sahası-2 patlatma şevleri .....	71
Şekil 4.10 Bölgenin ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti .....	73
Şekil 4.11 Çalışma Sahası-2 ve çevresindeki yerleşim yerlerinin konumları.....	75
Şekil 4.12 Çalışma Sahası-2 Patlatma-1 plan görüntüsü, (a) Delik geometrisi ve bağlantı planı, (b) Delik düşey kesiti (ölçeksiz).....	76
Şekil 4.13 Patlatma 6 bölgesi .....	76
Şekil 4.14 Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı .....	77
Şekil 4.15 Patlatma bölgeleri ve jeofonların konumları.....	78
Şekil 5.1 DOF kullanarak insan vücudu modelinin basit temsili.....	81
Şekil 5.2 Simülasyonda kullanılan insan vücudu dinamik modeli .....	87
Şekil 5.3 MSC ADAMS programında oluşturulan modele ait eklem detaylarını gösterir ekran görüntüsü.....	89
Şekil 5.4 Simülasyon 3B modeli.....	90
Şekil 5.5 0,471861 m /sn <sup>2</sup> kuvvetine göre baş için grafik çıktısı (a) 10 saniye maruziyet için ivme ve zaman grafiği (b) 4 saniye (titreşim kaydı bitiş zamanı) maruziyet için ivme ve zaman grafiği-program çıktısı.....	98
Şekil 5.6 0,471861 m/sn <sup>2</sup> Kuvvet uygulandığında merkezi torsoda (CT) meydana gelen ivme zaman grafiği-program çıktısı.....	98
Şekil 5.7 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile baş bölgesinde meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki .....	100
Şekil 5.8 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst torsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki .....	101
Şekil 5.9 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst kolda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki .....	101

Şekil 5.10 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt kolda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	102
Şekil 5.11 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile merkez torsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	102
Şekil 5.12 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt torsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	103
Şekil 5.13 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst bacakta meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	103
Şekil 5.14 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt bacakta meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	104
Şekil 5.15 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile ayaklarda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki.....	104
Şekil 5.16 Aktivitelere bağlı ivme kriterleri .....	107
Şekil 6.1 “Titreşimi hissettiniz mi?” sorusuna verilen cevapların yüzdesel dağılımı.. .....	113
Şekil 6.2 Paralel eğriler varsayımı .....	117
Şekil 6.3 Bileşke parçacık hızı–Titreşim sınıflandırma katsayısı grafiği (a) Çalışma Sahası-1 (b) Çalışma Sahası-2.....	127
Şekil 6.4 “US Army Corps of Engineers manual” teknik raporunda verilen frekans-parçacık hızı grafiği üzerinde arazi ölçümlerinin gösterilmesi .....	131

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 Hava şoku tahmininde kullanılan bazı eşitlikler .....	8
Tablo 2.2 Ses basınç seviyelerinin insanlar ve yapılar üzerine etkisi .....	9
Tablo 2.3 Hava şoku limitleri – ANZEC Çevre Koruma (Gürültü) Yönetmeliği (1997) .....	11
Tablo 2.4 Algılanan fakat tolere edilebilen hava şoku değerleri.....	12
Tablo 2.5 Yaygın olarak kullanılan bazı titreşim tahmin modelleri.....	29
Tablo 2.6 Binaların içinde insanlar tarafından tolere edilebilecek pik titreşim seviyeleri (mm/sn ) (Frekans değerleri 8 ile 80 Hz arasında).....	32
Tablo 2.7 İnsan tepkileri bakımından maksimum kabul edilebilir titreşim büyüklükleri .....	35
Tablo 2.8 Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri.....	36
Tablo 2.9 Bileşke parçacık hızı insanların algılama seviyesi.....	42
Tablo 2.10 Patlatma anında ölçülen PPV değerleri ile bölge halkının titreşimi hissetme ve rahatsızlık derecelerinin karşılaştırılması .....	48
Tablo 2.11 İnsan tepkilerine göre oluşan parçacık hızı seviyeleri .....	49
Tablo 3.1 Tez çalışması kapsamında geliştirilen ve kullanılan anket .....	60
Tablo 4.1 Parçacık hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, patlatma bölgesinden olan uzaklık ve hava şoku değerleri.....	69
Tablo 4.2 Parçacık hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, patlatma bölgesinden olan uzaklık ve hava şoku değerleri.....	76
Tablo 5.1 Yüzdesel olarak insan vücudu kütle dağılımları .....	83
Tablo 5.2 İnsan vücudu rijitlik ve sönümleme katsayıları .....	88
Tablo 5.3 İnsan vücudunun kütle dağılım yüzdeleri .....	88
Tablo 5.4 Simülasyonu test etmek amacıyla ön çalışmada kullanılan Çimentaş'a ait patlatma titreşim verileri .....	93
Tablo 5.5 Test çalışmasında simülasyon modelinden elde edilen baş bölgesi sonuçları .....	94
Tablo 5.6 Simülasyon çalışmasında kullanılan patlatma titreşim verileri.....	95

Tablo 5.7	Simülasyon sonuçlarından elde edilen her bir vücut parçası için RMS (accy) değeri.....	99
Tablo 6.1	SPSS yazılımdan elde edilen proses özeti ve Cronbach alfa katsayı....	110
Tablo 6.2	23 ankete ait madde/soru istatistiği.....	110
Tablo 6.3	Titreşim sınıflandırma ölçeklerine verilen cevapların saha bazında dağılımı .....	114
Tablo 6.4	Rahatsızlık sınıflandırma ölçeklerine verilen cevapların saha bazında dağılımı .....	114
Tablo 6.5	Paralel eğriler testi.....	117
Tablo 6.6	Model uygunluğu için Pearson ki-kare testi sonuçları.....	118
Tablo 6.7	Modele ait parametre tahminleri .....	118
Tablo 6.8	Çalışma Sahası-1'den elde edilen anket sonuçlarının bağımsız T-testi analizi .....	120
Tablo 6.9	Çalışma Sahası-2'den elde edilen anket sonuçlarının bağımsız T-testi analizi .....	120
Tablo 6.10	Her iki çalışma sahasından elde edilen toplam 209 anket sonuçlarının (genel değerlendirme) bağımsız T-testi analizi.....	121
Tablo 6.11	Bölge bazında ve genel değerlendirmede betimsel veri tablosu (grup istatistiği tablosu) .....	122
Tablo 6.12	Titreşim şiddeti sınıflandırma ve rahatsızlık derecesi ölçekleri arasındaki çapraz ilişki .....	123
Tablo 6.13	Çalışma Sahası-1 için alınan titreşimi hissetme ve titreşim şiddeti sınıflama katılımcı %'si dağılımı .....	125
Tablo 6.14	Çalışma Sahası-2 için alınan titreşimi hissetme ve titreşim şiddeti sınıflama katılımcı %'si dağılımı .....	126
Tablo 6.15	Titreşim sınıflandırma katsayılarına dayalı insan tepkisi seviyeleri değerlendirmesi .....	128
Tablo 6.16	Cinsiyete göre patlatma titreşimleri için mm/sn olarak rahatsızlık derecesi aralığı .....	130
Tablo 6.17	Geçici titreşimler için verilen çeşitli limit değerler.....	132
Tablo 7.1	Titreşim şiddeti sınıflandırma limit değerleri ve cinsiyete bağlı rahatsızlık limit değerleri .....	137

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Madencilik, taş ocakçılığı ve çeşitli altyapı çalışmaları patlatma operasyonları ile gerçekleştirilen kazı işlerinden dolayı çevresel titreşime neden olmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da söz konusu kazı alanlarının yakınında bazı şikâyetler meydana gelmektedir. Bu şikâyetleri gidermek amacıyla ülkemizde patlatma operasyonları ile ilgili bir yönetmelik (Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği, 2010) bulunmaktadır. Bu yönetmelik sadece yerüstü yapıları için hasar kriterlerini içermektedir. Patlatmalı kazı alanları yakınında bulunan insanların algı düzeyi, rahatsızlık limit değerleri gibi insan tepkileri ile ilgili herhangi bir değerlendirme içermemektedir. Bu sebeple, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla çalışma yapılması bir gerekliliktir.

Türkiye’de şehirleşmenin artmasıyla birlikte birçok maden ocağı yerleşim yerlerine yakın konumdadır. Aynı şekilde, şehir içlerinde inşaat temel kazısı amacıyla da patlatmalı kazı çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Adı geçen alanlara yakın bölgelerde yaşayan insanlar günlük patlatma operasyonlarından etkilenebilmektedirler. Özellikle bazı durumlarda insanların patlatma kaynaklı titreşimlere maruz kalması kaçınılmazdır. Ayrıca, konu ile ilgili olarak, insan vücudunun güvenli bir şekilde maruz kalabileceği limit değerler ve titreşim seviyelerini belirleyen düzenlemelerin de eksikliği vardır. Patlatma kaynaklı titreşim değerleri yönetmelikte yapılar için izin verilen titreşim seviyelerinde olsa bile, söz konusu bölgelerde yaşayan insanlar patlatma kaynaklı titreşimlerden rahatsız olabilirler.

Patlatmanın neden olduğu titreşim sorunları ve bunların yapılara etkisi iyi bilinmesine rağmen, patlatma kaynaklı titreşimlerin algılanması ve insan tepkisini daha fazla araştırmaya ve incelemeye ihtiyaç vardır. Literatürde patlatma kaynaklı titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisinin fiziksel ve psikolojik etkilerinin incelenmesine odaklanan az sayıda çalışma vardır. Bu nedenle bu tez çalışması, patlatma kaynaklı titreşimlere verilen tepkilere, insan algısının analizine ve tüm vücut titreşimlerinin incelenmesine öncülük etmektedir. Patlatmalı kazı alanlarının



bulunduğu çevrede yaşıyan insanların bu patlatmalardan fiziksel ve psikolojik olarak etkilenmelerinin araştırılması, insan faktörünün yapılacak patlatma tasarımlarında göz önüne alınması, bina öncelikli değil insan öncelikli patlatma operasyonlarının gerçekleştirilmesi gerekliliği sonucu bu tez konusu ortaya çıkmıştır.

Tez çalışmasının amacı, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak ve bu tür davranışları laboratuvar ortamında simüle ederek tüm vücut titreşimlerini incelemek, sahada titreşim ölçümleri ile birlikte anket çalışmaları yürüterek algı ve rahatsızlık limit değerlerini ortaya koymaktır. Buradaki sorun, patlatma kaynaklı titreşimlere maruz kalan kişilerin tepkisini belirlemektir. Bu sorunu çözenin de iki farklı yolu vardır: Birincisi patlatma kaynaklı titreşim ölçümünü (taş ocağı, açık ocak, saha araştırması vb.) ve anket çalışmasını içerir. İkincisi, bilgisayar yazılımı ortamında patlatma kaynaklı titreşimi simüle ederek insan vücudu üzerindeki fiziksel etkileri incelemektir. Yalnızca patlatmalı kazı çalışmaları yürütölen sahalarda uygulamalı araştırma çalışmaları insan algısı ile ilgili sonuçlar çıkarmak için yeterli olmayacaktır. Bu kısım çalışmanın psikolojik etkilerini barındırmaktadır. Bu nedenle, bir bilgisayar yazılımı vasıtasıyla insan modeli oluşturularak patlatma kaynaklı titreşim simölasyonları gerçekleştirmek de önemlidir. Böylece insan vücudunda patlatma titreşimlerinin etkileri fiziksel olarak da simüle edilmiş olacaktır.

Bu amaç doğrultusunda, öncelikle literatür çalışmaları incelenmiş, insanların patlatma kaynaklı titreşimlerden etkilenmesi ve verdikleri tepkileri içeren çalışmalar detaylandırılmış olup bir sonraki bölümde sunulmuştur. Ardından tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma metodolojisinden bahsedilmiştir. Sonraki bölümde iki farklı sahada gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmış, sahaların tanıtılması, takip edilen patlatmaların detayları ve titreşim ölçümleri verilmiştir. Daha sonra, MSC.ADAMS/View programında gerçekleştirilen simölasyon çalışması aşama aşama sunulmuştur. Saha çalışmalarından elde edilen anket verilerinin değerlendirilmesi bölüm altı'da verilmiştir. Sonuç bölümünde tüm çalışmaların sonuçları değerlendirilerek özetlenmiştir.

## BÖLÜM İKİ

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

#### 2.1 Patlatmanın Çevresel Etkileri

Maden ve taş ocakları ile benzeri üretim ve kazı faaliyetlerinde, kazı işleri sıklıkla delme patlatma yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Patlatma işleminde kaya kütlesi kırılarak parçalanmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmalarında hedef, kaya kütlesinin yükleyici makinaların etkin olarak yükleyebileceği boyuta parçalanmasıdır. Diğer taraftan patlayıcı maddelerin ateşlenmesi sonucu oluşan patlayıcı enerjisinin büyük bir bölümü kayacı parçalamak-kırmak için kullanılırken, bir kısım enerji ise kaya kütlesi içerisinde yayılarak çevresel titreşim oluşturmaktadır. Özellikle, yerleşim birimleri içerisinde ve/veya yakınında gerçekleştirilen patlatma çalışmalarında, patlatma kaynaklı çevresel etkilerin göz önüne alınması ve değerlendirilmesi gerekir. Titreşimin yanı sıra patlatma sonucu oluşabilecek çevresel etkiler hava şoku, kaya fırlaması ve toz emisyonudur.

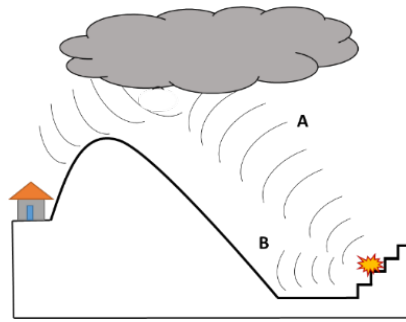
##### 2.1.1 Hava Şoku ve Gürültü

Patlatma kaynaklı olan ve değerlendirilmesi gereken bir etki de hava şoku ve buna bağlı olarak oluşan gürültüdür. Hava şoku, patlayıcının infilakından kaynaklanan havadaki şok dalgasıdır (Ratcliff, Sheehan ve Carte, 2011). Diğer bir ifade ile patlatma sonucu oluşan basınç dalgaları havada ses dalgalarından daha hızlı ilerleyerek şok dalgaları oluşturur. İlk başta bu şok dalgası patlatma enerjisine bağlı olarak süpersonik hızda ilerlerken, zaman içinde şiddeti azalarak sıradan bir ses dalgası gibi ilerler. Hava şoku yoğunluğu ya da genliği mesafe ile sönümlenir.

Hava şokunun basınç bileşenleri doğrusal değildir ve genellikle darbeli ya da dögüldür. Patlatma alanından uzaklara yayılan bu dögüler, bir kütlenin suya düştüğü hali gibi, dairesel hareketlerin yayılımına benzemektedir.

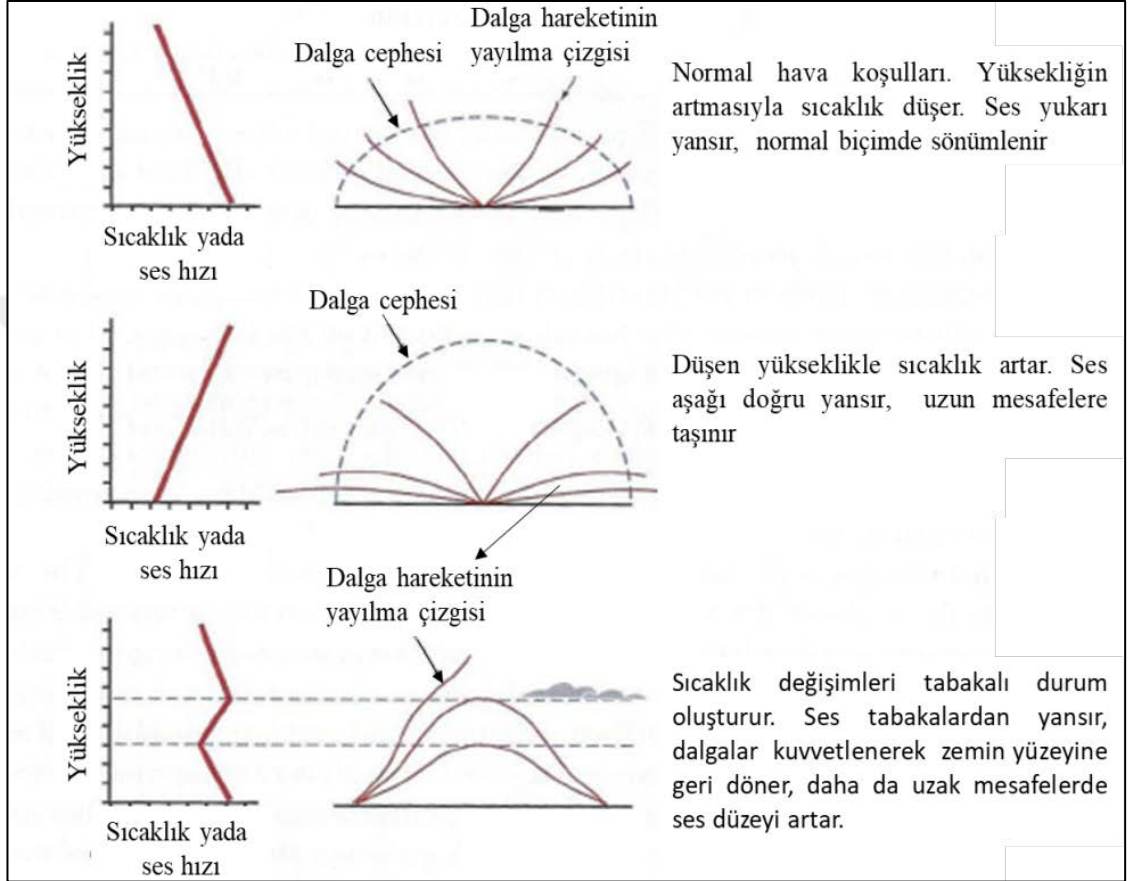
Hava şokunun yarattığı basınç dalgaları frekanslarına göre ikiye ayrılmaktadır. İnsan kulağı tarafından duyulabilen binalara hasar vermeyen hava şoku 20 Hz üstündeki frekanslara sahip olup gürültü ya da ses olarak adlandırılır. İnsanların duyabileceği frekans aralığı ideal koşullarda 20-20 000 Hertz (Hz) arasındadır. İnsan ömrü ilerledikçe bu aralık azalır. 20 Hz'den düşük frekanslara sahip hava şokları, insan kulağı tarafından duyulamaz ve çoğunlukla sarsıntı diye adlandırılır. Bu frekanslardaki hava şokları binalara hasar verebilir. Bununla birlikte 4-16 Hz aralığındaki infrasonik ses dalgaları, titreşimler yoluyla insanlar tarafından hissedilebilir ama duyulamaz. Maden ocakları patlatmalarından kaynaklı hava şoku frekans değerleri bu aralığa girebilir (Ratcliff ve diğer., 2011).

Hava şokunun yayılması önemli ölçüde atmosferik koşullara bağlıdır. Atmosferik koşullar hava şoku genliklerini büyüterek zarar verme seviyelerini arttırabilir. Yüksek rüzgâr hızı, yağmur, kalın bulut örtüsü ya da sıcaklık değişimleri ana faktör olup, eğer hava bulutlu ise hava şoku dalgaları atmosferden yansıyarak etkisini sürdürebilmektedir (Şekil 2.1). Atmosferik etkiler kontrol edilmezse patlatma alanına çok yakın mesafelerde hava şokuna bağlı hasarlar oluşabilir. Uygun şartlarda yapılan bir patlatmayı kimse hissetmezken, küçük bir patlatma nem ve rüzgarın etkisiyle hava şoku şikâyetlerine neden olabilmektedir. Şekil 2.2'de atmosferik sıcaklık değişimlerinin hava şoku üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.1 Patlatma kaynaklı hava şokuna bulutların etkisi (Hava şoku dalgası A alçak bulut kümesinden yansıyarak ocağın yakınında bulunan eve iletilmiş, B ise ocağın karşısında bulunan yamaç sevi tarafından kesilmiştir)

Hava şoku ve rüzgâr üzerinde yapılan çalışmalarda 11,27 km/s - 25,76 km/s rüzgâr hızları için, patlatmanın rüzgâr yönünde sönümlenme mesafesinde %30 artış bulunmuştur. Patlatma rüzgâr yönüne ters yönde yapıldığında ise sönümlenme mesafesinde %16 azalma olmuştur (Ratcliff ve diğer., 2011).



Şekil 2.2 Atmosferik etkiler (Stiehr, 2011)

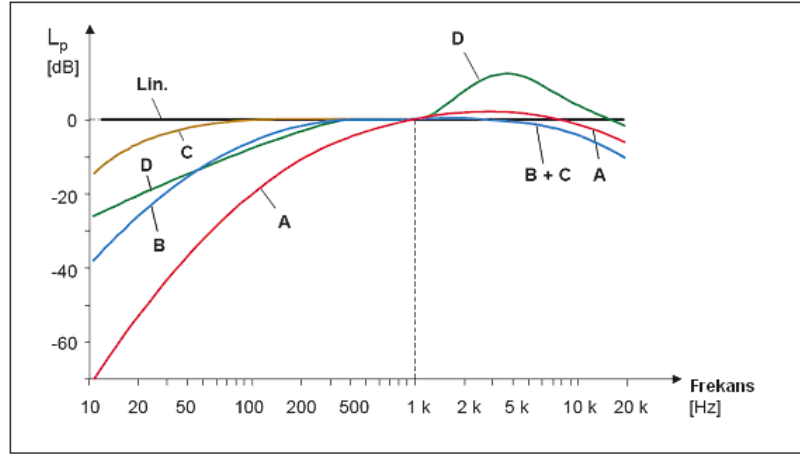
### 2.1.1.1 Hava Şoku ve Gürültü Ölçüm Yöntemleri

Hava şokunu ölçmek için patlatma sismografları kullanılır. Patlatma kaynaklı hava şoku basınç ölçümü, patlatma yönünde ve sesin etkileyeceği bina ya da bölgede uygun bir yerden alınmalıdır. Hava şoku inç kare başına pound (psi), milibar (mbar), ya da paskal (pa) olarak ölçülür ve genelde desibel (dB) olarak raporlanır. (Ratcliff ve diğer., 2011).

Ses ya da gürültü seviyesi ölçüm cihazlarında A,B,C,D ve L olarak tanımlanan filtre bileşenleri vardır. Böylece oluşan gürültünün ölçülmesinde farklı ölçüm skalaları kullanılabilir. Hava şoku dB olarak değerlendirilirken, farklı ölçülmüş işitme verileri ile doğrudan karşılaştırma yapılmamalıdır.

İnsan kulağı genellikle yüksek frekansa sahip sesleri algılayabilir. A skalası frekans değerlerine göre insan kulağının sese karşı duyarlılığını belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Diğer bir deyişle, bu skala duyma eşiğine göre kalibre edilmiştir. Gürültü denetimi çalışmalarında bu sebeple en yaygın olarak kullanılan filtredir. B skalasını telefon şirketleri kullanmaktadır. Neredeyse düz bir frekans tepkisine sahip C skalası, genellikle çok yüksek frekanslı seslerin değerlendirileceği zaman kullanılmaktadır. D skalası çoğunlukla havaalanlarının bulunduğu bölgelerde uçaklardan kaynaklanan gürültünün ölçülmesi ve standardize edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin haricinde lineer skala (L) mevcut olup, frekans analizi yapılmak istenildiğinde kullanılır. Bu skala, sinyalin değiştirilmeden geçmesini sağlar (Şekil 2.3) (Brüel-Kjaer, 1984, 1998).

Patlatmalarda oluşan ses dalgaları genelde düşük frekanslı olmaktadır. İnsanlar düşük frekanslı ses dalgalarını duyamazlar. Öte yandan binalar, düşük frekanslı dalgalara ve yüksek hava şoklarına karşı duyarlıdır. Dolayısıyla bu skalanın kullanımı patlatmadan meydana gelen gürültünün ölçülmesinde doğru değildir. C skalası da düşük frekanslara uygun olmadığından patlatmada kullanılamaz. Bu nedenle ölçümlerde L skalasının kullanılması en uygun yöntem olacaktır (Dowding, 1992).



Şekil 2.3 Gürültü ölçme cihazlarında bulunan skalalar (Brüel-Kjaer, 1998)

### 2.1.1.2 Hava Şoku Tahmini ve Önlemesi

Hava şoku seviyesi, patlatma tasarım parametreleri kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Fakat atmosferik koşulların değişkenliğinden dolayı kesin olarak tahmin etmek zordur. Hava şoku ölçümleri yapılarak, bir tahmin modeli ortaya konabilir. Daha sonra gerçekleştirilecek patlatmalarda bu model kullanılabilir. Bu tahminlerde küp kök ölçekli mesafe faktörü kullanılır. Bu formül Eşitlik 2.1'de verilmektedir (Ratcliff ve diğer., 2011).

$$SD = D/W^{1/3} \quad (2.1)$$

SD : Ölçekli mesafe ( $m/kg^{1/3}$ ),

D : Patlatma noktasına uzaklık (m),

W : Gecikme başına en fazla patlayıcı madde miktarı (kg).

Tablo 2.1 Hava şoku tahmininde kullanılan bazı eşitlikler (Stiehr, 2011)

Patlatma	PSİ	Araştırmacı
Serbest şarj	$P = 187(SD)^{-1.38}$	Perkins
Kömür Madeni	$P = 169(SD)^{-1.62}$	USBM RI 8485
Taş Ocağı Patlatma Aynaları	$P = 1.32(SD)^{-0.97}$	USBM RI 8485
Metal Madeni	$P = 0.401(SD)^{-0.71}$	USBM RI 8485
İnşaat-Yapı (Ortalama)	$P = 1 (SD)^{-1.1}$	Oriard
İnşaat-Yapı (çok iyi sıkılamalı)	$P = 0.1(SD)^{-1.1}$	Oriard

\*P = Psi olarak hava şoku basıncı SD=Küpkök Ölçekli mesafe

Persson, Holmberg ve Lee (1994) hava şoku tahminin belirlenmesi için genel amaçlı sönümlenme eşitliğini ortaya koymuşlardır. Aşağıda verilen bu eşitlik yalnızca gecikme başına patlayıcı miktarını kullanmaktadır.

$$P = 7 * 10^4 ( W^{1/3} / R ) \quad (2.2)$$

- P : Tahmin edilen hava şoku genliği (Pa),  
W : Gecikme başına şarj (kg),  
R : Ölçüm noktasının kaynağa olan mesafesi (m).

Serbest (sınırlandırılmamış) şarj miktarları çok yüksek hava şoku dalgaları üretirler. Serbest şarj sıkılaması düzgün yapılmayan bir delikte bulunan patlayıcı şarjıdır. Patarlama amacıyla yapılan patlayıcı şarjı bu duruma örnek olarak verilebilir. Hava şoku genliği açıkta kalan şarjın yüzey alanı ve kütle ile orantılıdır. Bu sebeple hava şoku genliklerinin kontrolünde gecikme başına patlayıcı şarjına kısıt getirilmelidir. Bu durumun haricinde etkili olmayan sıkılama malzemesi, sıkılanmamış delik (önkesme patlatmalarında) ve aşırı şarj edilen delikler de yüksek hava şoku genliği yaratır. Aynı zamanda söz konusu durumlar kaya fırlaması riskini de arttırmaları. Bu sebeplerden meydana gelen aşırı hava şokları oluşumuna karşı uygulama sırasında patlatma tasarımı ve kontrolünün iyi yapılması gerekir. Yüksek gürültü üreten patlatmalar, genellikle sıkılamasız yapılan kontrollü patlatmalar ile sıkılama işlemlerinin düzgün yapılmadığı patlatmalardır. Hava şokunun olası etkilerini minimuma indirmek amacıyla, patlayıcı madde şarjı yapılırken deliklere olabildiğince homojen dağıtılması, sıkılama işleminin özenle yapılması, gecikmeli

ateşleme sistemlerinin kullanılması gibi kontrollü patlatma teknikleri konusunda bir takım çalışmaların yapılması gerekmektedir.

### 2.1.1.3 Gürültünün İnsanlar Üzerindeki Etkileri ve Uluslararası Normlar

Gürültü, fiziksel olarak işitme duyularını olumsuz etkilemenin haricinde psikolojik, fizyolojik ve verimlilik açısından da insanları olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla gürültünün tanımı birçok açıdan insan sağlığını olumsuz etkileyen ses düzeyi olarak tanımlanabilir (Croker, 2007). Farklı ses basınç seviyelerinin insanlar üzerindeki etkileri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Ses basınç seviyelerinin insanlar ve yapılar üzerine etkisi

Ses Basıncı (dB)	Tanımlama / Örneklem
20	Fısıldama
40	Sakin mahalle / oturma odası
60	Normal konuşma
80	Yoğun işyeri
100	Yoğun trafik
110	Pencere / tabak çanak şangırtısı meydana getirme
120	Ağrı eşiği (Birçok patlatma kaynaklı gürültü normunda izin verilen en yüksek seviye)
140	Hava saldırısı sireni / Ani ses (USBM ve OSM normlarına göre hasar başlangıcı/gürültü için üst sınır)
150	Bazı pencere camlarında kırılmalar



Patlatma kaynaklı gürültüye maruz kalma süresi çok kısa olup, yapılan patlatma operasyonlarının sıklık derecesine bağlı olarak, söz konusu sahalara yakın yerleşim birimlerinde yaşayan insanlarda fiziksel etkiden çok fizyolojik ve psikolojik etkiler oluşmaktadır.

Gürültünün neden olduğu fizyolojik etkiler genellikle kısa süreli olup, kan basıncının artması, kas gerilmeleri, stres oluşumu, kalp atışlarının değişimi, solunumda hızlanma, kan dolaşımının değişmesi, göz bebeği büyümesi, uykusuzluk olarak sıralanabilir. Bunların içerisinde gürültüye uzun süre maruz kalmaya bağlı olarak ortaya çıkan etkiler uykusuzluk ve strestir. İnsan vücudu karmaşık bir yapı olduğundan gürültünün fizyoloji üzerindeki etkilerini belirlemek zordur (Donoghue, 2004; King ve Davis, 2003).

Gürültünün bir diğer etkisi olan psikolojik etkiler; korku, tedirginlik, yorgunluk, zihinsel etkinliklerde yavaşlama olarak sıralanabilir. İnsanların ruh sağlığı açısından çevresel gürültüler doğrudan etkili değildir, fakat literatür çalışmaları değerlendirildiğinde kişilerde ruhsal hastalıklar bulunması halinde süreci hızlandırarak artmalarına yol açtığı ifade edilmektedir. Patlatma kaynaklı gürültünün de patlatmanın gerçekleştiği sahaya yakın çevrede yaşayan insanlarda, özellikle tedirginlik, korku gibi psikolojik şikâyetlerin artmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

Dünyada bir çok ülke kendi sosyal, ekonomik ve siyasal faktörlerini de dikkate alarak gürültü etkilenimini sınırlandırmak için yasal düzenlemeler yapmışlardır. Ülkeler bazında yasal düzenlemeler farklı isimler altında yapılsa da, bunların ortak amacı gürültü etkilenimini sınırlandırarak, insanları ve çevreyi gürültünün olumsuz etkilerinden korumaktır.

Limit değerler ülkeden ülkeye göre 80, 85 veya 90 dB A olabilmektedir. Bu değerler uzun süre gürültüye maruz kalma durumları için verilmiştir. Gürültü standartlarında darbeli ve/veya ani gürültü için ise, en yüksek ses basınç düzeyi ya da maksimum limit değerleri kullanılmaktadır (International Institute of Noise Control

Engineering [I-INCE-97-1], 1997; National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1998).

Amerika Birleşik Devletleri Ordusu silah ateşlenmesi gibi dürtüsel gürültü kaynaklarının bulunduğu ortamlarda, işitme korumasıyla ilgilendiği için gürültü sınır değerlerini içeren bir rapor yayımlamıştır. Buna göre herhangi bir anlık gürültü için maksimum izin verilen değeri 140 dB olarak kabul etmişlerdir (Goldstein, 1975).

Avustralya ve Yeni Zelanda Çevre Konseyi (ANZEC) (1997) kriterlerine göre insan konforu açısından izin verilen hava şoku değerleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3 Hava şoku limitleri –ANZEC Çevre Koruma (Gürültü) Yönetmeliği (1997) (Boladz, Hickson ve Wood, 2013)

	<b>Pazartesi ile Cuma</b>	<b>Pazar ve Tatiller</b>	<b>Diğer Zamanlar</b>
	7:00 - 18:00	7:00 -18:00	18:00 - 7:00
<b>Herhangi bir patlatma için üst limit</b>	125 dB L	120 dB L	90 dB L
<b>9-10 adet tekrarlı patlatma için üst limit</b>	120 dB L	115 dB L	-

Amerika Birleşik Devletleri Maden Dairesi USBM ve OSMRE normlarına göre patlatma kaynaklı hava şoku gibi ani sesler için yapılan yasal düzenlemelerle, hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı belirlenmiştir. USBM hava şoku tarafından meydana gelen yapısal tepki ve hasarları incelediği bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmaya göre; güvenli eşik değerini konutlar için 105 dB C, 129 dB L (6 Hz), 133 dB L (2 Hz), 134 dB L (0,1 Hz) olarak önermiştir. Farklı limit değerlerinin olması ölçüm yapan cihazın tipine ve frekans değerlerine bağlıdır. Önceki çalışmalarında sunmuş oldukları maksimum güvenli limit olan 140 dB L değerinin birçok durumda yeterli koruma sağlamasına rağmen, insanlar açısından önemli derecede rahatsızlık verici olduğuna vurgu yaparak, limit değerleri değiştirmişlerdir. Maksimum güvenli seviye

olan 134 dB değeri %95-99 oranında hasarsızlık ve %95-90 oranında kabul edilebilir rahatsızlık durumlarını sağlamıştır. İnsan rahatsızlığını göz önüne alarak, 120 dB eşik değeri belirlemiştir. Bu değer belirlenmesinde insanların rahatsızlığının yapısal salınımlardan kaynaklandığı, buna bağlı olarak korktuklarını baz almıştır. Aynı raporda hissedilen hava şoku değerlerinin insanlar tarafından hissedilebilirliğini yüzdesel olarak ifade etmişlerdir (Tablo 2.4) (Siskind, Stachura, Stagg ve Kopp, 1980).

Tablo 2.4 Algılanan fakat tolere edilebilen hava şoku değerleri (Siskind, Stachura, Stagg ve diğer., 1980)

Pik dB L	Eşdeğer pik lineer (0,1 Hz) hava şoku, (dB)		Kabul edilebilirlik, (%)	
	Taş ocağı	Genel Madencilik	Ortalama	Aralık
111	147	145	50	36-78
108	144	142	80	54-87
100	136	134	95	93-97
95	131	129	99	---

OSM patlatmanın çevresel etkilerinden bahsettiği patlatma operasyon kitapçığında gürültü ve titreşim limitlerini insan algısı ve bina hasarları olarak ele almıştır. Bina hasar limitleri USBM ile benzerlik göstermektedir. OSM verilerine göre, maksimum değer bina hasar kriterleri açısından 129 dB'dir. Bu değer konut tipi yapılarda yüzeysel hasar olasılığı en düşük değerdir ve ayrıca bu değer öznel insan tepkisini göz önüne alarak belirlenmiştir. OSM'ye göre hava şoku değeri 120 dB L değerinin altında tutulursa rahatsızlık minimum düzeyde olacaktır (Villani, 2011).

Ülkemizde gürültünün çevresel etki değerlendirilmesi Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2010) esaslarına göre düzenlenmektedir. Bu yönetmelik, patlatma vb. anlık gürültüyü değerlendirmeye almamakta, insanların gürültü algılama düzeylerini içermemektedir.

Literatürde hava şokunun insanlar üzerindeki etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalarda verilen eşik değerleri farklılıklar göstermektedir. Aşağıda bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Rorke, (2011) çalışmasında insanların titreşim ile hava şoku etkilerini çoğu zaman karıştırdığını, çok şiddetli patlatma sesi duyan kişilerin patlatmanın ve titreşimin büyük olduğunu zannedebileceklerini belirtmiştir. Çünkü hava şoku büyük yüzeylerin (tavan ve pencere gibi) tepkisi ile hissedilmektedir. İnsanlar bunların titreşimden olduğunu sanmaktadırlar. Kontrollü büyük patlatmalara nazaran, küçük ölçekli ama gürültülü patlatmalara verilen şikayetlerle daha sık karşılaşmaktadır. İnsanlar ve hayvanları rahatsız etmeyecek limit değer, 128 dB den düşük olan hava şoku genlikleri olduğunu ifade etmiştir.

Persson ve diğer. (1994) ampirik verilerden yola çıkarak tahmini hava şoku eşik değerlerini yayınlamışlardır. Buna göre 120 dB sürekli sesler için acı eşiği olarak, 130 dB üzerindeki hava şokları geniş yüzeylerde salınım ve şikayetlerin başlaması olarak, 150 dB bazı camların kırılması, 170 dB çoğu camların kırılması ve 180 dB yapısal hasar olarak tanımlanmıştır.

Chernaik (2006) tarafından yapılan çalışmada, açık ocakların çevresel etkileri anlatılmıştır. Patlatma operasyonları boyunca hava şoku ölçümleri alınmış ve gürültü seviyesi 128-140 dB arasında ölçülmüştür. Mesafe artınca ve gecikme başına şarj miktarı azalınca gürültü seviyesinin düşeceği düşünülmüştür. Önerilen çalışmada gecikme başına maksimum 20 kg şarj kullanılmıştır. Bu değerle hava şoku için izin verilen sınırlar içinde kalacağı öngörülmüştür. Patlatma sahasından en yakın köye 0,5 km mesafe olduğundan, gürültü açısından bir sıkıntı olmayacağı düşünülmüş, bu mesafede yaklaşık 40 dBA hissedileceği öne sürülmüştür. Binalar açısından herhangi bir etki olmasa da insanlarda hasar olabileceği düşüncesinin stres yaratacağı düşünülmüştür.

Cihangir, Kesimal, Erçikdi ve Durmuş (2005), bir kalker ocağında 49 atımda hava şoku ve titreşim ölçümleri almışlardır. Hava şokları kayıtları en yüksek 132,4 dB, en

düşük 104,9 dB değerlerinde olmuştur. Bu değerler bazı standartlardaki gürültüden rahatsız olma seviyesi olan 140 dB değerinden düşüktür. Dolayısıyla çevresel rahatsızlık yaratmayacağı kanaatine varmışlardır.

Gürültü ve insan algısının istatistiksel değerlendirilmesine yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bireysel gürültü duyarlılığı; çevresel seslere yönelik tutumları kapsayan sabit bir kişilik özelliğidir. Bu gürültü rahatsızlık reaksiyonları için önemlidir ve birkaç anket sorusuna yanıtlar alınarak değerlendirilir. Gürültüye bireysel rahatsızlık, gürültünün fiziksel özelliklerine, gürültü kaynağına karşı tutumlara, katılımcıların kişisel özelliklerine bağlıdır (Green ve Fidell, 1991; Job, 1988). Literatürde gürültünün insanlar üzerindeki etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalarda psikometrik analiz yöntemleri kullanılmıştır. İlgili çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Rahlfis ve Schaaf (1971) gürültünün psikometrik analizi ile tespitine yönelik çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucuna göre psiko-fiziksel ilişkiler basit bir denklem şeklinde ifade edilebilmektedir.

Psikometrik analiz ile gürültü ve insan algısının değerlendirildiği bir başka çalışma da Widen, Bohlin ve Johansson (2011) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, yüksek sesli müzik, algılanan gürültüye duyarlılık ve gürültülü ortamlarda risk algısını ölçümüdür. Analiz sonucunda tüm bağımlı değişkenler için erkek ve kadınlar arasında önemli farklar bulunmuştur. Erkekler kadınlara nazaran yüksek sesli müziğe daha olumlu yaklaşmış, diğer taraftan kadınların gürültüye maruz kalma ile ilgili risk algısına daha çok sahip olduğu tespit edilmiştir. Gürültüye erkeklerin daha uzun süre maruz kalabildiği görülmüştür. Kadınlar ise olası riskleri erkeklere nazaran daha çok yargılamıştır.

Zimmer ve Ellermeier (1999) çalışmalarında yaşları 19-44 arasında olan 123 üniversite öğrencisi ile depresyon, stres, öfke, kaygının ölçümü anketleri ile gürültü duyarlılığı arasındaki ilişki değerlendirmiştir. Çalışmada uçak sesi ve bu sestem

rahatsızlığı araştırmışlar, kişisel karakteristik özelliklerin rahatsızlığı etkilediği sonucuna varmışlardır.

Patlatma kaynaklı hava şoku ve gürültüye karşı öznel reaksiyonlar ile ilgili çok az sayıda çalışma vardır. Buna rağmen rahatsızlık anketleri sonik bombalar ve diğer anlık ses kaynakları ile ilgili uygulanmış olup, çeşitli gerekçelerle birlikte bunlar patlatma çalışmaları için de kullanılmıştır. Hava şokunun diğer psikolojik tepki faktörlerinden ayrılarak objektif değerlendirme yapılması zordur. Bir çok gürültünün aksine, maden ocaklarında patlatmaların uygulanma sıklığı seyrek, normal işitme frekans aralığının dışında ve kısa sürelidirler. Çok enerjili ani gürültü meydana getirirler. Dolayısıyla çok az kişi bu gürültüden uzun süre etkilenebilir. Diğer tip patlatmalı kazı çalışmalarında (inşaat kazısı gibi) daha yüksek hava şoku değerleri meydana gelebilir, fakat bunlar geçici rahatsızlık olarak kabul edilebilir.

Yüksek sesle konuşma, televizyon sesi gibi gürültüye itiraz etmenin olağan nedenleri hava şoku için kullanılmadığı gibi benzer şekilde can sıkıcı, rahatsız edici, yorucu gibi rahatsızlık tanımları da hava şoku için uygulanamaz. Patlatma çalışmaları genellikle gündüz saatlerinde yapıldığından uyku düzenini bozma gibi durumlar yalnızca toplumun gündüz saatlerinde uyuyan kesimleri açısından potansiyel bir problemdir. Birçok insan patlatma kaynaklı olarak evlerine hasar gelmesinden endişe duymaktadır. Bu endişeden korkmak patlatmalı kazı yapan bölgelere yakın yaşayan insanların ilk tepkisidir. Bu durumda patlatma için tedirginlik ve korku, konforsuzluk yaratan başlıca öğelerdir.

### ***2.1.2 Patlatma Kaynaklı Titreşim***

Patlatma işlemlerinde amaç ana kayayı parçalamak, böylece ana kayadan parça koparmaktır. Bu işlem sırasında daima titreşim meydana gelmektedir. Bu titreşimler sismik dalgalar yaratır. Sismik dalgalar yerdeki enerji transferini ifade eden elastik dalgalar olup, hissedilebilir olanları yersarsıntısı adını alır. Bu bölümde patlatma kaynaklı titreşimler hakkında bilgi verilmiş, insanların patlatma kaynaklı titreşimler başta olmak üzere titreşimlere verdiği tepkiler ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

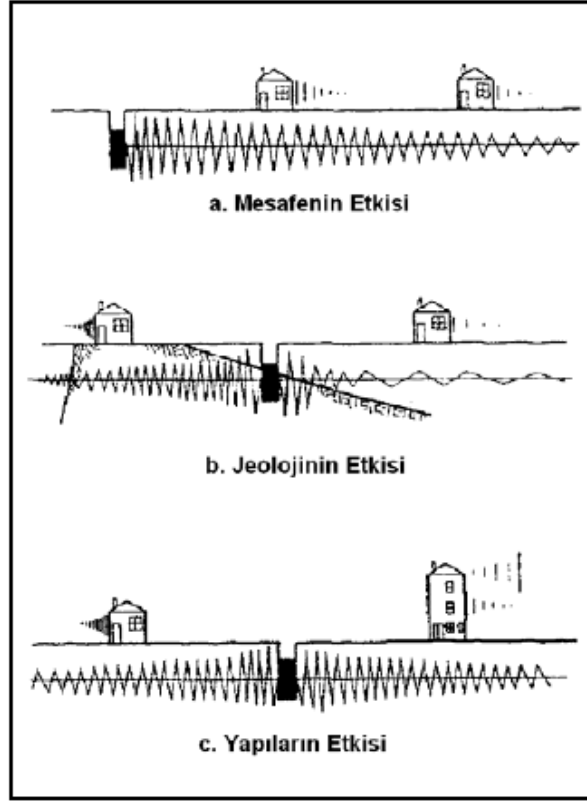
### 2.1.2.1 Titreşim Oluşumu ve Sismik Dalga Tipleri

Patlatmalı kazı, kaya kütlesi içerisinde açılan sistematik deliklere yerleştirilen patlayıcı maddelerin serbest yüzeyler gözetilerek, sıralı ateşlenmesi sonucu kaya kütlesinin kırılması, parçalanması esasına dayanmaktadır. Diğer taraftan iyi tasarlanmış bir patlatmada kazı amacıyla yerleştirilen patlayıcı maddelerin ateşlenmesi sonucu oluşan patlayıcı enerjisinin büyük bir bölümü kayacı parçalamak-kırmak için kullanılırken, bir kısım enerji ise farklı kayaç malzemeleri, süreksizlikler ve bazı durumlarda su içeren kaya kütlesi içerisinde farklı frekanslı sismik dalgalar olarak yayılmakta ve titreşime neden olmaktadır. Kötü tasarlanmış bir patlatmada zayıf bir kırılma meydana gelir. Bu durumda da enerjinin büyük kısmı hava şoku ve titreşime dönüşür. Çünkü enerji olması gerektiği gibi kayacı parçalamaya harcanmamıştır. Hava şoku gürültü etkisi olduğundan daha fark edilir olmasına rağmen, yer hareketi patlatma sonucu oluşacak başlıca şikâyet etmenidir. Söz konusu titreşimler, belirli bir seviyeye ulaştıkları takdirde ve çevrede herhangi bir yapı bulunması durumunda bu yapılara zarar verebilirler ya da insanlarda çeşitli şikâyetlere yol açabilirler.

Patlatma kaynaklı titreşim dalgalarının enerjisi, mesafeye bağlı olarak sönümlenir. En hızlı şekilde sönümlenen dalgalar, en yüksek frekanslı dalgalardır. Dolayısıyla yüksek frekanslı dalgalar, patlatma kaynağına yakın mesafelerde fazla hissedilirken, patlatma kaynağından uzak mesafelerde daha az hissedilir (Olofsson, 1988).

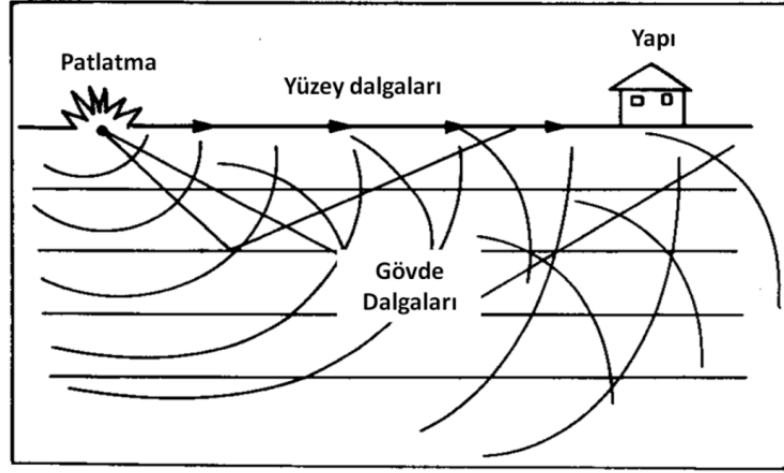
Sismik dalgaların yayıldığı zemin/kaya ortamı, birbirinden bağımsız çok sayıda parçacığın birleşiminden meydana gelmiş bir ortamdır. Patlatmadan meydana gelen sismik dalgaların enerji iletimi, yani yayılma olayı her parçacığın hareketsiz konumunda rastgele bir salınım hareketi yapması, üretilen dalganın bir sonraki parçacığa enerji iletmesi ve bu sırada enerji kayıplarının gitgide artması şeklinde açıklanabilir. Patlatma kaynağından yayılan dalgaların şiddeti azalırken, titreşen parçacıklar da ilk konumlarına geri dönerek hareketsiz bir hal alırlar. Sismik dalgaların sönümlenmesi ise, yayıldığı ortamın jeolojik ve fiziksel yapısı dolayısıyla gösterdiği direnç ve mesafeye bağlı olarak patlatma kaynağından uzaklaştıkça

geometrik olarak daha büyük alana yayılmasından kaynaklanmaktadır. Uzaklık arttığı takdirde dalganın yayılacağı alan da artacak ve dalganın enerjisi azalacaktır (Şekil 2.4). Patlatmadan kaynaklanan parçacık hareketi, diğer bir ifade ile sismik dalgalar, yüzey ve gövde dalgaları olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilirler (Şekil 2.5).



Şekil 2.4 Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını etkileyen faktörler (Jimeno, Jimeno ve Carcedo, 1997)





Şekil 2.5 Sismik dalgalar; yüzeysel ve gövde dalgaları (Rosenthal ve Morlock, 1987)

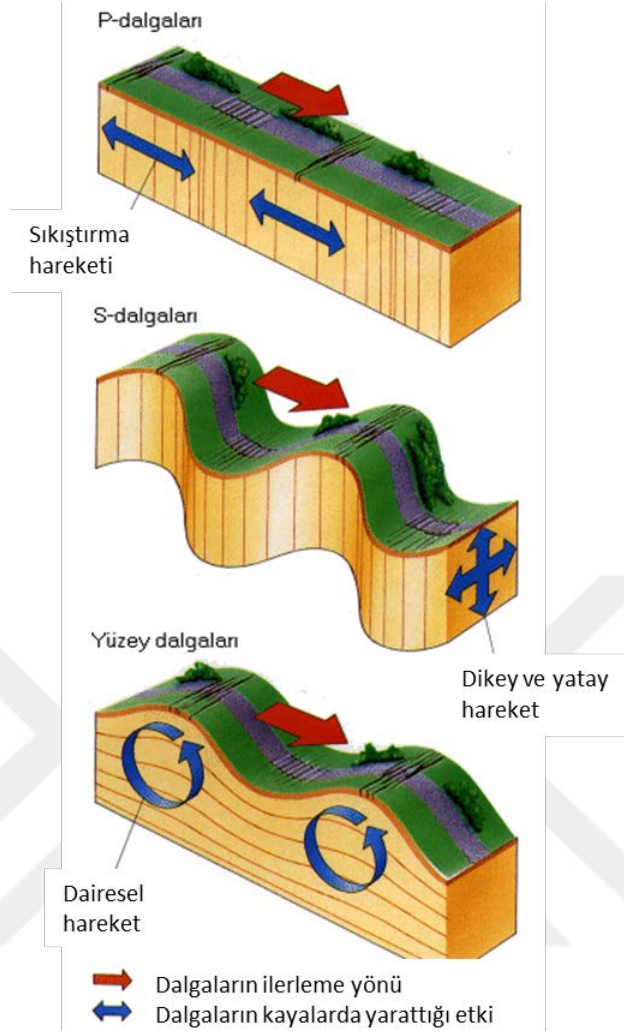
Gövde dalgaları kaya/zemin içerisinde derinlere doğru hareket eden dalga türüdür. Katı sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilen dalga yayılma yönüne paralel olan basınç dalgası (P) ve sadece katı ortamda yayılan dalga yayılma yönüne dik olan kesme (makaslama) dalgası (S) olarak ayrılır (Şekil 2.6). Basınç dalgası en hızlı dalgalar olduğundan, ölçüm cihazına ilk varan dalgadır. Bu sebeple primer dalga olarak da adlandırılırlar. Gövde dalgalarının yayılma hızı, yayıldığı ortamın elastik özelliklerine bağlıdır. Aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak basınç dalgası (P) ve kesme dalgası (S) hızları tahmin edilebilir (Jimeno ve diğer., 1997):

$$VC_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho_r(1-2\nu)(1+\nu)}} \quad (2.3)$$

$$VC_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho_r(1+\nu)}} \quad (2.4)$$

$\rho_r$  : Yoğunluk,  
 $\nu$  : Poisson oranı,  
 $E$  : Young modülü,

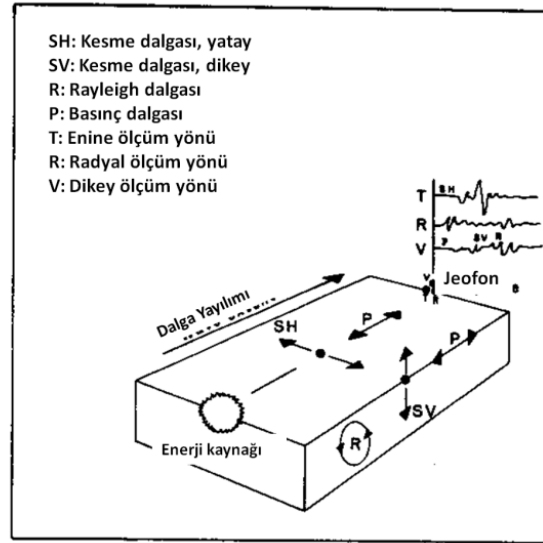
$VC_p$  ve  $VC_s$  : P ve S dalgalarının yayılım hızlarıdır.



Şekil 2.6 Gövde dalgaları olan P ve S dalgaları ile yüzey dalgaları (Nitromak, 2004)

Patlatma sonucu oluşan dalgalar kısa mesafede gövde dalgaları şeklindedir. Ancak kaya yapılarında kaçınılmaz olarak bulunan süreksizlik yüzeylerinde, çökelti katmanları yüzeylerinde veya kaya-toprak örtüsü kontaklarında yansıma ve kırılmaya bağlı olarak değişik dalga formları oluşmaktadır. Bunlara "yüzey dalgaları" (Rayleigh, Love dalgaları) ismi verilmektedir (Siskind, Stagg, Kopp ve Dowding, 1989; Bilgin, Esen ve Kılıç, 1999). Yüzey dalgalarının hızları düşük olduğundan, ölçüm cihazına gövde dalgalarından sonra varmaktadır. Fakat genliği yüksek, frekansları düşük olduğu ve yavaş sönmüldüğü için hasar riski açısından en tehlikeli dalgalardır (Şekil 2.7).

Patlatmalardaki en kritik durum, zemindeki uyarıcı dalga frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan biraz büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı sınır değerlerin altında ise, binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur (Bilgin ve diğer., 1999).



Şekil 2.7 Patlatma sonucu oluşan dalgalar (Rosenthal ve Morlock, 1987)

Patlatma kaynaklı titreşimlerinin büyüklüğü gecikme başına düşen patlayıcı miktarına, deliklerin sıkılanma oranlarına, titreşimin yayıldığı kaya/zemin jeolojisine, patlatma bölgesinden olan uzaklığa bağlıdır (Oloffson, 1988). Amerika Madencilik Dairesi (USBM), patlatma kaynaklı titreşimleri minimize etmek için kullanılabilecek 5 teknik açıklamıştır. Bunlar;

- 1- Gecikme başına patlayıcı şarj miktarını azaltmak,
- 2- Kapalı ayna şarjından, çok fazla dilim kalınlığı ve mümkünse taban payından kaçınmak,
- 3- Deliklerarası gecikme süresini arttırmak,
- 4- Atım yönü denetlenerek hassas bölgelerden uzaklaşan bir dalga yayılımı sağlamak,

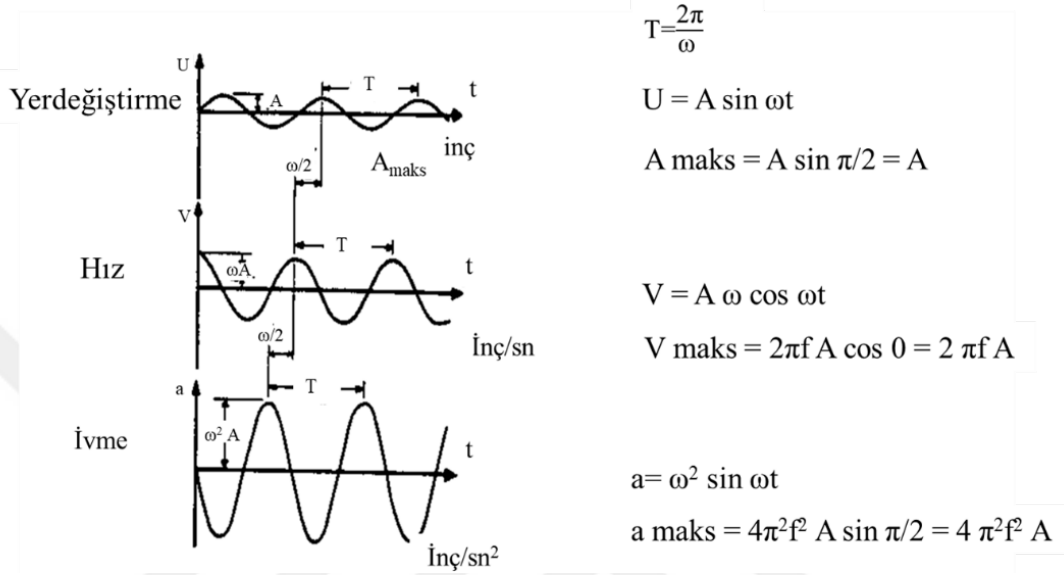
- 5- Zemin titreşimlerine insan algısı patlatmanın yerel olarak yüksek aktivite dönemlerinde, örneğin öğle saatlerinde, ya da okul bittikten kısa bir süre sonra yapılmasını sağlamak. Mümkünse, genelde sakin dönemlerde patlatma yapılmaktan kaçınılmak.

#### *2.1.2.2 Titreşim Analizinde Kullanılan Temel Parametreler*

USBM RI 8507 raporlarında frekansın öneminden bahsederken, OSMRE kuralları ise maksimum bileşke parçacık hızı üzerinde durmuştur (Siskind ve diğer., 1980, 1989). Her ne kadar farklı normlarda farklı parametreler üzerinde durulsa da, patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin enerji seviyelerini tespit etmek için parçacık hızı (mm/sn), ivme (mm/sn<sup>2</sup>), frekans (Hz), yer değiştirme (mm) değerleri kayıt altına alınır.

Sismik dalga tarafından harekete geçirildiğinde, parçacığın taşındığı gerçek mesafe yerdeğiştirme (deplasman), eski konumuna gelene kadar salınım yaparken titreşen parçacığın hızındaki artış oranı ivme, saniyedeki salınım sayısı da frekans olarak tanımlanır. Frekans, periyodun ( $T=1/f$ ) tersine eşittir. Frekans tek başına bir sonuç vermez, fakat parçacık hızı ya da yer değiştirme ile birlikte dikkate alındığında, oluşacak hasar ve şikâyetlerde büyük ölçüde etkilidir. Parçacık hızı ise salınım hareketi sırasında herhangi bir bireysel parçacık tarafından elde edilen hızdır ve hasar olasılık bakımından çok önemli bir parametredir. Sismik hızla parçacık hızının karıştırılmaması gerekir. Sismik hız çok hızlı, saniyede binlerce metre iken, parçacık hızı çok yavaştır, hatta zararlı parçacık hızları saniyede birkaç mm ölçülmektedir. Bileşke hızı hesaplayabilmek için her 3 düzlemde aynı anlık zamanda kaydedilen maksimum değer ölçümlerinden yararlanılır (Rosenthal ve Morlock, 1987). Bu üç temel patlatma titreşim parametresi Şekil 2.8'de gösterilmektedir. İsviçre'de Langefors ve Kihlstrom (1978), Kanada' da Edwards ve Northwood, ABD'de USBM (1962) parçacık hızını en temel hasar olasılık parametresi olarak kullanmaktadır. Bunun yanı sıra frekans ve sürekliliğinde etkin olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Bu sebeple patlatma sonucu ortaya çıkan yer sarsıntılarını değerlendirmede dikkat edilen başka bir konu ise frekanstır. Frekansın

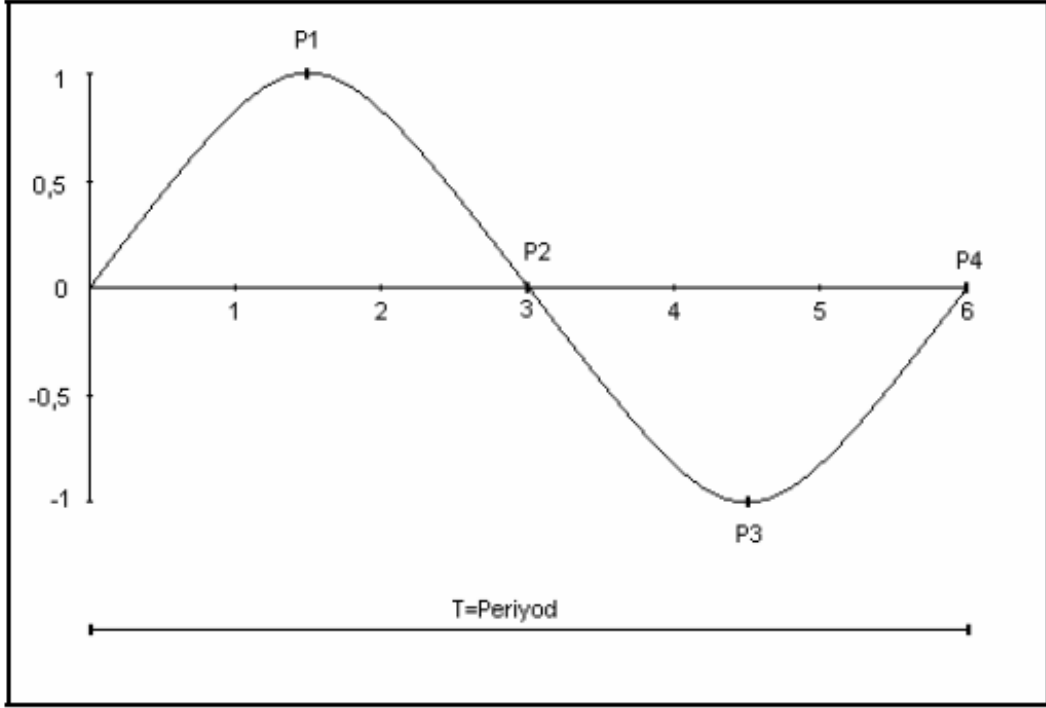
değerlendirilmesi insan tepkileri ve bina tepkileri açısından önemlidir. Yer titreşiminin frekans özellikleri başlıca jeoloji ve gecikmeli ateşleme aralığından etkilenir (Dowding, 1985).



Şekil 2.8 Titreşim için yer değiştirme, ivme ve hızın gösterilmesi (Rosenthal ve Morlock,1987)

Kaya ortamında patlatma işlemi gerçekleştirildiği zaman, patlatma deliği çevresinde kırılmalar ve kalıcı deformasyonlar meydana gelir. Patlatma kaynaklı şok dalgası delik çevresinden yayıldıkça enerjisini kaybetmeye başlar ve kaya yapısında kalıcı deformasyonlar yerine elastik deformasyonlara neden olur. Kaya ortamındaki parçacık hareketi elastik ortamda basit bir sinüzoidal dalga olarak değerlendirildiğinde söz konusu titreşim parametreleri için tanımlar şu şekilde yapılabilir (Şekil 2.9).

Sıfır (0) noktasından P1 noktasına gelmesi yer değiştirme (mm) olarak, P1 noktasına geliş hızı, parçacık hızı (mm/sn) olarak, P1 noktasına geliş ivmesi kütle ivmesi (mm/sn<sup>2</sup>) olarak, 0 noktası ile P4 noktası arasındaki uzaklık zaman göstergesinde devir (sn) olarak, 0 noktası ile P4 noktası arasındaki mesafe uzaklık gösterge çizelgesinde dalga boyu (m) olarak tanımlanır. Ayrıca 1/devir, frekans olarak tanımlanır, Hertz (Hz) ile ölçülür (Ak, 2006).



Şekil 2.9 Kaya yapısı içindeki elastik deformasyonun elemanları (Ak, 2006)

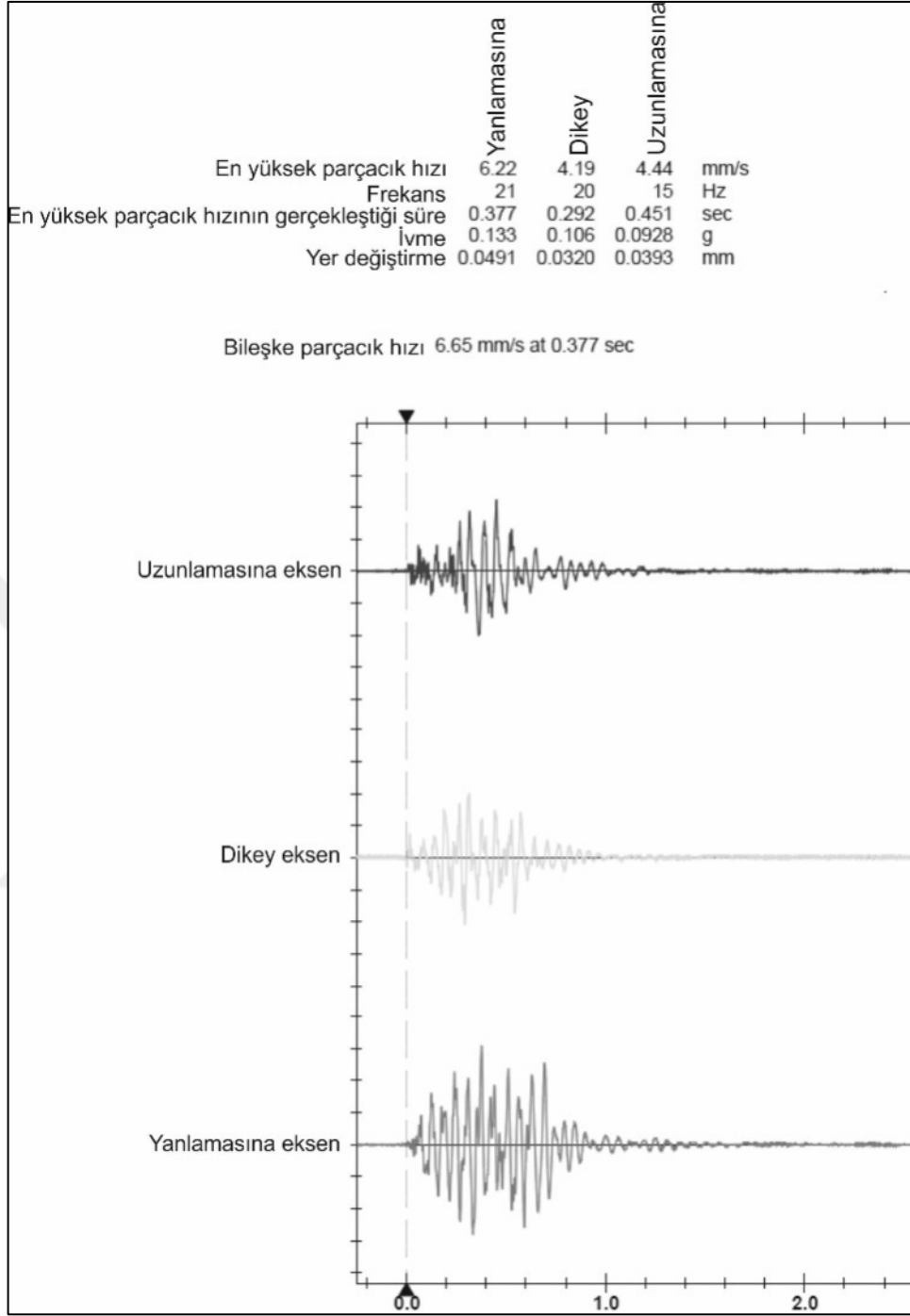
### 2.1.2.3 Patlatma Kaynaklı Titreşim Ölçümü Temel Prensipleri

Patlatmadan kaynaklanan titreşimler, çeşitli firmalara ait cihazlar kullanılarak ölçülebilmektedir. Bu cihazlar titreşim ve hava şoku izleme cihazı olup jeofon, mikrofon, yazıcı, şarj kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır. Enine (Transverse), düşey (Vertical) ve boyuna (Longitudinal) kayıt alan sensörler vasıtasıyla jeofonlar üç ayrı eksen de ölçüm alabilmektedir.

Titreşim ölçümünde temel prensip, zemindeki bir parçacığın sismik etki altında kaldığı zaman 3 yönde hareket etmesidir. Bu hareketler titreşim ölçüm cihazlarında tanımlanan enine, düşey ve boyuna hareketlerdir. Parçacık sismik dalgaların etkisiyle bu üç yönde hareket eder ve dalganın etkisi geçtiği zaman başlangıçta bulunduğu konumuna geri döner. Parçacığın üç yönlü hareketi sırasında belirli oranlarda yerdeğiştirme (displacement, mm) meydana gelir. Dalganın etkisiyle hareketi sırasında üç yönde de parçacık hızı (particle velocity, mm/sn) olarak ifade edilen

belirli bir hız ile hareket etmektedir. Patlatma kaynaklı titreşimler zamana bağlı üç boyutlu fiziksel bir hareket olması nedeniyle, ölçüm cihazları bu fiziksel hareketi ölçmeye yönelik olarak tasarlanmışlardır ve parçacık enine, düşey ve boyuna hareket ederken aynı hız ya da aynı yer değiştirmeye sahip olmadığından dolayı üç farklı yönde eş zamanlı olarak kayıt alırlar. Patlatma kaynaklı titreşimin hareket hızı transdüser ile ölçülür. Jeofon olarak adlandırılan üç yönde ölçüm alan birleştirilmiş transdüserler titreşimin karakterize edilebilmesi için kullanılırlar.

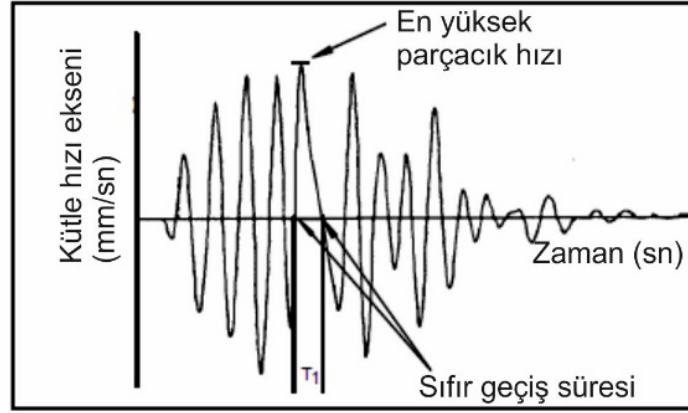
Ölçüm cihazlarında temel parametre fiziksel hareketin kütle hızıdır. Hareketin diğer parametreleri olan yer değiştirme ve ivme, ölçülen kütle hız değerinin fonksiyonu olarak matematiksel işlemlerle elde edilir. Yapay bir kaynaktan yayılan anlık enerjinin neden olduğu titreşim bir noktadan geçerken zamana bağlı değişim gösterir. Bu nedenle oluşan titreşim sadece kütle hızı, yer değiştirmesi ve ivmesi ile değil aynı zamanda zamana bağlı değişimin ifadesi olan frekansı ile de karakterize edilir. Bu çerçevede titreşim ölçüm cihazları ile kütle hızı ölçülür, hareketin diğer bileşenleri olan frekans, yer değiştirme ve ivme değerleri için kütle hızı değişiminden sayısal analizler gerçekleştirilir (Karakuş, Öngen, Konak, Onur, ve Turan, 2015). Bir titreşim ölçer cihazdan alınmış titreşim çıktısı Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Tipik bir patlatma kaydı (Karakuş ve diğer., 2015)



Titreşim ölçüm cihazlarında frekans değerlerinin hesaplanma mantığı şekil 2.11’de verilmektedir.



Şekil 2.11 Titreşim ölçüm cihazlarında frekans değerinin belirlenmesi (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual)

Şekil 2.10’da verilen titreşim çıktısında her yön/eksen için verilen ivme (a) değeri ise hızın değişiminin fonksiyonu olarak türev işlemi ile elde edilir. Benzer şekilde yer değiştirme (s) değeri de kütle hızının integralinin alınmasıyla hesaplanır (Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6) (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual).

$$a = \frac{dV}{dT} \approx \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.5)$$

$$s = \int V dt \approx \sum(V\Delta t) \quad (2.6)$$

Patlatma kaynaklı titreşimin çevresel etkisinin değerlendirilmesi açısından en yaygın kullanılan bileşke parçacık hızı değeri (Peak Vector Sum), herhangi bir eksenlerdeki en yüksek parçacık hızı değerinin olduğu andaki diğer eksenlerdeki hızların bileşke değerinden üretilmektedir. Titreşim ölçüm cihazları bu değeri hesaplayarak vermektedir. Bileşke parçacık hızı eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$PVS = \sqrt{T^2 + V^2 + L^2} \quad (2.7)$$

- PVS : Bileşke parçacık hızı (mm/sn),  
T : Yanlamasına eksen parçacık hızı (mm/sn),  
V : Düşey eksen parçacık hızı (mm/sn),  
L : Uzunlamasına eksen parçacık hızı (mm/sn).

#### 2.1.2.4 Ölçekli Mesafe ve Parçacık Hızı Tahmini

Patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisini belirleyen en önemli değişken, gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarıdır (W). Ayrıca incelenen ve ölçüm alınan bölge ile patlatma noktası arasındaki mesafe (R) de, titreşimin etkisini belirleyen önemli bir etmendir. Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve mesafe değişkenlerini, tek değişken olarak ifade edilebilmek amacıyla bu iki değer birbirlerine oranlanır. Bu oran ölçekli mesafe olarak isimlendirilir. Yaygın olarak kare kök ölçekli mesafe bağıntısıyla (Eşitlik 2.8) hesaplanır (Dowding, 1985).

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \quad (2.8)$$

- SD : Ölçekli mesafe,  
W : Bir defada patlayan patlayıcı miktarı (kg),  
R : Ölçüm ile patlatma arasındaki uzaklık (m).

Karekök ölçekli mesafe kavramı, doğrusal şarj edilmiş patlatmaların ölçeklendirilmesi için kullanılır. Patlatma meydana geldiğinde patlatma deliğinden dışa doğru yayılan sismik dalgalar, silindir şeklini alarak genişlemektedir. Basınç etkisiyle silindir kolonu çapının karesi kadar genişler. Böylece yer hareketinin en yüksek olduğu seviye, patlatma noktasından olan mesafenin karesiyle ters orantılıdır. Geleneksel patlatmaya uygun bir ölçekli mesafe formülüdür ve birçok yönetmelik / norm tarafından kabul görmüştür (Bender, 2007).

Küp kök ölçekli mesafe, şarj miktarının ağırlığının küp kökünü kullanır. Aşırı hava şoku içeren patlatma durumlarında, sualtı patlatmalarında, küresel yüke bağlı olarak oluşan zemin titreşimlerinde kullanılır (Bender, 2007). Ayrıca incelenen alana

aşırı yakın (6 m'den daha yakın) patlatmaların tahmin edilmesinde tercih edilir. Küp kök ölçekli mesafe eşitlik 2.9 ile hesaplanır;

$$SD = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (2.9)$$

SD : Ölçekli mesafe,

W : Bir defada patlayan patlayıcı miktarı (kg),

R : Ölçüm ile patlatma arasındaki uzaklık (m).

Patlatma kaynaklı titreşimin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan karekök ölçekli mesafe bağıntısı Duvall ve Fogelson (1962) tarafından aşağıdaki şekilde dönüştürülmüştür.

$$PPV = K \times \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-\beta} \quad (2.10)$$

PPV : Maksimum parçacık hızı (mm/sn),

K : Arazi iletim katsayısı (kayacın homojenliğine, fayların ve çatlakların varlığına bağlı sabit) (Oloffson, 1988),

D : Atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklık (m),

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

$\beta$  : Arazi sönümlenme katsayısıdır.

Araştırmacılar, ölçekli mesafe kavramına bağlı PPV değeri tahmin modelini farklı değerlendirmiş, en yüksek regrasyon katsayılarını elde etme çalışmaları yapmışlardır. Küp kök ölçekli mesafe formülünü ilk kez tahmin modelinde kullanılması Ambraseys ve Hendron (1968) tarafından gerçekleştirilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından patlatma kaynaklı titreşimlerin etki mesafelerinin belirlenmesi ve tahmini amacıyla önerilen eşitlikler Tablo 2.5'de verilmiştir. Bütün tahmin modellerinde arazi (K) ve sönümlenme ( $\beta$ ) sabitleri olarak tanımlanan katsayılar bulunmaktadır.

Tablo 2.5 Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Titreşim Tahmin Modelleri

Araştırmacılar	Tahmin Modelleri
USBM (Duvall and Fogelson, 1962)	$PPV = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$
Ambraseys-Hendron (1968)	$PPV = K \left( \frac{R}{\sqrt{W^{1/3}}} \right)^{-\beta}$
Langefors-Kihlstorm (1978)	$PPV = K \left( \frac{\sqrt{W}}{R^{2/3}} \right)^{\beta}$
Bureau of Indian Standards (1973)	$PPV = K \left( \frac{W}{R^{2/3}} \right)^{\beta}$

Burada

PPV : Maksimum Bileşke Parçacık hızı (mm/sn),

R : Ölçüm yapılan nokta ile patlatma bölgesi arasındaki mesafe (m),

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı (kg),

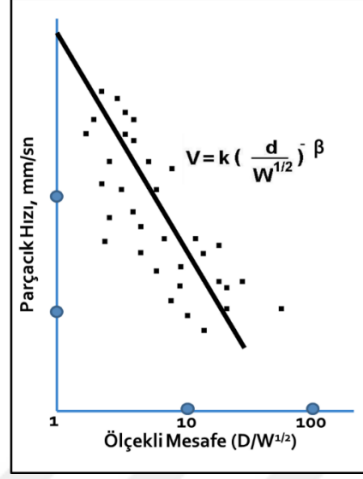
K : Arazi katsayısı,

B : Arazi sönümlenme katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Farklı eşitliklerin titreşim yayılma modelini karakterize etmesi ve korelasyon katsayıları değişimi titreşimlerin yönsel değişiminin değerlendirilmesinde hatalara neden olabilir. Bu nedenle, patlatma sonucu oluşan titreşimlerin değerlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan kare kök ölçekli mesafeyi içeren USBM (Duvall ve Fogelson, 1962) eşitliğidir (Karakuş, Konak, Onur ve Tosun, 2010).

Bu denklemdeki arazi ile ilgili sönümlenme parametrelerinin (K ve  $\beta$  katsayıları) tahmini veya bir başka yoldan hesaplanabilmesi, titreşim ölçümleri yapılması dışında mümkün değildir. Farklı ölçekli mesafelerde (farklı şarj miktarı ve farklı mesafelerde) yapılan atımlardan parçacık hız değerleri ölçülerek ölçekli mesafe

grafığı logaritmik olarak çizilir (Şekil 2.12) ve regresyon analizi yapılır, böylece arazi ile ilgili K ve  $\beta$  katsayıları bulunur.



Şekil 2.12 Logaritmik ölçekli maksimum parçacık hızı-ölçekli mesafe grafığı

Kısacası patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisinin belirlenmesi için, patlatmalı kazı çalışmaları yürütülen alanda, belirli patlayıcı miktarlarında uygulanan patlatmaların incelenen yönde ne kadar mesafeye yayıldığı ve hangi mesafelerde sönümlendiğinin ortaya koyulması şarttır. Titreşim etkisinin nerede son bulduğu, diğer bir ifadeyle sönümlenme mesafesinin belirlenebilmesi, patlatma yapılan bölge ile riskli yönde değişik patlayıcı miktarı ve mesafelerde titreşim ölçümleri alınarak, arazi ve sönümlenme katsayılarının modellenmesi ile mümkündür. Böylece, mesafe ve kullanılan patlayıcı miktarları eşitlikte yerine konularak, istenilen mesafede meydana gelecek olan parçacık hızı değeri hesaplanabilecektir.

#### 2.1.2.5 Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar ve Uluslararası Normlar

Literatür araştırmalarının birçoğu, insanların titreşime verdiği tepkiler açısından mekanik titreşim etkilerini ele almıştır. Araştırmacılar tarafından sunulan patlatma kaynaklı titreşim kriterlerinin birçoğu, titreşim kaynağına bakılmaksızın, çoğunlukla yapılara etkiyle alakalıdır ve insan faktörünü göz ardı ettiği için birçok sebepten dolayı tartışma konusu olmuştur. Patlatma kaynaklı gürültü ve titreşimlerin insanlar

üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların sayısı çevre binalar üzerindeki etkisinin araştırılması ile ilgili çalışmalara göre sınırlı sayıdadır.

İnsanlar, kendilerine ait farklı fiziksel yapıları ve farklı durumlardaki hassasiyetleri nedeniyle, titreşimleri de farklı seviyelerde algılayabilir. Örneğin günlük hayat içinde, yoldayken veya çalışırken titreşimlere karşı herhangi bir rahatsızlık hissi duymazken, ikamet ettikleri evde dinlenirken veya uyurken titreşimlerden rahatsızlık değerleri ve algılama limitleri daha düşük olabilir. Bu durum patlatma kaynaklı çevresel titreşimin insanların algılama seviyelerine göre belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Karakuş ve diğer., 2010).

Özellikle patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin etkisinin araştırılması ile ilgili çok sayıda uluslararası normlar bulunmasına rağmen, bunların çoğunluğu bina hasar kriterlerini göz önüne almaktadır. İnsanların patlatma kaynaklı titreşimleri algılama düzeylerini içeren normların sayısı azdır. Konuyla ilgili öncü çalışmalar, titreşimlerin çevre binalara etkisinin de belirlendiği ilk çalışmalar olan Amerikan Madencilik Dairesinin (USBM) RI 8057, RI 9455 ve Bulletin 656 raporlarında yer almaktadır (Nicholls, Johnson ve Duvall, 1971; Siskind ve diğer., 1980, 1989; Siskind, Crum ve Plis, 1993). Bu bölümde çeşitli normlar hakkında bilgi ve değerlendirmeler ile birlikte farklı araştırmacılara ait çalışmalar verilmiştir.

Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) farklı titreşim ortamlarında (örneğin araç kullanımı gibi) ve bina içerisinde insanların farklı kaygıları olduğu durumunu göz önüne alarak, bu durumlar için ayrı standartlar geliştirmiştir. Tutum faktörü, hasar korkusu, evlerinde özel hayatlarına müdahale durumlarını içeren bir standart yayımlamıştır (American National Standards Institute [ANSI], 1983). Bu standarda göre, insanlar doğrudan titreşime tepki vermemekte, ancak binanın titreşime tepkisi ikincil etkileri içerdiği için (örneğin, pencerelerin sallantısı, üst katlardan gelen gıcırta sesleri, raflarda bulunan bir yere sabitlenmemiş eşyaların ve duvarlardaki resimlerin sallanması gibi) tüm ikincil etkileri de içeren bina titreşimlerine tepki vermektedir. En kötü durum senaryosu için dikey ve yatay hareketin

kombinasyonunu içeren, saniyeden daha az geçici titreşimler için maksimum parçacık hızı değerleri Tablo 2.6'da verilmektedir.

Tablo 2.6 Binaların içinde insanlar tarafından tolere edilebilecek pik titreşim seviyeleri (mm/sn ) (Frekans değerleri 8 ile 80 Hz arasında) (ANSI, 1983)

Gün başına olay sayısı	1	12	26
Hastane gibi kritik yapılar	0,13	0,07	0,05
Konut, gece	0,20	0,10	0,07
Konut, gündüz	12,70	6,40	4,30
Ofis, çalışma ortamı	18,00	8,90	6,10

USBM RI 8057 raporu, doğrudan patlatma kaynaklı çevresel titreşimlerin araştırılmasına yöneliktir ve insanların hissedeceği titreşim rahatsızlık eşik değerini ise 12,7 mm/sn olarak belirlenmiştir. Bu raporu oluşturan araştırmacılar, insanların başlıca endişelerinin evlerinin patlatma kaynaklı titreşimlerden zarar görmesi olduğunu belirtmiştir. Söz konusu raporda, ANSI raporlarında belirtilen ikincil etkiler de dahil olmak üzere, titreşen her türlü yapı bu korkuyu tetikleyecektir ibaresi yer almaktadır. İnsanların binalarında herhangi bir hasar oluşmayacağını anladıklarında 12,7 mm/sn değerini tolere edebilecekleri belirtilmiştir. Bu değer üzerinde patlatma kaynaklı titreşimlerin insanların büyük bir yüzdesini rahatsız edebileceğini ifade etmişlerdir. Kritik tepki düzeyleri için titreşim özellikleri (süre, maksimum düzeyi, titreşim frekansı, oluşum sıklığı), reaksiyon tanımlayıcıları (tedirginlik, ürkmek, hasardan korkmak, uyku ya da diğer bozukluklar) ve hoşgörü tanımlayıcıları (sağlık ve güvenlik teklisesi, iş yada uzmanlık, rahatlık yada sıkıntı sınırları) vardır. Söz konusu raporda, insanların hasar kriterlerinden daha düşük seviyelerdeki patlatma kaynaklı titreşimi farkedip tepki vermekte oldukları, binaların içindeki insanların genelde 5 ile 25 Hz titreşimleri duyabilir ve hissedebilir olduğu, olumlu hava koşulları altında yayılan uzun menzilli hava şoklarında, zemin titreşimlerinin zaman zaman ev titreşimleri yarattığı belirtilmiştir. Raporda verilen 12,7 mm/sn değeri ANSI (1983) tarafından verilen limit değerlerle örtüşmektedir (Tablo 2.6). Bununla birlikte, insanların korkuları tamamen geçmediğinde, algılanabilir titreşim seviyesi daha düşük olabilir. Buna istinaden, USBM RI 9455

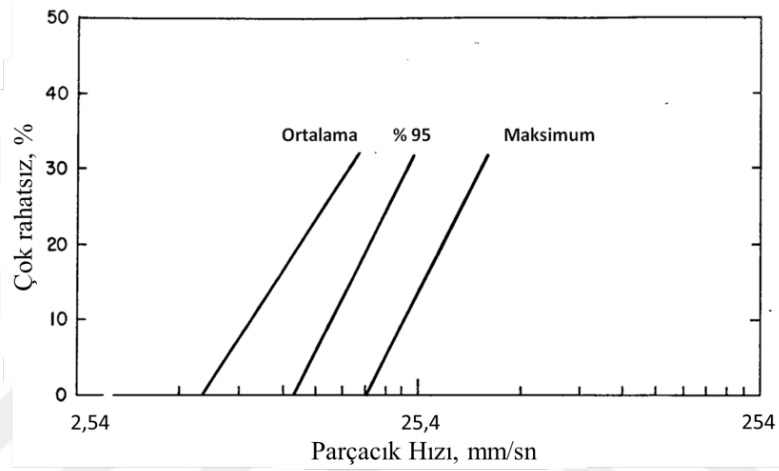
raporunda düşük frekanslar gibi bazı koşullar altında, titreşim değeri 2,54 mm/sn değerini aştığında şikâyetlerin beklenebileceği ifadesi yer almaktadır. Ayrıca hava şoklarının da yapısal titreşimler üretebileceği ve olası hasarlara karşı benzer korkulara neden olabileceği belirtilmiştir (Siskind ve diğer., 1993).

Surface Mining Control and Reclamation (SMCRA) (1977) yasası, OSMRE'nin patlatma esnasında insanların yaralanmasını ve kamusal veya özel mülklerin zarar görmesini önlemeyi sağlamak zorunda olduğunu şart koşmaktadır. Ayrıca SMCRA, şikâyetlerin ilgili makamlar tarafından ele alınmasını talep etmektedir (Eltzschlager, 2001). OSMRE kriterlerinde açık ocak patlatmalarından kaynaklanan titreşim, hava şoku, kaya fırlaması etkilerinin insan algısı açısından önemi üzerinde durulmuştur. Şikâyetlerin hava şoku ya da titreşimden mi oluştuğunu ayırt etmek olanaksız olmasına rağmen, parçacık hızı 12,7 mm/sn'de iken popülasyonun %5'inin rahatsızlık duyduğu belirtilmiştir. Herhangi bir parçacık hızı değerinde, insan algısı açısından şikâyetler meydana gelmesine rağmen, bu şikâyetlerin 2,03 mm/sn ve daha düşük değerlerde olmasının nadir olduğu belirtilmiştir. Maksimum parçacık hızı arttığında, bölgesel ya da bireysel hassasiyet artar, bu yüzden şikâyetlerin sayısı da artacaktır. Örneğin 6,35 mm/sn OSMRE sınırları içinde olmasına ve dolayısıyla güvenli olmasına rağmen, 2 Hz'in yukarısında şikâyetler beklenebilir ifadesi bu raporda yer almaktadır. İlgili raporda titreşim algısında insan öznelliğini etkileyen faktörler; olayın kendisi, insan algısı, olayın gerçekleşme sıklığı (gün veya hafta başına olayların sayısı), gün içindeki maruz kalınan süre, yapısal tepki, yapının durumu, kişinin aktivite düzeyi, kişinin sağlık durumu ve akıl durumu, kişinin o anki pozisyonu (örn; yatakta, koridorda, otururken), operasyonun yerel algısı, geçmişte meydana gelen olay, hasarlarla ilgili yükümlülüğün inkâr edildiği davalar ve bunlarla ilgili yapılan ödemeler olarak sıralanmıştır. İnsanların binalarında hasar oluştuğunda bunun patlatma kaynaklı titreşime bağlı olduğunu iddia edebilecekleri, bu durumda bilirkişi tarafından yapılan sorgular ile şikâyetlerinin doğruluğunun araştırılması gerektiği, bazı şikâyetlerin gerçekçi olabileceği ve patlatmanın buna neden olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Teknik kanıtlar çok fazla olsa bile, bu durum patlatma hasarı olduğunu göstermeyebilir, bu da devamlı bir problem haline dönüşebilir. Bu durumlarla karşılaşmamak için OSMRE kurallarına iyi uyulması,



tüm patlatma kayıtlarının alınması, olası davalar açısından işyerinin faydasına olacaktır. En etkin korunma için sürekli titreşim seviyesi ölçümleri yapılmalıdır (Rosenthal ve Morlock, 1987).

Bazı zemin titreşimlerinden kaynaklı insan tepkileri şekil 2.13'te verilmiştir. Bu veriler kömür madeni için geçerlidir, taşocaklarında bu değerler %20 daha yüksektir (Siskind ve diğer., 1980, 1989).



Şekil 2.13 Patlatma kaynaklı titreşime evlerindeki insanların tepkileri. (Siskind ve diğer., 1980, 1989)

Grafiğin 3 doğrusu da parçacık hızının dağılımını göstermektedir. Gerçek kamuoyu tepkisi ortalama ve %95 eğrisi arasında bir yerde meydana gelir. Şekil 2.13'te zemin titreşimlerinin insan tepkisi ürettiği açıkça görülmektedir. Ortalama 12,7 mm/sn zemin titreşim seviyesinde, toplumda %15-30 arasında "çok rahatsız" kesim oluşacağı beklenmektedir. %95'lik doğruya bakıldığında 12,7 mm/sn'de %5'lik kısmın "çok rahatsız" olduğu görülmektedir. Titreşim seviyeleri hasar kriterleri için istenenden bir hayli düşükken bile hissedilmektedir. Şikâyetlerin önüne biraz da olsa geçmek için, Ateşinin en yakındaki ev sahiplerini, duydukları seslerin hasar vermeyeceğine ikna etmesi ve en uygun patlatma tasarım tekniğini kullanması gerekmektedir. RI 8507 nolu araştırma raporuna göre, tüm vücut ile ilgili titreşim tepkisi titreşimin aktivitelere (uyku, konuşma, tv seyretme, okuma), sağlığa, iş yapmaya engel olması ile değerlendirilir. Evlerindeki insanlar için en ciddi patlatma titreşim problemi evlerindeki çatırtılar, hasar ya da kaza korkusu, irkilmek ve birtakım aktiviteleri gerçekleştirememektir (Siskind ve diğer., 1980). Bu

çalışmalarda hasar korkusu, tedirginlik, evdeki sesler (tıkırtı) ve diğer ikincil etki sorunlarının hiçbiri sunulmamıştır. Kesinlikle bu etkiler, insanların tepkileri için verilen eřik değerlerini dūřurürler.

Avusturalya ve Yeni Zelanda evre Konseyi (ANZEC) Teknik Esası ve Zemin Titreşimi Değerlendirme Ölçütleri (1990), insan konfor kriterlerini içermektedir. Buna göre genel insan konforu için titreşim sınır değerı 5 mm/sn'dir. Ayrıca bu kritere göre pazar günü ve tatillerde patlatmaya izin verilmez. Pazartesi ve cumartesi saat 09:00-17:00 aralığında izin verilir.

İngiltere standardı BS6472-2 (2008), binalarda insanların titreşime maruz kalma değerlendirmesini içermektedir. Uygun patlatma koşullarına ait sınır değerleri oluşturmanın, madencilik planlama kurumuna ait olduğunu bilmesine rağmen, titreşimin kabul edilebilir maksimum büyüklüklerini açıklayan bir tablo sunmaktadır (Tablo 2.7) (British Standards Institution BS6472-2, 2008).

Tablo 2.7 İnsan tepkileri bakımından maksimum kabul edilebilir titreşim büyüklükleri (British Standards Institution BS6472-2, 2008)

Yer	Zaman	Kabul edilebilir parçacık hızı (mm/s)
Mahalle/Semt (Ev)	Pazartesi- Cuma (08:00–18:00) Cumartesi (08:00–13:00)	6,0 – 10,00
	(23:00 – 07:00)	2
	Diğer	4,5
İşyeri/Ofis Atölye/Fabrika	Herhangi bir zaman	14

Ülkemizdeki patlatma kaynaklı titreşimlerin değerlendirilmesinde, 2005 yılında yürürlüğe giren evresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği baz alınmaktadır. 2010 yılında yenilenen Yönetmelikte Beşinci Bölüm “evresel Titreşim Esas ve Kriterleri” başlığı ve “Yapılarda evresel Titreşim Kriterleri” alt başlığı ile tanımlanan Madde 25a bendinde, maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki titreşim düzeyi (anlık titreşim), 29b bendinde

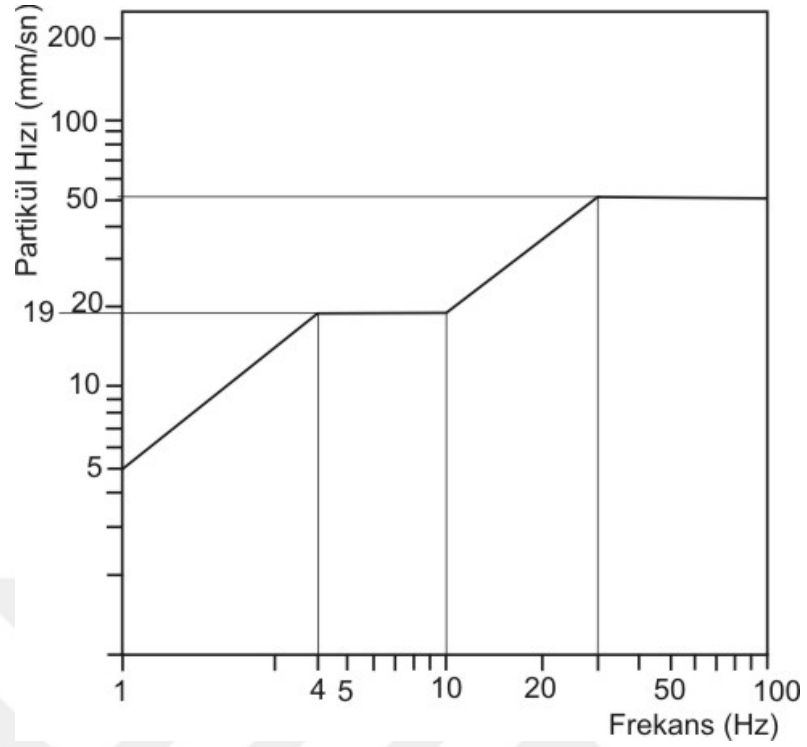
inşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratacak operasyonlar için sınır titreşim düzeyleri verilmekte(kesikli titreşim), 29c bendinde makine ve teçhizatın neden olabileceği aynı düzeydeki titreşimler (sürekli titreşim) için sınır titreşim düzeyleri tariflenmiştir.

Madde 25a bendinde “Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII’de yer alan Tablo-6’da verilen sınır değerleri aşamaz” olarak belirtilmiştir. Aşağıda maden ve taş ocaklarının çevresel titreşim kriterleri verilmektedir;

Tablo 2.8 Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

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

Yürürlükte olan yönetmeliğin Tablo 2.8’de verilen sınır değerlerinde, binaların doğal frekansları ve rezonans etkisi göz önünde bulundurularak, frekanslar ile birlikte parçacık hızı değerleri baz alınmıştır. Düşük frekanslarda parçacık hızı değerleri yüksek olmasa bile, yapının kalitesine bağlı olarak zarar oluşabileceği yönetmelikte göz önünde bulundurulmuş ve düşük frekanslar için izin verilen en yüksek titreşim hızı küçük tutulmuştur. Ancak pratikte, Tablo 2.8’in ilk satırında bulunan 1 Hz değerinin, patlatma sonucu bir titreşimden oluşması mümkün görülmemektedir. Tablo 2.8’e ait grafik Şekil 2.14’te verilmiştir. Buna göre bu grafikte, sınır eğrisinin altında kalan alan patlatma kaynaklı titreşimler değerleri çevresel etki açısından izin verilebilirdir.

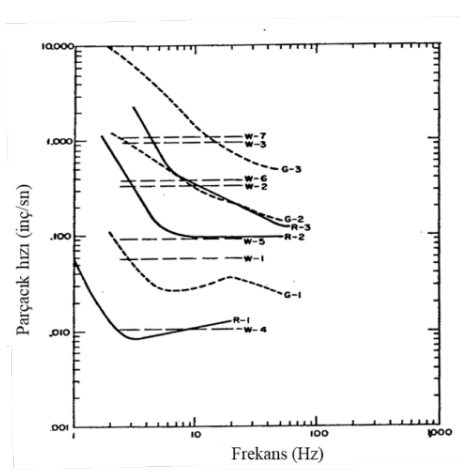


Şekil 2.14 Parçacık hızı-frekans sınır değerleri (25/a maddesinde atıf yapılan ve EK VII Tablo 6 'da tarif edilen esaslara göre ) (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği, 2010)

Yukarıda verilen yönetmelikteki sınır değerler binaların hasar kriterlerine göre olup, patlatma kaynaklı titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisine yönelik bir değerlendirme içermemektedir. Ülkemizde insanların mekanik titreşimlere maruz kalmaları sonucu ortaya çıkabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunmalarını sağlamak ve alınması gerekli önlemleri belirlemek için 23.12.2003 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan Titreşim Yönetmeliği ilkeleri halen yürürlükte. Bu Yönetmelik İş Kanununun 78. maddesine göre hazırlanmış ve çalışanların iş gereği olarak maruz kalabileceği el-kol titreşimi ve bütün vücut titreşimleri için limit titreşim değerlerini veren bir yönetmeliktir. Fakat bu yönetmelikte verilen limit değerler patlatma sonucu oluşan titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisi için kullanılamaz. Özetle, patlatma kaynaklı titreşimin çevresel olarak insanlar üzerindeki etkisini ele alan bir yönetmelik ülkemizde mevcut değildir.

İnsanların genellikle anlık (dürtüsel) titreşime (Darbeli sondaj, patlatma vb.) sürekli kaynaklardan gelen aynı titreşim seviyesine göre daha az duyarlı olduğu kabul edilmektedir (Carman, 2012). Fakat insanların patlatma kaynaklı titreşimlere olan tepkileri, titreşim kontrol aşamasında bazen en belirleyici etmen olabilir. İnsanlar yer sarsıntularına karşı çok duyarlıdır ve duyarlı oldukları titreşim değerleri yapılar da hasar yaratmayacak emniyetli eşik titreşim düzeylerinin çok altındadır. Titreşimin çoğu insan tarafından algılanabileceği parçacık hızı 1,5 mm/sn civarında olup, bazı koşullarda bu değer 0,5 mm/sn gibi çok düşük değerler olabilir. İnsanların titreşime tepkisi, titreşimin frekansına ve süresine de bağlıdır. Patlatma sonucu ortaya çıkan titreşimleri değerlendirmede frekans değerleri dikkate alınmalıdır (Dowding, 1985).

Wiss ve Parmelee (1974), 5 sn'lik sönümlenmelerle sinüzoidal darbe içeren geçici titreşimlerle 40 insanın tepkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada frekans aralığı 2,5-25 Hz' dir. Tüm denekler açık bir platform üzerinde durdurulmuş ve dikey titreşime maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda tepkilerin, frekanstan bağımsız olarak sönümlenmeye ve titreşim seviyelerine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Titreşim hareketlerine insanların toleransı için öncü çalışmaları Reiher ve Meister 1931 yılında yapmıştır. Çeşitli vücut pozisyonlarında 5 dk süren dikey ve yatay titreşimler için 15 kişiyi incelemişlerdir, rahatlık ve algı seviyelerini tespit etmişlerdir. 0,25-0,84 mm/sn parçacık hızında hafif algı tepkisi oluşmuş ve 2,54 mm/sn parçacık hızında güçlü algı eşiği meydana gelmiştir. Tüm bunlar frekanstan bağımsız elde edilmiştir. Araştırmacıların 5sn ve 300 sn titreşim süresi için yapmış oldukları çalışmalar şekil 2.15'te gösterilmektedir.



Araştırmacı	Titreşim süresi, sn	Grafik değerlendirme
<b>Goldman:</b> Çeşitli vücut pozisyonlarında, ----- ----- -----	5 5 5	<b>Özel tepkinin ortama değeri:</b> Hissedilebilir (G-1 eğri) Hoşa gitmeyen (G-2 eğri) Hoş görülemez (G-3 eğri)
<b>Reiher ve Meister:</b> Ayakta dikey titreşime Maruziyet---- ----- -----	300 300 300	<b>Eşik Değerler:</b> Zar zor fark edilir (R-1 eğri) Hoş olmayan, uygunsuz (R-2 eğri) Rahatsız edici (R-3 eğri)
<b>Wiss ve Parmelee</b> Ayakta dikey titreşime Maruziyet---- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	<b>Özel tepkinin ortama değeri:</b> Zar zor hissedilebilir (W-1 eğri) Belirgin biçimde hissedilir (W-2 eğri) Güçlü biçimde hissedilir (W-3 eğri) <b>Eşik Değerler:</b> Zar zor hissedilir (W-4 eğri) Belirgin biçimde hissedilir (W-5 eğri) Güçlü biçimde hissedilir (W-6 eğri) Çok şiddetli (W-7 eğri)

1-----%1 sönümlenmeli kısa süreli, 5 sn max.  
2-----sıfır sönümlenme

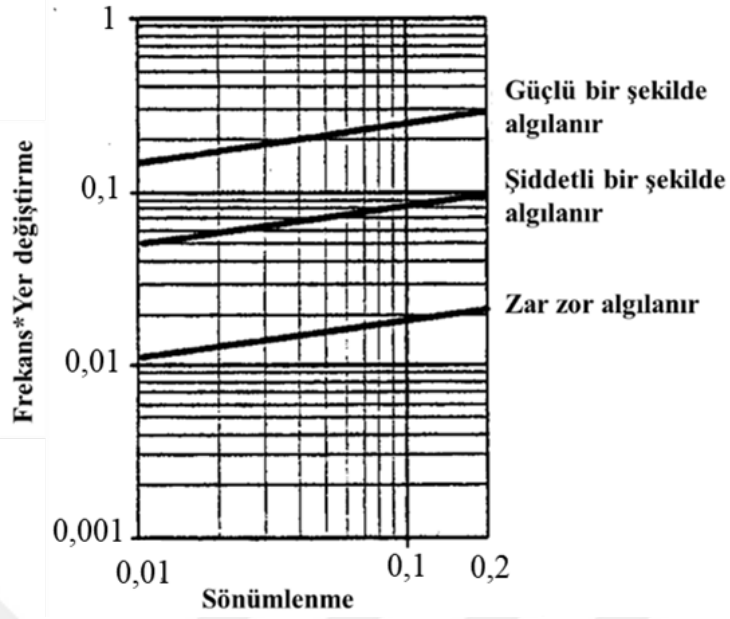
Şekil 2.15 Uzun süreli ve kısa süreli titreşimlere insanların tepkisi

Chang (1973) olay sürelerine özellikle dikkat ederek literatürdeki insanların titreşime tepkilerini incelemiştir. Kısa olaylar için 10 faktörü ile Reiher ve Meister (1931)'in verdiği sonuçların çarpılabileceğini belirtmiştir. Atherton (1976) etki ve iletim üreten zemin hareketlerini incelemiştir. Rahatsız edici seviye 88,9-111,8 mm/sn'de, Goldman (1948)'in uzun süreli titreşimler için 20 Hz'de 20 mm/sn'lik tolere edilemez seviyesinin 5 kat üzerindedir.

Wiss ve Parmelee (1974) kısa süreli titreşimler için insan tepkilerinin tespitine yönelik frekans, maksimum yerdeğiştirme ve sönümlenme oranını kullandıkları bir formül (Eşitlik 2.11) önermişlerdir; Şekil 2.16'da grafiksel olarak bu oranlar verilmektedir.

$$R = 5,08 \left( \frac{FA}{D^{0,217}} \right)^{0,265} \quad (2.11)$$

- R : Tepki oranı; 1: Algılanmaz; 2: Zar zor algılanır; 3: Açıkça algılanır; 4: Güçlü şekilde algılanır; 5: Çok şiddetli
- F : Titreşim frekansı (Hz),
- A : Maksimum yerdeğiştirme (inç),
- D : Sönümlenme oranı

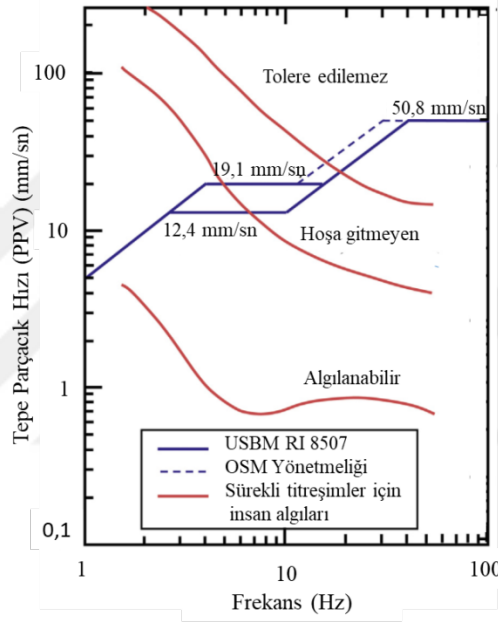


Şekil 2.16 İnsan algısının tespitine yönelik sönümlenmeye bağlı grafik (Wiss ve Parmelee, 1974)

Birçok araştırmacı patlatma kaynaklı titreşimin yarattığı zemin hareketi için, insan algı eşiğinin 0,762 mm/sn civarında olduğu konusunda hemfikirdir. Aktiviteye ve hassasiyete bağlı olarak, kişi bilse de bilmese de, olay meydana geldiğinde birçok aletin ölçebileceğinden daha düşük 0,254 mm/sn ve aşağısındaki titreşim hızları çok az insan tarafından hissedilebilir. İnsanların hissedebileceği herhangi bir seviyede şikâyetler meydana gelebilirken, 2 mm/sn değerinin altında şikâyetler olağan dışıdır. Parçacık hızı ve bireysel hassasiyet arttığında şikâyetlerin sayısı da artacaktır (Rosenthal ve Morlock, 1987).

USBM Bulletin 656 raporunda ve Amerikan Ordusu Birliği Mühendisliği teknik raporunda yayınlanan grafiğe göre 4 Hz'de 1 mm/sn parçacık hızı değerini, 10 Hz ve 50 Hz'de 0,7 mm/sn değerini insanlar algılanabilir bulmuştur. İnsanlar için tolare edilemez değerler frekansa göre değişmektedir. Tolare edilemez çizgisi 60 Hz'de 12,7 mm/sn parçacık hızına doğru ilerlemektedir (Nicholls ve diğer., 1972; U.S. Army Corps of Engineers, 1972, 1989). Bu grafikte bulunan insan tepki eğrileri, Şekil 2.16 insanların algılama eğrileriyle Siskind'in Z-Curve eğrisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İnsan tepkisini gösteren kısım Amerikan Ordusu Birliği Mühendisliği raporundan alınmış ve iki grafik üstüste bindirilmiştir (U.S. Army

Corps of Engineers, 1972). Şekil 2.17’de gösterilen insan algısı eğrileri sürekli titreşim değerlerine göre elde edilmiş olup, patlatma titreşimleri gibi geçici titreşimleri içermemektedir. Söz konusu teknik rapora göre insanların algılama seviyeleri 1948 yılında Goldman tarafından belirlenmiştir. Goldman (1948)’ın frekans aralığı 2-50 Hz olan uzun süreli sinusoidal titreşimler için insan tepkisini analiz ettiği çalışmadan üretilmiştir. Aynı sonuçlar sinusoidal olmayan titreşimler için geçerli olmayabilir. Patlatma endüstrisi insanlar açısından kabul edilebilir titreşim seviyeleri elde etmeye çalışsa da ortada bir paradoks olduğu kesindir.



Şekil 2.17 Bina hasar kriterleri ile insan algısının karşılaştırılması

Siskind ve diğer., (1980) yapmış oldukları çalışmada frekans seviyeleri açısından genelde 10 Hz’den küçük frekansların insanların üzerinde hissedilebilir etkisinin yanı sıra, zeminde de büyük yer değişimlerine neden olduğu ve bu sebeple rahatsızlık ve hasar verme olasılıklarının yüksek olduğu bilgisini vermektedirler. Buna karşılık, Gierke ve Brammer (2001), yapılan çalışmalarını inceleyerek eğer genlik yeterince büyükse biyolojik sistemlerin her frekanstaki titreşimden etkilenebileceği belirtmiştir.



Bakhtar (1996) yaptığı derlemede, Reiher ve Meiser (1931) ve sonrasında Wiss ve Parmelee (1974) tarafından yapılan çalışmalarda, insanların titreşim etkilenme sınırını 5,08 mm/sn olarak rapor etmiştir. Ancak insanların titreşimi hissetmesi ve psikolojik olarak rahatsız olması kişiden kişiye değişmektedir. Raina ve diğer., (2004) yaptıkları çalışmada, Hendron ve Oriard (1972) tarafından önerilen değerlerin temel alınabileceğini önermişlerdir. Buna göre durağan ortamlarda önerilen limit değerler ve insanların tepkileri Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9 Bileşke parçacık hızı insanların algılama seviyesi (Hendron ve Oriard, 1972; Raina ve diğer., 2004)

<b>Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)</b>	<b>Durum</b>
< 0,5	Algılanmaz
0,8	Algılanabilir
1,5	Hissedilebilir
5,0	Rahatsız edici
10,0	Çok rahatsız edici
< 15,0	Şiddetli rahatsız edici

Tablo 2.9’da görüldüğü gibi durağan durumlarda bulunan insanlar için 0,8 mm/sn değerinde titreşim algılanabilir ve psikolojik duruma göre de algılama sınırından itibaren insanlar titreşimden rahatsız olabilir (Karakuş ve diğer., 2010).

Patlatma konusunda halk ile nasıl etkileşime girileceği ve patlatmanın algılanması ile ilgili yapılan araştırmaların sayısı kısıtlıdır. Aimone-Martin, Faroni ve Gelormino (2000), başarılı bir patlatma tasarımı, ölçüm, takip ve halk ilişkileri hakkında bir bilgilendirme yayınlamıştır. Ayrıca, bu makalede, tartışmaya açık bir alıntı yer almaktadır. İfade şu şekildedir “rahatsızlık etkisi duygusal ve eğilime dayanan ve ölçülebilen birşey değildir”. Buna rağmen rahatsızlık etkisi şikayet edilen şeylerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Barron ve Abernethy (2003), halkla ilişkilerin önemli olduğu, kaliteli ilişkiler açısından hava şoku ve titreşim seviyelerini minimumda tutmak gerektiğini önermektedir. Spathis ve Brodbeck (2005) konu ile ilgili olarak tutarlı kurallar ve raporlama birimleri yaratmayı önermiştir. Siebert

(1985) kanun düzenleyici kurumlarla işbirliği yaparak patlatma için olumlu deneyimler elde etmek hem kamu hem de kanun düzenleyici kurumlarlar açık iletişim sağlamak hakkında bir makale yayımlamıştır. 2006 yılında Uluslararası Patlayıcı Mühendisleri Birliği (ISEE) yıllık patlatma konferansında bir halkla ilişkiler semineri oluşturmuştur. Seminer kapsamındaki konular mülk sahipleriyle görüşme ipuçları ve patlatma işlemleri sırasında halkla direk iletişimi kapsamaktadır. Kısacası patlatma kaynaklı çevresel etkilerin insanlar açısından değerlendirilmesinde halkla ilişkilerin önemli bir yeri olduğu yapılmış olan çalışmalarla desteklenmektedir (Lusk, 2006).

Siskind (2000) çalışmasında patlatma tarafından üretilen titreşimlerin 4,5 Hz'den yüksek frekanslarda, binalar için güvenli sınır olarak kabul edilen titreşim seviyelerinden daha düşük hız ve deplasman değerlerinde, insanları rahatsız edeceğine değinmiştir. Yönetmeliklerin yeterli olmadığı, tahmin yapılarak patlatma sonuçlarıyla karşılaştırılması gerektiği, güvenli titreşim seviyesi seçilerek patlatma yapılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

Kuzu ve Güçlü (2009) karayolu tünel patlatmalarında ortaya çıkan titreşimlere insanların tepkisini değerlendirmek için çalışmalar yapmışlardır. 2 araştırmacı ve bir jeologdan oluşan değerlendirme grubu organize etmişler ve bu grupinsanlar ile patlatmadan kaynaklanan problemleri tartışmışlardır. Farklı titreşim seviyeleri için sınıflandırmayı deney gruplarına göre şiddetli, güçlü, algılanabilir, çok az fark edilir ve hiç fark edilmez olarak yapmışlardır. Patlatma kaynaklı titreşimlerden insanlar rahatsız olmuştur. Bu rahatsızlığın nedeni test atımının ve titreşimin devamlılık süresinin uzun olmasıdır. İnsanlar yaklaşık 10 sn süren 0,54 mm/sn'lik PPV değerinde aşırı tepki vermişlerdir, oysaki bu değer herhangi bir hasar yaratmayacak bir değerdir. Atım titreşiminin süresi 0,5 sn'den düşükken, PPV değeri artmasına rağmen herhangi bir şikâyet olmamıştır.

Eltschlager (2001), makalesinde Surface Mining Control and Reclamation (SMCRA) (1977)' yi baz alarak insanların şikayetleri üzerine bir değerlendirme yapmıştır. Yapmış olduğu yorumlarda insanların tepkisini evlerinin hasar görmesi

olarak belirtmiş, buna yönelik alınabilecek tedbirlerden bahsetmiştir. Evlerde oluşabilecek hasar için kullanılan titreşim limitlerinin altında da şikâyetlerin geldiğinden bahsetmiştir.

Hassall, Dracoulides ve Smith (2008) ile Hassall (2014) hazırladıkları çevresel gürültü raporunda patlatma sonucu oluşan titreşim ve gürültünün insanların algısı açısından değerlendirmesini yapmıştır. Buna rapora göre; patlatma kaynaklı gürültünün insanlar üzerindeki etkisinin hassas bir şekilde tahmin edilebilmesine yönelik olarak, uluslararası ya da yerel kuralların tam olarak yeterli olmadığı, iyi tasarlanmış patlatma uygulamaları ile ne binalar ne de insanlar üzerinde olumsuz bir etki olmayacağı belirtilmiştir. Titreşim ve gürültüye bağlı oluşabilecek pencere ve gevşek nesnelerin sarsılması sonucu daha ciddi şikâyetlerin meydana gelebileceğini ifade etmiştir. Aynı raporda, insanların titreşime karşı aşırı duyarlı olduğu, 0,1 mm/sn'den daha düşük titreşimleri hissedebildikleri, bu değerin binalara kozmetik hasar verebilecek titreşim seviyelerinin 1/100 ünden daha az olduğunu vurgulamıştır. Bu sebeple yersarsıntısı ile ilgili olası şikâyet ve sıkıntıların bina hasarlarından ziyade insan algısından kaynaklanacağını, patlatma yapılmadan önce toplum tepkisinin de hesaba katılması gerektiğini belirtmiş, patlatma işlemlerinin önceden belirlenen bir zamanda gerçekleştirilmesi ve bunun çevrede yaşayan insanlara bildirilmesini önermiştir. Uygun patlatma tasarımı yapılarak şikâyetlerin azaltılabileceğini raporlamıştır.

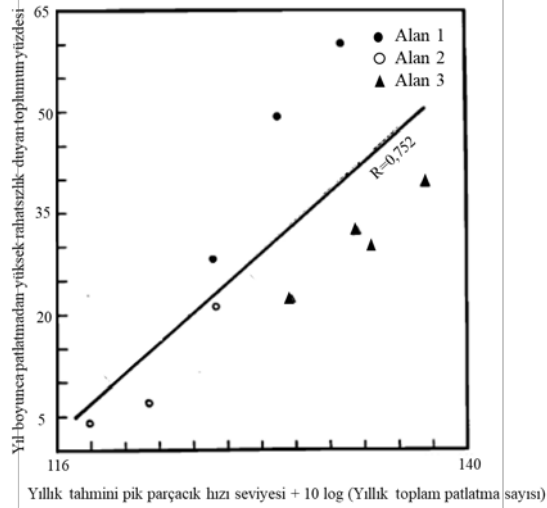
Hasar oluşması için gerekli olan titreşim seviyeleri insan algı seviyelerinden çok daha yüksek olmasına rağmen, birçok uluslararası madencilik izin uygulamaları merkezi (MPA) rahatsızlıkları minimuma indirmek için yapısal hasar eşik değerlerinin altında sınır değerleri kullanmaktadır. Kısacası insanların rahatsızlıkları göz önüne alınarak sınır değerleri tespit etmektedirler. Maksimum parçacık hızı değerleri 2,5-12,5 mm/sn değerleri arasındayken, bu sınırlarda insanların %75'inden şikâyet alınmıştır. Titreşim parçacık hızlarının 1,5-3,0 mm/sn değerine ulaştığında şikâyet olasılığının muhtemel olduğu görülmüş ve insanların çok sayıda düşük titreşime nazaran birkaç tane büyük titreşimli olaydan daha fazla endişe duydukları tespit edilmiştir. Diğer raporlar incelendiğinde gündüz 1,6-3,0 mm/sn PPV

değerlerinde, gece ise 0,25-0,50 mm/sn'lerde oluşan olaylarda şikâyetlerin başladığı ve şikâyetlerin o bölgeye yeni gelen kişiler ile yeni emekli olmuş kişilerden olduğu görülmüştür. Bölgeden bölgeye farklılıklar görülmüştür. Şikâyetlere neden olan düşük seviyeler, evlerde insan faaliyetleri sonucu oluşan titreşim değerleri ile karşılaştırılmıştır. İnsanlar oluşan titreşimin karakterleri ve süresi farklı olmasına rağmen, patlatmanın neden olduğu titreşimle kıyaslandığında, kapı ve çekiç çarpmasının oluşturduğu yüksek titreşimleri kabul edebilmektedirler. Bir kapı çarparak yaklaşık 17 mm/sn, ayak sesleri ise 0,5 mm/sn titreşim üretir. 1mm/sn'nin altındaki ayak sesleri algılanmazdır. 5mm/sn'ye kadar da zar zor algılanabildiği tespit edilmiştir. Ancak, sadece titreşim genliği alınarak titreşim süresi ve frekansı gibi faktörler göz ardı edilmiştir. Patlatmadan kaynaklanan titreşim genellikle bir evde meydana gelen normal titreşimlerden daha uzun sürer ve daha düşük frekanslara sahiptir. Bunun yanı sıra karşılaştırılması açısından daha az yaygındır. Bu faktörler sonucu patlatma kaynaklı titreşimler diğer titreşimlere nazaran, çok daha yüksek parçacık hızı değerlerine sahip olduğu için çok daha rahatsız edici olarak kabul edilmektedir. Bazen algı eşiğinin altındaki değerlerde insanların şikâyetlerindeki tutarsızlık, ölçümlerin binaların katlarında değil de zeminde yapılmasından ileri geliyor olabilir. Binalardaki rezonans özellikle ahşap zemin ve kirişlerde titreşim değerlerini büyütebilmektedir. Binaların tepkisi ve bu nedenle insanların algıları bina tipine bağlı olarak önemli ölçüde farklılıklar gösterebilir (Wiss, 1981; New, 1986; Siskind, Stachura ve Radcliffe, 1976).

2007 yılında Raina ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada patlatma kaynaklı titreşimin insanlar üzerindeki etkisini tespit etmeye yönelik uygulamış oldukları metodoloji kapsamlıdır. Mevcut kaynakları sınırlandırarak küçük ölçekli test verileri elde etmeye çalışmışlardır. Patlayıcı testlerini yürütmek amacıyla Nagbur'da bulunan Merkez Maden Araştırma Enstitüsü (CMRI) ve Patlayıcılar Bölümü (Hindistan Govt., GOI)'nde bulunan test merkezlerini kullanmışlardır. Kafa derisi üzerine yerleştirilen elektrotlarla beynin elektriksel faaliyetlerini gösteren (Elektroensefalogram) EEG kullanılmıştır. Böylece beyindeki elektriksel aktiviteyi takip etmeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları testler boyunca patlatma koşullarını sabit tutmuşlardır. Bir adet EEG makinası kullandıkları için aynı anda birçok insan tepkisi

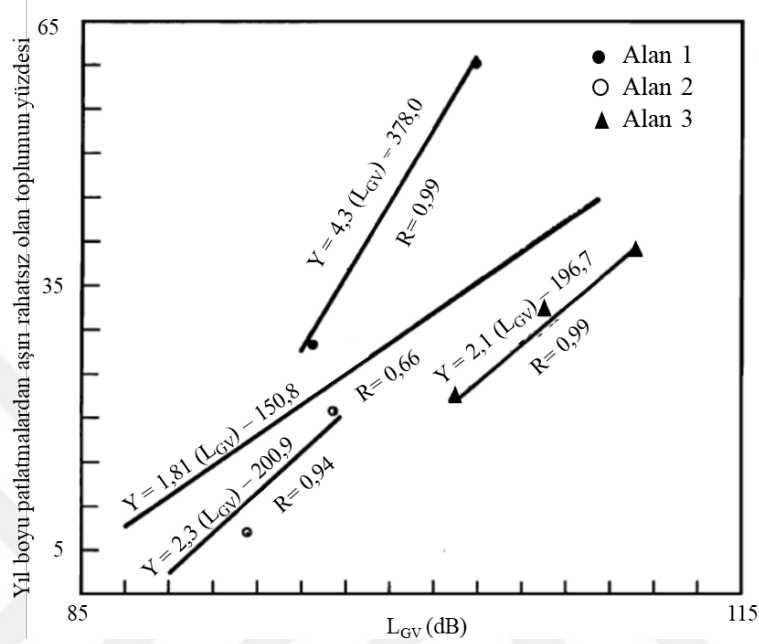
tespit etmeleri mümkün olmamıştır. CMRI ofisinde piroteknik malzeme kullanarak küçük ölçekli patlatma gerçekleştirmişler ve Gondkhairy’da düşük patlayıcı maddeler kullanarak gerçek patlatmaları da takip etmişlerdir. Kadın gönüllü bulmakta zorluk çektikleri için bir kadın gönüllüde yalnızca bir defa ölçüm alabilmişlerdir. Altı gönüllü (23 ila 65 yaş grubu ile, 5 erkek ve 1 kadın) EEG analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde belirlenmiş olan patlatma dizaynına göre oluşan titreşimin beynin işleyişi üzerinde hiçbir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Kaydedilen gürültü ve titreşim aralıklarında psikolojik olarak bir tepki gözlemleyememişlerdir. Bunun kesin bir sonuç olmadığı, patlatmaya göre ve insanlara göre değişim gösterebileceği kanısına varmışlardır.

1983 yılında Fidell, Horonjeff, Schultz ve Tefeteller patlatmaya toplum tepkisini tespit etmeye yönelik 3 farklı sahada açık uçlu anket ve arazi çalışmaları yapmışlardır. Bu verileri kullanarak insan tepkilerini ortaya koymaya çalışmışlar ve titreşim değerleri ile toplumda aşırı rahatsız olanların yüzdesi ile ilişkili bir grafik elde etmişlerdir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Maksimum parçacık hızı ile toplumun aşırı rahatsız olanlarının yüzdesel değeri arasındaki ilişki (Fidell ve diğer., 1983)

Aynı zamanda aldıkları hava şoku ölçümleriyle yapmış oldukları anketten elde ettikleri hava şoku (dB) ve çok rahatsızlık olduklarını belirten insanların % değerleri ile üç farklı saha için elde ettikleri sonuçlar şekil 2.1’da görülmektedir.



Şekil 2.19 Toplumun aşırı rahatsızlık duyan yüzdesi ile hava şoku arasındaki ilişki (Fidell ve diğer., 1984)

Hamza (2008) çalışmasında patlatma sonucu olan titreşim ve hava şokunun insanlar üzerindeki etkileri araştırmıştır. İnsan algılarını sayısallaştırmak amacıyla anket tekniğini kullanmıştır. Taş ocaklarında patlatma sonucu oluşan titreşimleri ne kadar hissettiklerine yönelik yöneltilen sorulara “hiç, çok az, az, orta, çok, çok fazla” seçenekleri sunulmuştur. Ankete katılan 200 kişinin hepsi, patlatma kaynaklı titreşimleri hissettiğini belirtmiştir. Ülkemizde yapılan gözlemlerle sarsıntı nedeniyle yapılan şikayetleri “gerçek hasara bağlı şikayetler, endişe, korku ve bilgisizlikten kaynaklanan şikayetler, çıkar sağlamaya yönelik şikayetler” olarak üç farklı başlık altında toplamıştır. Dünya genelinde yapılmış olan değerlendirmelere bakıldığında birinci grupta yapılan şikâyetlerin azınlıkta kaldığı sonucunu paylaşmıştır. Ankete katılanların % 40’ı patlatmalardan kaynaklanan sarsıntıların binalara çok az zarar verebileceğini, % 20’si hiçbir hasar vermeyeceğini, % 24’ü az zarar vereceğini, % 16’sı orta derecede zarar vereceğini düşünmektedir. Bölge halkının patlatma sonrası

durumunu değerlendirmiş ve %26'lık kısmının sıkıntılı, % 37'lik kısmının gergin, %12'lik kısmının endişeli, % 16'lık kısmının sınırlı, % 3'lük kısmının korkulu, % 2'lik kısmın sakin ve % 9'luk kısmın huzursuz olduğu sonucuna varmıştır. Parçacık hızı açısından yapılan değerlendirme ise Tablo 2.10'da sunulmuştur.

Tablo 2.10 Patlatma anında ölçülen PPV değerleri ile bölge halkının titreşimi hissetme ve rahatsızlık derecelerinin karşılaştırılması (Hamza, 2008)

<b>Titreşimi hissetme derecesi</b>	<b>Rahatsız olma derecesi</b>	<b>Maksimum parçacık hızı PPV (mm/sn)</b>
Hissedilmedi	Tepki yok	0-0,5
Çok az hissedildi	Tepki yok	0,5-0,8
Az hissedildi	Dikkat çekici, biraz endişeli	0,8-1,5
Orta derecede hissedildi	Rahatsız edici	1,5-9
Çok hissedildi	Çok rahatsız edici, huzursuz	9-25
Oldukça fazla	Sinir bozucu, gergin	25-50
Tehlikeli	Yapısal risk, korkulu	>50

Karadoğan (2008) çalışmasında insan tepkisini tespit etmeye yönelik anket çalışması yapılmıştır. Patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şokunu kişinin hissedip hissetmediği, bunların kişiyi ne derece rahatsız ettiği ve kendisini nasıl hissettiğine yönelik çoktan seçmeli değerlendirme yargıları içeren sorular sorulmuştur. Ayrıca anket yapılan kişinin binasında çatlak oluşup oluşmadığı, patlatmaları günün hangi saatlerinde daha fazla hissettiği, patlatmalardan dolayı ne gibi rahatsızlıklar hissettiğine yönelik sorular da sorulmuştur. Anket verileri ile ölçmüş olduğu titreşim seviyeleri arasındaki ilişki Tablo 2.11'de verilmiştir.

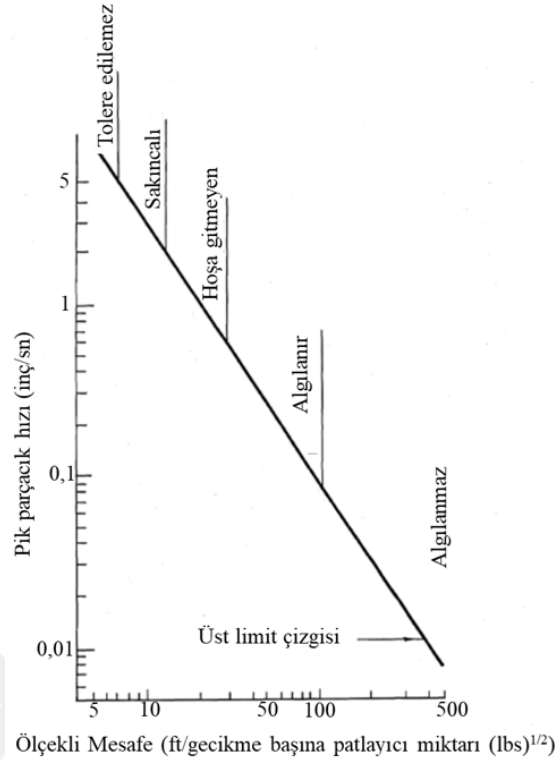
Tablo 2.11 İnsan tepkilerine göre oluşan parçacık hızı seviyeleri (Karadoğan, 2008)

<b>Hissetme Değerlendirme Yargısı İnsan Tepkisi Parçacık Hızı (mm/sn)</b>		
Hissetmedim	Hissetmedim	0 – 0,8
Az	Rahatsız olmadım	0,8 – 1,5
Hissettim	Biraz endişeli	1,5 – 9
Biraz	Fazla Rahatsız Edici	9 - 25
Çok Şiddetli	Gergin	25 – 50
Oldukça Çok Riskli	Sinirli	50 -100
Tehlikeli Korkulu	Huzursuz	> 100

Kelley, DelloRusso ve Russo (1998) ve Wiss (1981) sürekli titreşimde olduğu gibi anlık titreşimler içinde insan algısı ilişkisi kurmuşlardır. Buna göre Anlık titreşim için; 1-5 mm/sn PPV’de ancak algılanabilir, 5-20 mm/sn PPV’de belirgin algılanabilir, 20-50 mm/sn PPV’de kuvvetle algılanabilir yargılarını elde etmişlerdir.

Workman ve Thompson (2011), insanların algı eşiklerinin binaların hasar limit değerlerinden farklı olduğunu vurguladığı, sonuçların maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe grafiği üzerine işlendiği bir rapor yayınlamışlardır. Bu raporda verilen grafik şekil 2.20’de verilmiştir.





Şekil 2.20 Farklı ölçekli mesafelerde öngörülen insan tepkisi (Workman ve Thompson, 2011)

Grafik incelendiğinde 2,54 mm/sn değerini insanlar algılanabilir olarak değerlendirmekte, 12,7 mm/sn değerini ise hoşnutsuzluk olarak değerlendirmektedirler. Bu değerlerin genel bir değerlendirme olduğu, diğer çalışmalarda da olduğu gibi sosyal, ekonomik ve psikolojik faktörlerden etkileneceği ve bireysel algıda farklılıklar yaratacağı belirtilmiştir. Bu sebeple insanlardan gelecek şikâyetleri elimine etmek amacıyla patlatma kaynaklı titreşim değerlerinin algı sınırı olan 2,54 mm/sn değerinin altında tutulması önerilmiştir (Workman ve Thompson, 2011).

Rorke (2011), açık ocaklarda patlatmanın etkilerini değerlendirmiştir. Bu etkiler; titreşim, hava şoku, kaya fırlaması, toz ve gazları içermektedir. Bu etkilerin her biri mühendislik yapıları, insanlar ve hayvanlar açısından değerlendirilmiştir. Projenin geçtiği bölge olan Güney Afrika'da, patlatmanın çevresel etkilerini içeren özel bir yasamanın olmadığı, buna rağmen USBM ve OSMRE'nin kurallarını kabul ederek oluşturulan DMR standartlarının uygulandığı belirtilmiştir. Çocuklar üzerindeki

negatif etkinin yetişkinlerdekiyle aynı olduğunu, bu etkiyi hafifletmek için insanların olduğu yerde maksimum parçacık hızının kontrol altında tutulması gerektiğini, madenin ömrü boyunca binaların yüksek titreşim seviyelerine çok sık maruz kalacağı, ev sahiplerinin hava şoku ve titreşimin kümülatif etkileri hakkında endişe duyabilecekleri ve bu sebeple insanların yaşadığı evlerde parçacık hızı değerinin 7 mm/sn'yi geçmemesi gerektiğini ve ayrıca bu limitlerin içinde bulunan çevreye göre değişeceğine ve o anki şartlara göre belirleneceğine değinmiştir. İnsanların yaşadığı evlerde hava şoku genliklerini 128 dB'i geçmemesi gerektiği bilgisi verilmiştir.

Titreşim ve insan ile ilgili diğer araştırmalara bakıldığında; insan vücudunun kendi doğal frekans değerleri olduğu, bu frekanslarda rezonans durumu oluşursa o zaman algı ve rahatsız olma eşiğinin düştüğü, tüm vücut rezonansı infrasonik bantta 1-10 Hertz arasında özellikle de 4-5 Hertz aralığında bulunduğu görülmüştür. İnsan vücudu ayakta 5-12 Hertz, yatay pozisyonda 3-4 Hertz ve otururken 4-6 Hertz frekans değerlerine sahiptir. İvme değeri olarak bir değerlendirme yapıldığında ise insan hassasiyet aralığının 0,001g (ivme)'den fazla olduğu görülmüştür (Rathborne, 1963; Guignard ve Irving, 1960).

Athanasopoulos ve Pelekis (2000) kentsel ortamda palplanş çakmadan doğan zemin titreşimleri, ölçümleri, analizi ve yerleşim yerindeki insanlar ve binalar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ağırlıklı olarak rayleigh tipi dikey titreşimler ölçülmüştür. Bina sakinlerinin tepkileri, ilgili yönetmelikte verilen standartlarla karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak titreşim çatlak oluşumundan ziyade binalarda oturanların rahatsızlığına neden olmaktadır. Kişilerin rahatsızlığı ve beraberinde binada oluşabilecek hasarların dava durumu oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Doğrudan binalarda yaşayan kişiler ile ilgili bir çalışma yapmamışlar, literatürde mevcut eşik değerlerinin altında veriler elde ettikleri için herhangi bir rahatsızlık olmayacağını öne sürmüşlerdir.

Boladz ve diğer. (2013), 603 km'lik bir doğal gaz boru hattı inşası sonucunda oluşacak gürültü ve titreşim etkilerini raporlamışlardır. Değerlendirmeleri inşaat,

operasyon, patlatma diye ayırmışlardır. İnsanların titreşimi algılamasıyla ilgili doğrudan bir çalışma yapmamışlar, standartlardaki değerleri kullanmışlardır. Bu standartlarda verilen değerlere göre, proje kapsamında yapılan patlatmalardan elde edilen veriler, insanlar için titreşim ve hava şoku hasar limitlerinden daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Projede, Batı Avusturalya'daki patlatmalar için tavsiye edilen hava şoku kriterleri, gürültü yönetmeliğine dâhil olan insan rahatsızlık kriterlerine dayanmaktadır. Zemin titreşimleri insan konfor kriteri için ise Yeni Zelanda Çevre Konseyi (ANZEC) Kuralları Teknik Esası ve Zemin Titreşimi (ANZEC kuralları) Değerlendirme Ölçütleri kullanılmıştır.

Teasdale, Kiker, Oriard, Dowding ve Morrison (2006), yapmış oldukları çalışmalarında, test evlerinin titreşime verdiği tepkileri ve birkaç yaygın ev faaliyetleri tarafından oluşturulan titreşimlerin etkilerini araştırmışlardır. İnsanların dış kaynaklarda olanlara evlerindeki ses ve titreşimden çok daha duyarlı olduğunu, ses ve titreşimi çok düşük seviyelerde algılayabileceğinden ve algılanan olayların evlerinde hasar oluşturma potansiyeli olup olmadığını merak edeceklerinden bahsetmişlerdir. Binalarda yaşayan insanların evlerini dikkatle incelemesi sonucunda, genellikle önceden var olan kusurları buldukları ve titreşimin hasar meydana getirdiği sonucuna vardıkları fikrini sunmuşlardır. Mevcut hasarın titreşim yoğunluğundan kaynaklanıp kaynaklanmadığının değerlendirilmesinin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında birçok ev faaliyetlerinin (kapı çarpması, duvara çivi çakma vb.) titreşim oluşturduğunu doğrularken, bunları iyi algılanabilir seviyesinin de üzerinde değerlendirildiğini, fakat bu tür titreşimler bilinen kaynaklardan olduğu ve aşına olunduğu için, evde yaşayan kişilerde herhangi bir rahatsızlık meydana getirmediğini belirtmişlerdir. Birçok evde bir yere sabitlenmemiş nesnelere olduğu, dolayısıyla bu nesnelere titreşime karşı hassaslığından bahsetmişlerdir. Tipik bir evde raflar, tablolar ve gevşek nesnelere mevcudiyetine bağlı olarak, patlatma kaynaklı titreşimden dolayı meydana gelen hareketin yoğun olacağını beklemenin mümkün olduğunu ve bunların hareketlerinde meydana gelen yoğunluğun da incelenmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Carman (2012), bir karayolunun yenilenmesinde yer alan ağır nakliye kamyonlarının yarattığı titreşimlerin tarihi binalara vereceği hasar limitini araştırırken, insan algısını da incelemişlerdir. İnsanların çağdaş yapılarda hasara neden olacak titreşim seviyelerinden çok daha düşük seviyelerdeki titreşimleri algılayabileceğini, tarihi binalara hasar verecek titreşim değerlerinin zar zor algılabilen (0,5 mm/sn) ile kesinlikle rahatsız edici (5 mm/sn) aralığında olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışan personelin ve bina sahiplerinin titreşime karşı potansiyel insan tepkisi konusunun farkında olması gerektiği, kişinin hissettiği titreşimlerin binalarda hasar meydana getirmeyeceği konusunun anlatabilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

İnsanlar üzerinde şok ve titreşim etkilerini araştıran kantitatif araştırmaların çoğu, kontrollü olarak laboratuarlarda simüle ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu deneyler genellikle sürekli ve mekanik titreşimler için yapılmaktadır. Bunun için özel olarak geliştirilmiş geniş güvenlik sistemlerini içeren mekanik ve hidrolik titreştiriciler vardır. İnsanlar üzerinde şok ve titreşim etkisinin belirlenmesinde, insan vücudunun maruz kalacağı kuvvetler açıkça belirtilmelidir (Gierke ve Brammer, 2011). Bu tarz simülasyon çalışmaları için çeşitli deneylerin yapılması, İnsan vücudunun antropometrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür çalışmaların patlatma amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar literatürde bulunmamakla birlikte, herhangi bir değerlendirme yapılamayacağını gösterir literatür çalışmaları da yoktur.

Yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, insanların algı eşiği binalarda hasarın meydana geldiği seviyelerin oldukça altında olabilir. İyi yürütülen halkla ilişkiler ve gerekli açıklamaların yapılması ile insanlarda oluşacak gerginlik ve şikayetlerin azalabileceği yönünde ortak bir çıkarım olmasına rağmen, literatürdeki farklılıklardan dolayı insanların algıladığı titreşim değerlerinin bölge bazlı tespit edilmesi gereklidir. kişilerin sosyokültürel koşulları, sosyal, ekonomik, psikolojik durumlarına bağlı olarak değerlendirmelerin değişebileceği de göz önüne alınmalıdır. Patlatma kaynaklı titreşimlerinin uzun vadede yaratacağı etkiler bilinmemektedir. Uzun vadede patlatma kaynaklı titreşimlere maruz kalan kişilerde bu titreşimlerin insan

vücutu üzerindeki etkileri fiziksel etkileri bilinmemekte olup, yapılacak değerlendirmelerde hem psikolojik hem de fiziksel etkilerinin araştırılması gereklidir.



## BÖLÜM ÜÇ

### ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

#### 3.1 Giriş

Patlatmalı kazı çalışmalarında hedef, kaya kütlelerinin emniyetli bir şekilde yükleyici makinanın efektif olarak yükleyebileceği boyutta parçalanmasıdır. Ancak, yerleşim birimleri içerisinde gerçekleştirilen patlatmalarda, patlatmanın neden olduğu çevresel etkiler verimin yanında değerlendirilmesi gereken önemli hususlardan birisidir. Bir basamak patlatması sonucu oluşabilecek çevresel etkiler, titreşim, hava şoku, kaya fırlaması ve toz emisyonudur. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, yerleşim yerlerine yakın konumda bulunan iki farklı sahada patlatma sonucu oluşan titreşim seviyeleri tespit edilip, eş zamanlı olarak anket çalışmaları gerçekleştirilerek patlatma tasarımlarında kullanılmak üzere insanlar açısından rahatsızlık sınır değerlerinin saptanması amaçlanmıştır.

Arazi çalışmaları İzmir ili sınırlarında iki farklı bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple yapılan çalışmalar iki farklı başlık altında toplanmıştır. “Çalışma Sahası-1” olarak tanımlanan saha İzmir İli Bornova İlçesi yakınlarında bulunan bir taş ocağı olup, bu çalışma bölgesinde toplam 20 adet patlatmalı kazı çalışması takip edilmiştir. “Çalışma Sahası-2” olarak tanımlanan saha ise İzmir ilinde, Bayraklı tünellerinin 190 m güneydoğusunda, Laka köyünün 200 m kuzeydoğusunda yer almakta olup, burada temel kazısı için gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarında toplam 24 adet patlatma takip edilmiştir.

Söz konusu sahalarda gerçekleştirilen ve takip edilen patlatmalara ait teknik veriler patlatma öncesi kayıt altına alınmıştır. Patlatma esnasında oluşan titreşim ve gürültünün tespit edilmesi için DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü’ne ait jeofon ve mikrofon içeren titreşim ve gürültü ölçer cihazlar kullanılmıştır. Tez kapsamında arazide yapılan titreşim ölçümlerinde InstanTEL firmasına ait 8 kanallı ve 4 kanallı titreşim ölçer cihazlar kullanılmıştır. Cihazlardan 8 kanallı olanı üç eksenli sarsıntı kaydını yapabilen iki adet jeofon, ses düzeyini ölçmek için kullanılan iki adet mikrofon

ve kanalların kontrolünü sağlayan, ölçümleri hafızaya alan bir ana üniteden oluşmaktadır. 4 kanallı cihazın ise bir adet jeofon, bir adet mikrofon ve ana ünitesi bulunmaktadır. Her bir patlatma için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) değerlerini kayıtları bu cihazların ana ünitesindeki hafızaya alınmaktadır. Cihazla birlikte sağlanan yazılım kullanılarak veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Cihaz tek patlatma için veya sürekli kayıt yapabilmektedir. Kullanılan cihazların ölçüm limitleri parçacık hızı için 0,1-254 mm/sn, frekans aralığı 2-250 Hz ve gürültü için 2-500 Pa (88 -148 dB) aralıkları düzeyindedir. Bu cihazlar sayesinde, yapılan arazi çalışmalarında patlatma kaynaklı titreşimlerin parçacık hızları, ivme değerleri, süreleri ve frekans değerleri ile birlikte hava şoku değerleri kayıt altına alınmıştır.

Problemin ne olduğu ve hedeflenen çözümün ne olduğuna bağlı olarak, söz konusu çözüm için en uygun yöntem belirlenmelidir. Gerekli veriler ve bu verilerin nasıl elde edileceği araştırma yöntemini ortaya çıkarır. Bu bilginin ışığında patlatma kaynaklı titreşimin insanlar üzerindeki etkisinin belirlenerek bir model ortaya konulması, limit değerlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, öncelikle insanların patlatma kaynaklı titreşime verdiği tepkilerin tespit edilmesi için yerinde yapılan ölçümlerde anket araştırmaları kullanılması öngörülmüştür. Genel olarak anket araştırmalarının tanımı, belirli konularda kişilerin görüşlerini almak amacıyla uygulanan araştırma yöntemi olarak yapılabilmektedir. Patlatma sırasında titreşim ölçümü alınırken aynı zamanda gönüllü katılımcılara anket uygulaması yapılmıştır. Diğer bir ifadeyle gönüllü katılımcılara, titreşim ölçümü için kullanılan jeofonların yerleştirildiği kaya ortamında, titreşim ölçümü ile eş zamanlı olarak anket uygulanmıştır. Kısaca, anket çalışmaları arazi koşullarında gerçekleştirilmiştir. Gönüllü katılımcılar ölçüm için yerleştirilen jeofonların yanında konumlandırılmıştır. Böylece çevresel gürültüden (trafik vb.) bağımsız olarak ve ev içi hareketlerinin olmadığı şartlarda hissedilen en düşük değerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Anket; kişilerden çeşitli konularda, planlı ve standart biçimde bilgi almak için geliştirilmiş olan ve özellikle epidemiyolojik ve sosyolojik araştırmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Genellikle sosyolojik çalışmalarda kullanılmasına rağmen,

mühendislik ve tıp gibi bilim dallarında da ek verilerin toplanması amacıyla kullanılmaktadır. Problemin çözümüne yönelik olarak uygulanacak anketin amacına ulaşması için hangi bilgilere ihtiyaç olduğunun belirlenmesi önceliklidir.

Anket yöntemi ile elde edilen bilgiler yardımı ile;

- a) Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki olup olmadığı araştırılır,
- b) Önemli bağımsız değişkenlerin neler olduğu belirlenir,
- c) Bu bilgiler ışığında yeni varsayımlar (hipotezler) oluşturulur ve yeni araştırmalar planlanır (Tezcan, 1992).

Deneysel araştırmalarda araştırmacı kendi kurgusunu oluşturur ve oluşturduğu ortam içerisinde sonuçları almaya çalışır. Oysa alan araştırmalarında kişi ile incelenen değerler arasında bir mesafe ve kurgu yoktur. Araştırmacı ortama dahil olur ve mevcut durumu değerlendirmeyi amaçlar. Bu tip araştırmalarda bir kurgu söz konusu olmadığı için, olay ve davranışlar daha farklı biçimleri ile gözlemlenebilir. Bu da araştırmacı açısından bir zenginlik oluşturur. Alan araştırmalarının bir niteliği de bir araştırmacının kurduğu hipotezi doğrulamaktan çok, hipotez oluşturmaya yönelik olmalarıdır (Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi [MEGEP], 2006).

Tez kapsamında yerinde gerçekleştirilen ölçümlerde patlatma sırasında oluşan titreşimin katılımcılar üzerinde bıraktığı etkiyi tespit etmek için gözlem altında anket yapma yöntemi kullanılmıştır. Gözlem altında yapılan anket araştırmalarında araştırmacının da bulunduğu arazi ortamında, anket formları katılımcılara dağıtılarak ve nasıl uygulanacağı açıklanarak yapılmaktadır.

Literatür incelendiğinde, anketlerin sonuçlarını analiz etmek için istatistiksel analizin kullanılmasının gerekli olduğu ve çoğu araştırmacının anketi analiz etmek için nicel verileri tercih ettiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, anketlerle algıyı ölçmek için bazı yöntemler gözden geçirilmiştir. Bu tez çalışmasında patlatma kaynaklı titreşimlerin algılanması ile ilgili sorular kapalı uçlu sorular olarak hazırlanmıştır. Bu sorulara verilecek yanıtlarda Likert Ölçeği kullanılmıştır. Likert Ölçeği, özellikle algı tipi



verilerin nicelleştirilmesi için, yani niceliksel bir değer elde etmek amacıyla yaygın olarak tercih edilir. Likert ölçeğinde bir soruda, katılımcılar sıralı bir ölçek kullanarak hazırlanan soru ile katılma/katılmama düzeylerini veya sorulan soruya göre derecelendirmeyi belirtmektedirler.

Katılımcılardan yanıt şıkında verilen cetvelden kendilerine en uygun olan değeri seçmeleri istenir. Bu tür sorularda dört ya da beş seçenek bulunmasının en iyi sonuç verdiği, daha çok seçeneğin katılımcıyı zorladığı görülmektedir (Özgen, 2012). Bu tespit göz önüne alınarak hazırlanan ankette Dörtlü Likert Ölçeği kullanılmıştır. Algıyı tespit etmeye yönelik olan sorular dışında, anketi cevaplayan kişinin kişisel bilgileri de önemlidir. Bu bilgiler demografik sorular ile elde edilmiştir.

Tez kapsamındaki anket araştırmaları ile elde edilen verilerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için de istatistik yöntemlerinden faydalanılarak verilerin yorumlanması ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Clason ve Dormody (1994) likert ölçekli verileri kullanan birçok makaleyi inceledikten sonra, bağımsız Likert tipi materyallerin incelenmesi (% 54) sadece tanımlayıcı istatistikler (örneğin; ortalama, standart sapma, kategoriye göre frekans / yüzde) ile olduğunu rapor etmişlerdir. Diğer taraftan, bağımlı Likert tipi öğelerin ya da öğe setlerinin analizi araştırıldığında, makalelerin 12'sinde (% 13) parametrik olmayan istatistik teknikleri (örneğin; ki-kare homojenliği testleri, Mann-Whitney-Wilcoxon U testleri, Kruskal-Wallis varyans testi analizi) kullanılarak karşılaştırıldıkları görülmüştür. Ayrıca, bağımlı Likert tipi öğelerin makalelerin 32'sinde (% 34) parametrik istatistiksel prosedürler (örneğin; t-testleri veya varyans F-testlerinin analizi) kullanılarak karşılaştırıldığını raporlamışlardır.

Ankette sorulan sorular, literatürde verilmiş örneklerden yararlanılarak hazırlanmıştır. Anketin anlaşılabilir ve net olması amacıyla ankette bulunan soru sayısı sınırlı tutulmuştur. Veri toplamak için oluşturulan toplam 9 adet sorunun 5 adeti demografik özelliklerden oluşmaktadır. Diğer dört soru ise patlatma kaynaklı titreşimin algılanması ile ilgilidir. Bu sorularından katılımcıya titreşimi hissedip hissetmediğinin sorulduğu soru ile vücut pozisyonu sorusu hariç, titreşimin şiddeti ve

rahatsızlık ile ilgili diğer iki soru anketlerde yaygın olarak kullanılan ölçeklendirme tekniklerinden 4'lü likert ölçeğine göre hazırlanmıştır. Bu iki sorunun cevaplarına 1'den 4'e kadar puan verilmiştir. Yüksek puan yüksek rahatsızlık seviyesini ve/veya yüksek titreşim şiddetini ifade etmektedir. Geliştirilen ve çalışmalarda kullanılan anket Tablo 3.1'de verilmektedir.

Patlatma kaynaklı titreşim ölçümlerine verilen tepkiyi tespit etmek amacıyla, yukarıda detayları verilen anket çalışmalarından elde edilmesi planlanan çıktılar, cinsiyetin titreşim algısı üzerindeki etkisinin belirlenmesinin yanı sıra rahatsızlık için limit değer elde etmektir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin kayıt altına alınmasıyla eş zamanlı olarak, insanlar üzerindeki etkilerinin tespiti amacıyla çalışılan bölgede gönüllü katılımcılar kullanılmıştır. Patlatma sırasında ölçüm cihazı ve gönüllü katılımcılar mümkün olduğunca patlatma aynası serbest yüzeylerinin arkasında kalacak şekilde ve her patlatma için farklı mesafelerde konumlandırılmış, gerekli ölçümler alınmıştır. Patlatma sırasında, titreşim cihazının jeofonlarının yakınında bulunan gönüllüler üzerinde anket çalışması yapılarak, patlatma anında titreşim algı seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Gönüllülerin yaş aralığı 20 ile 30 arasında tutulmuştur. Arazi çalışmalarından toplanan anket verilerinin değerlendirilebilmesi için anketin psikometrik olarak çözümlenmesi gerekmektedir. Kullanılan anketin analizi ile ilgili çalışmalar Bölüm 6'da verilmektedir.

Tablo 3.1 Tez çalışması kapsamında geliştirilen ve kullanılan anket

<i>ANKET NO:</i>		
<i>KİŞİSEL BİLGİLER</i>		
1) Cinsiyetiniz:	1)Erkek	2)Kadın
2) Doğum Tarihiniz:		
3) Boyunuz:		
4) Kilonuz:		
5)Eğitim Durumunuz:	1)Okur yazar	4) Ortaokul mezunu
	2) okur yazar değil	5) Lise ve dengi mezunu
	3) İlkokul mezunu	6) Üniversite mezunu
		7) Lisans üstü mezunu
<i>PATLATMA İLE İLGİLİ BİLGİLER</i>		
<i>Patlatmalı kazı çalışmalarının yapıldığı bölgelerde patlatma kaynaklı titreşim ve gürültü oluşmaktadır. Oluşan titreşim ve gürültü seviyeleri Söz konusu patlatmalar yerleşim birimlerine yakın olduğunda bireylerin Oluşan titreşim ve gürültü seviyelerinden etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesi için anket çalışması yapılmaktadır.</i>		
6) Titreşimi hissettiniz mi?		
Evet (1)	Hayır (2)	
<i>Not: Soruya cevabınız "evet" ise alttaki soruları cevaplandırınız. Cevabınız "hayır" ise ankete katıldığınız için teşekkür ederiz.</i>		
7)Hissettiğiniz sıradaki vücut duruşunuz?		
Oturuyordum (1)	Ayaktaydım (2)	
8) Hissettiğiniz titreşimin şiddetini sınıflayabilir misiniz?		
Hiç (1)	Düşük (2)	Orta (3) Yüksek (4)
9) Bu titreşimin sizi rahatsız etme derecesi nedir?		
Hiç (1)	Düşük (2)	Orta (3) Yüksek (4)

Ölçüm cihazlarından alınan veriler bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra, anket çalışmalarından elde edilen bilgiler ile hava şoku ve titreşimin rahatsızlık üzerindeki etkisi belirlenmiş, titreşim değerleri arasında anlamlı bir ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca uluslararası literatürde bulunan sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anket çalışmaları haricinde, insanların patlatma kaynaklı titreşime verdiği tepkileri incelemek amacıyla bilgisayar destekli modelleme çalışmaları da yapılmıştır. Bu simülasyon çalışmasında gönüllü katılımcılardan alınmış olan boy ve kilo bilgileri kullanılarak ortalama değerlerle insan vücudu modellenmiş, arazi çalışmalarından elde

edilen dikey yöndeki ivme değerleri bilgisayar programına girilerek model üzerinde yarattığı etkiler incelenmiştir. Bu araştırmanın amacı, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak ve böyle bir davranışı laboratuvar ortamında simüle etmektir. Sonuç olarak, laboratuvar simülasyonu, patlatma kaynaklı titreşime maruz kalma sayılarının artırılmasını ve en kötü durum senaryosunu analiz edebilmek için insan vücudu üzerindeki ağır etkilerinin incelenmesini sağlayacaktır. Bu amaçla MSC.ADAMS/View programından yararlanılmıştır. Konu ile ilgili detay çalışmalar Bölüm 5’te verilmektedir.



## BÖLÜM DÖRT

### ARAZİ ÇALIŞMALARI

#### 4.1 Giriş

Tez kapsamında arazi çalışmaları Bölüm Üç'te bahsedildiği gibi iki farklı sahada gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sahalara ait detaylar ve yapılan çalışmalar aşağıda verilmektedir.

#### 4.2 Çalışma Sahası-1

Çalışma Sahası-1 olarak tanımlanan, İzmir ili Bornova ilçesi yakınlarında bulunan Batı Anadolu Çimento Sanayii (BATIÇİM) A.Ş.'ne ait kireçtaşı ocağı ve bölgenin tanıtımı aşağıda detaylı olarak verilmektedir. Şekil 4.1'de Çalışma Sahası-1'e ait genel görünüm verilmiştir.





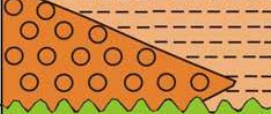








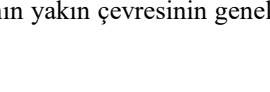




Şekil 4.1 Çalışma Sahası-1 genel görünüm (Kişisel arşiv, 2014)

#### **4.2.1 Bölgenin Coğrafi Konum, Bitki örtüsü ve Genel Jeolojisi**

Bölge konum olarak İzmir ili, Bornova ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan Evka-3, Çiçekli ve Naldöken yerleşim birimleri arasında yer almaktadır. Topoğrafya engebelidir. Bölgenin güneyinde bulunan Kırtaşlık Tepe (868 m) ve güneydoğusunda bulunan Yarılıburun Tepe (448 m) önemli yükseltilerdendir. GB - KD uzanımlı çok sayıda dere çalışma alanının morfolojisini belirler. Bitki örtüsü Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, çam ormanları, zeytin ağaçları ve makiliklerden oluşmaktadır. Maki ve çam ormanlarına çalışma alanında sıkça rastlanmaktadır.

Bölge civarının temelini, Üst Kretase–Paleosen yaşlı Kumtaşı ve Kıltaşı ardalanmasından oluşan Bornova Karmaşığı oluşturur. Bornova Karmaşığı üzerine uyumsuz olarak Neojen yaşlı Çamurtaşı–Kıltaşı birimi ile Killi Kireçtaşı birimi gelmektedir. Çakıllı Çamurtaşı–Kıltaşı birimi, Çakıltaşı ast birimi ve Çamurtaşı–Kıltaşı ast birimlerine ayrılmıştır. Neojen birimlerinin üzerini uyumsuz olarak gelen alüvyon ve yamaç molozlarından oluşmaktadır (Şekil 4.2 ve 4.3) (Nazıroğlu ve Keskinel, 2010).

Çalışma sahasını oluşturan Mesozoyik kayaları yaşlıdan gence, Alt Kireçtaşı birimi, Orta Kireçtaşı birimi ve Üst Kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler birbirlerini uyumsuzlukla üzerlemekte ve aralarında boksit bulunmaktadır.

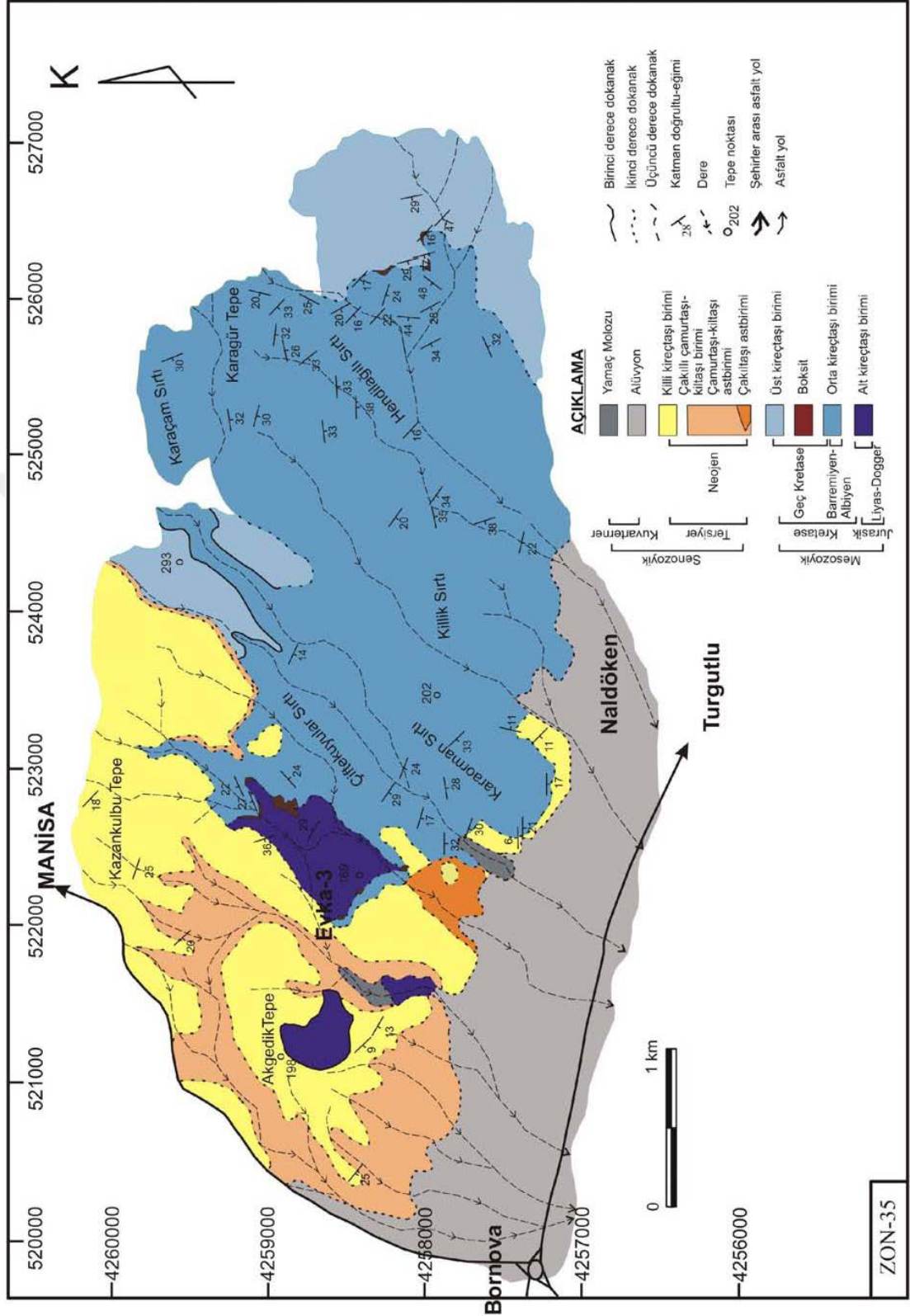
YAŞ		BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
S E N O Z O Y İ K	K U V A R T E R N E R	ALÜVYON YAMAÇ MOLOZU		Kırmızımsı, pembemsi beyaz renkli, Mesozoyik ve Neojen birimlerinin çakıllarını içeren toprak
		T E R S İ Y E R	K İ L L İ K İ R E Ç T A Ş I B İ R İ M İ	UYUMSUZLUK
				Sarımsı beyaz renkli, orta-iyi pekleşmiş, dayanımlı, orta-kalın katmanlı killi ve mikritik kireçtaşı
				Sarımsı beyaz, yeşil renkli, kötü pekleşmiş, dayanımsız, belirsiz kamanlı çamurtaşı ve kiltası
M İ Y O S E N	ÇAMURTAŞI-KILTASI BİRİMİ		Grimsi kahverengi renkli,, iyi yuvarlaklaşmış, kötü boylanmış, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı, kuvarsit çakılları	
	ÇAKILTAŞI KILTASI ASTBİRİMİ		UYUMSUZLUK	
M E S O Z O Y İ K	P A L E O S E N	K A R M A Ş I Ğ I		Çamurtaşı, silttaşı, kiltası, kumtaşı, mikritik kireçtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı blokları
				Koyu gri renkli, iyi pekleşmiş, dayanımlı, bol rudist fosilli, orta katmanlı kireçtaşı BOKSİT
				Gri renkli, iyi pekleşmiş, dayanımlı, yersel çört yumrulu, yersel siyah kavkılı rudist fosilli, orta-kalın katmanlı kireçtaşı
				BOKSİT
				Gri renkli, yersel Megalodontid tip lamellibrans kavkılı, çok kalın katmanlı kireçtaşı
				
				
				
				
				
G E Ç	K R E T A S E	B O R N O V A		
				
				

ÇALIŞMA ALANI

ÖLÇEKSİZ

Şekil 4.2 Çalışma alanının yakın çevresinin genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti ( Nazıroğlu ve Keskinel, 2010)





Şekil 4.3 Çalışma sahasının yakın çevresinin jeoloji haritası (Nazıroğlu ve Keskinel, 2010)



#### 4.2.2 Arazi Ölçümleri

Patlatma kaynaklı titreşimin insanlar üzerindeki etkisini tespit etmeye yönelik olarak yerleşim yerine yakın bir konumda bulunan Çalışma Sahası-1’de toplam 20 adet patlatma takip edilmiş, 26 adet titreşim ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin 12’si hava şoku değerlerini de içermektedir. Çalışma sahası konum olarak, ocağın güneyinde kalan Bornova/Kavaklıdere mahallesine yaklaşık 500 m uzaklıktadır. Şekil 4,4’te ocağın ve yakınında bulunan yerleşim yerlerinin konumu gösterilmektedir.

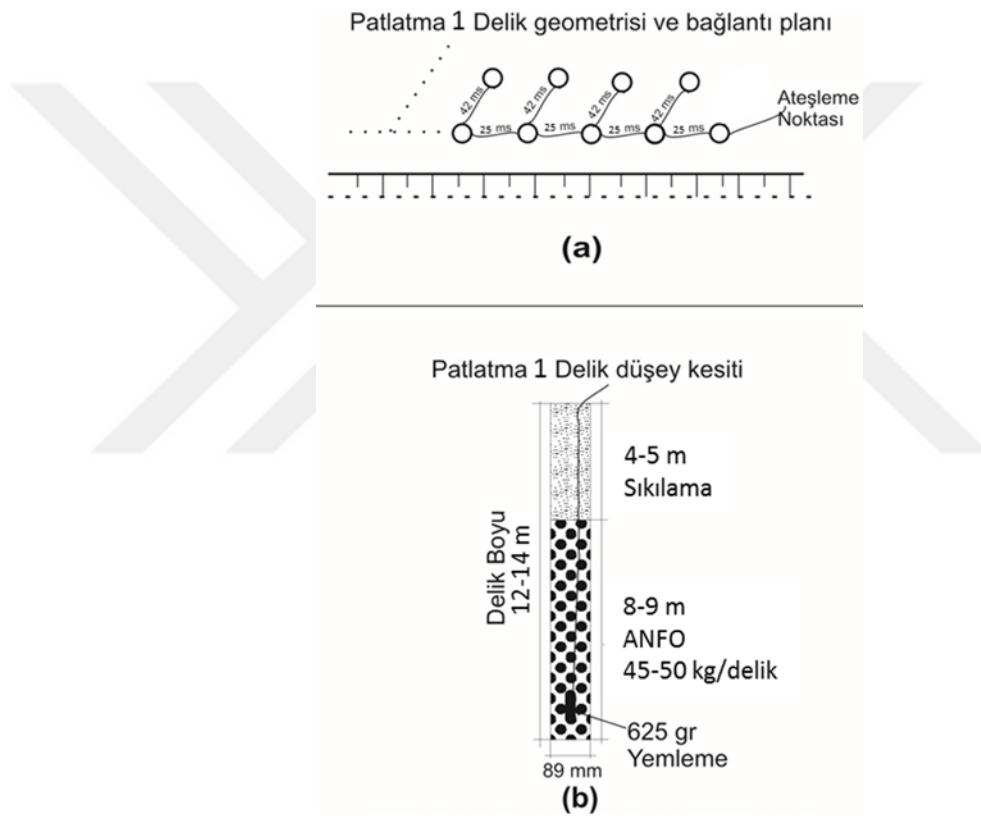


Şekil 4.4 Çalışma Sahası-1 ve çevresindeki yerleşim yerlerinin konumları

Saha çalışmaları boyunca takip edilen patlatmalara ait teknik veriler kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan teknik veriler; patlatmaların konumları, delik çapı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, sıkılama boyu, gecikme aralıkları, yemleme, gecikme başına düşen ve toplam ANFO miktarlarıdır. Elektriksiz (non-elektrik) gecikmeli kapsül teknolojisi kullanılarak patlatmalar gerçekleştirilmiştir. Takip edilen delme-patlatma operasyonlarında, delik çapı 89 mm seçilmiştir.

Delikler şerhşez düzende delinmiştir. Delikler arası mesafe 2,5 m ile 3,5 m arasında iken, dilim kalınlığı 2,0 m ile 3,0 m arasındadır.

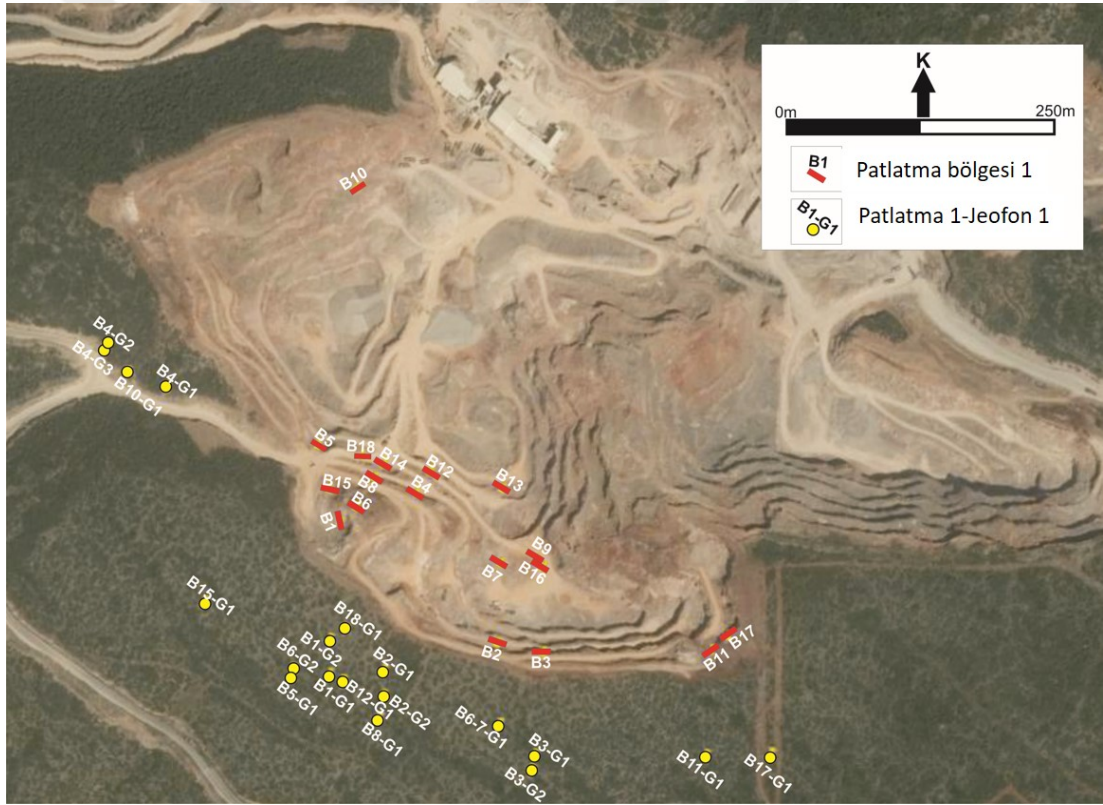
Yapılan patlatmalarda delik içi 500 ms yüzeyde 25 ms ve 42 ms elektriksiz (non-elektrik) gecikmeli kapsüller, delik başına 500 gr ya da 625 gr yemleme ve patlayıcı madde olarak da ANFO kullanılmıştır. Çalışma sahası içerisinde delik boyları 3-14 m arasında değişmektedir. Örnek olarak Çalışma Sahası-1 Patlatma-1'e ait delik geometrisi ve bağlantı planı ile delik düşey kesiti Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Çalışma Sahası-1 Patlatma-1 plan görüntüsü, (a) Delik geometrisi ve bağlantı planı, (b) Delik düşey kesiti (Ölçeksiz)

Çevresel titreşimin değerlendirilmesi için bölgede titreşim kaydı alınması amacıyla jeofonlar kullanılmış, patlatma noktasından farklı uzaklıklarda konumlandırılmışlardır. Patlatma alanından en yakın ölçüm noktasına (jeofona) olan mesafe 83,0 m iken, en uzak mesafe ise 322,2 m'dir. Kaya kütlesi üzerinde seçilen ölçüm noktaları patlatma alanı ile yerleşim yerleri arasında kalacak şekilde

konumlandırılmıştır. Anket uygulaması için gönüllü katılımcılar söz konusu ölçüm noktalarında titreşime maruz bırakılmıştır. Bu ölçüm noktalarına yerleştirilen jeofonlar sayesinde patlatma kaynaklı titreşimlerin parçacık hızları, frekans değerleri, ivme değerleri ve süreleri kayıt altına alınmıştır. Ölçülen en düşük parçacık hızı 0,798 mm/sn iken, en yüksek parçacık hızı ise 17,4 mm/sn'dir. Bu çalışma alanından 108 adet anket elde edilmiştir. Tablo 4.1'de ölçümlerde elde edilen üç yönde partikül hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, ölçüm noktasının patlatma bölgesinden olan uzaklığı, hava şoku, ölçekli mesafe ve bileşke parçacık hız değerleri verilmiştir. Jeofonların ve patlatma bölgelerinin konumları Şekil 4.6'da verilmektedir. Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı Şekil 4.7'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.6 Patlatma bölgeleri ve jeofonların konumları

Date/Time Long at 11:14:30 June 15, 2015  
 Trigger Source Geo: 0.500 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 4.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps

Serial Number BE6155 V 10.60-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.2 Volts  
 Calibration October 10, 2013 by Instantel  
 File Name H155FW55.W60

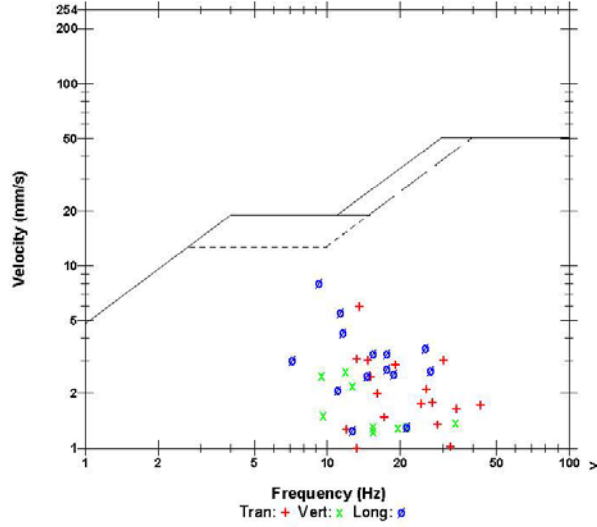
**Notes**

**USBM R18507 And OSMRE**

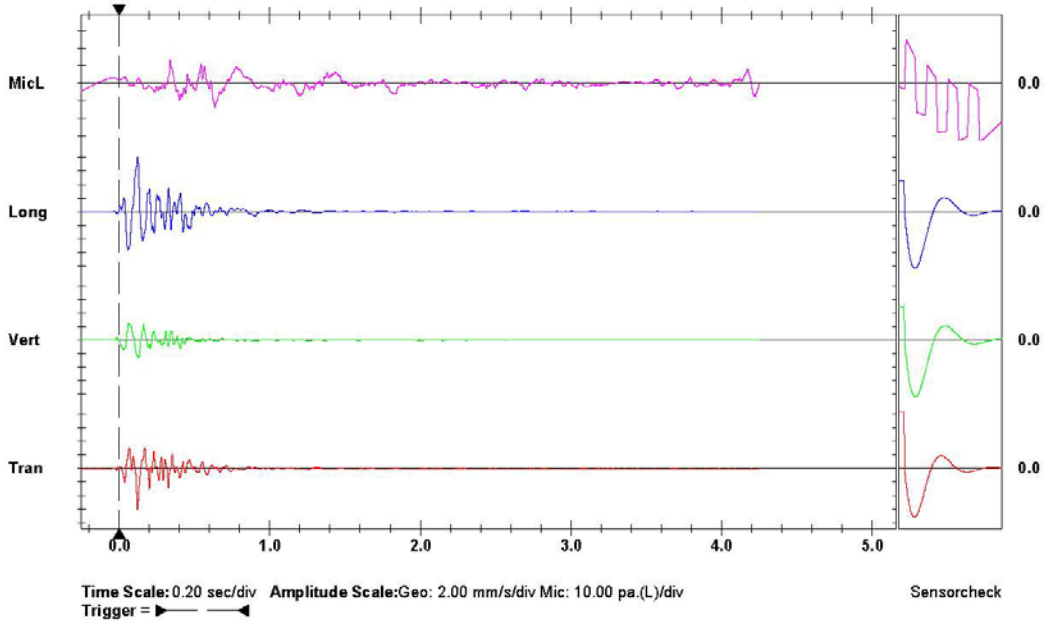
**Post Event Notes**

Microphone Linear Weighting  
 PSPL 13.8 pa.(L) at 0.636 sec  
 ZC Freq 5.1 Hz  
 Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 650 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.00	2.65	8.08	mm/s
ZC Freq	13	12	9.3	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.121	0.129	0.122	sec
Peak Acceleration	0.0830	0.0282	0.0762	g
Peak Displacement	0.0539	0.0403	0.116	mm
Sensorcheck	Check	Passed	Passed	
Frequency	7.9	7.2	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.9	4.1	



Peak Vector Sum 10.4 mm/s at 0.122 sec



Şekil 4.7 Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı

Tablo 4.1 Parçacık hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, patlatma bölgesinden olan uzaklık ve hava şoku değerleri

Patlatma No	Jeofon No	Mesafe (m)	Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı(kg)	Frekans (Hz)			Parçacık Hızı (mm/s)				Hava Şoku Değeri (Pa)
				Yanal	Dikey	Uzunlamasına	Yanal	Dikey	Uzunlamasına	Bileşke	
1	Jeo 1	140,20	50,00	13,00	12,00	9,30	6,00	2,65	8,08	10,40	13,80
	Jeo 2	108,00	50,00	15,00	17,00	15,00	5,51	3,73	7,29	8,18	---
2	Jeo 1	108,40	50,00	23,00	18,00	23,00	5,98	3,97	11,60	12,10	23,80
	Jeo 2	116,50	50,00	24,00	15,00	12,00	5,40	6,91	11,00	12,60	---
3	Jeo 1	109,70	50,00	32,00	18,00	12,00	5,27	4,56	7,72	8,99	17,50
	Jeo 2	95,50	50,00	19,00	17,00	15,00	8,45	5,05	14,30	16,70	---
4	Jeo 1	320,60	55,00	9,30	12,00	21,00	1,49	1,43	1,59	2,05	---
	Jeo 2	322,10	55,00	6,10	12,00	9,80	1,56	1,29	1,56	2,08	---
	Jeo 3	253,60	55,00	11,00	13,00	17,00	2,27	1,56	2,21	2,69	10,50
5	Jeo1	210,60	29,00	13,00	9,10	7,60	0,54	0,52	0,76	0,84	---
6	Jeo 1	240,70	50,00	16,00	13,00	17,00	1,35	1,44	1,86	2,27	14,00
	Jeo 2	161,00	50,00	16,00	11,00	19,00	2,41	1,27	4,74	4,21	---
7	Jeo 1	148,90	55,00	13,00	8,70	9,80	1,03	1,24	5,05	5,05	13,50
8	Jeo 1	222,50	28,75	20,00	21,00	20,00	0,75	0,70	1,78	1,79	12,30
9	Jeo 1	207,90	50,00	18,00	12,00	10,00	0,56	0,44	0,71	0,798	6,50
10	Jeo 1	273,11	40,00	18,00	20,00	18,00	2,35	1,62	2,17	2,89	8,50
11	Jeo 1	97,70	25,00	22,00	27,00	34,00	9,86	4,79	14,60	17,40	21,50
12	Jeo 1	211,30	50,00	11,00	5,10	5,30	1,00	0,78	2,16	2,21	8,30
13	Jeo 1	232,30	23,00	13,00	21,00	9,80	0,40	0,37	1,11	1,15	7,00
14	Jeo 1	210,60	105,00	16,00	7,40	8,00	2,65	2,10	3,70	3,90	9,0
15	Jeo 1	156,10	86,00	20,00	17,00	6,90	4,05	2,08	4,67	5,09	13,00
16	Jeo 1	274,10	55,00	85,00	21,00	57,00	2,98	1,67	3,98	4,68	1,30
17	Jeo 1	116,30	70,50	34,00	23,00	28,00	14,2	3,76	11,50	16,90	2,80
18	Jeo 1	161,60	50,00	10,00	11,00	7,10	1,52	1,84	4,24	4,35	8,50
19	Jeo 1	83,00	35,00	>100	73,00	64,00	8,03	10,20	15,20	16,70	---
20	Jeo 1	190,00	50,00	23,00	27,00	20,00	5,68	2,84	3,73	5,80	---



### 4.3 Çalışma Sahası-2

İzmir İli Bayraklı ilçesinde yapılması planlanan “İzmir Bayraklı Entegre Sağlık Kampüsü Projesi” için 622530 m<sup>2</sup> arsa üzerinde, Pınartaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından inşaat alanı düzeltme kazısı amacıyla gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü saha “Çalışma Sahası-2” olarak tanımlanmıştır, Bölgenin tanıtımı aşağıda detaylı olarak verilmektedir. Şekil 4.8 ve 4.9’da Çalışma Sahası-2’ye ait genel görünüm verilmiştir.



Şekil 4.8 Çalışma Sahası-2 genel görünüm (Kişisel arşiv, 2015)

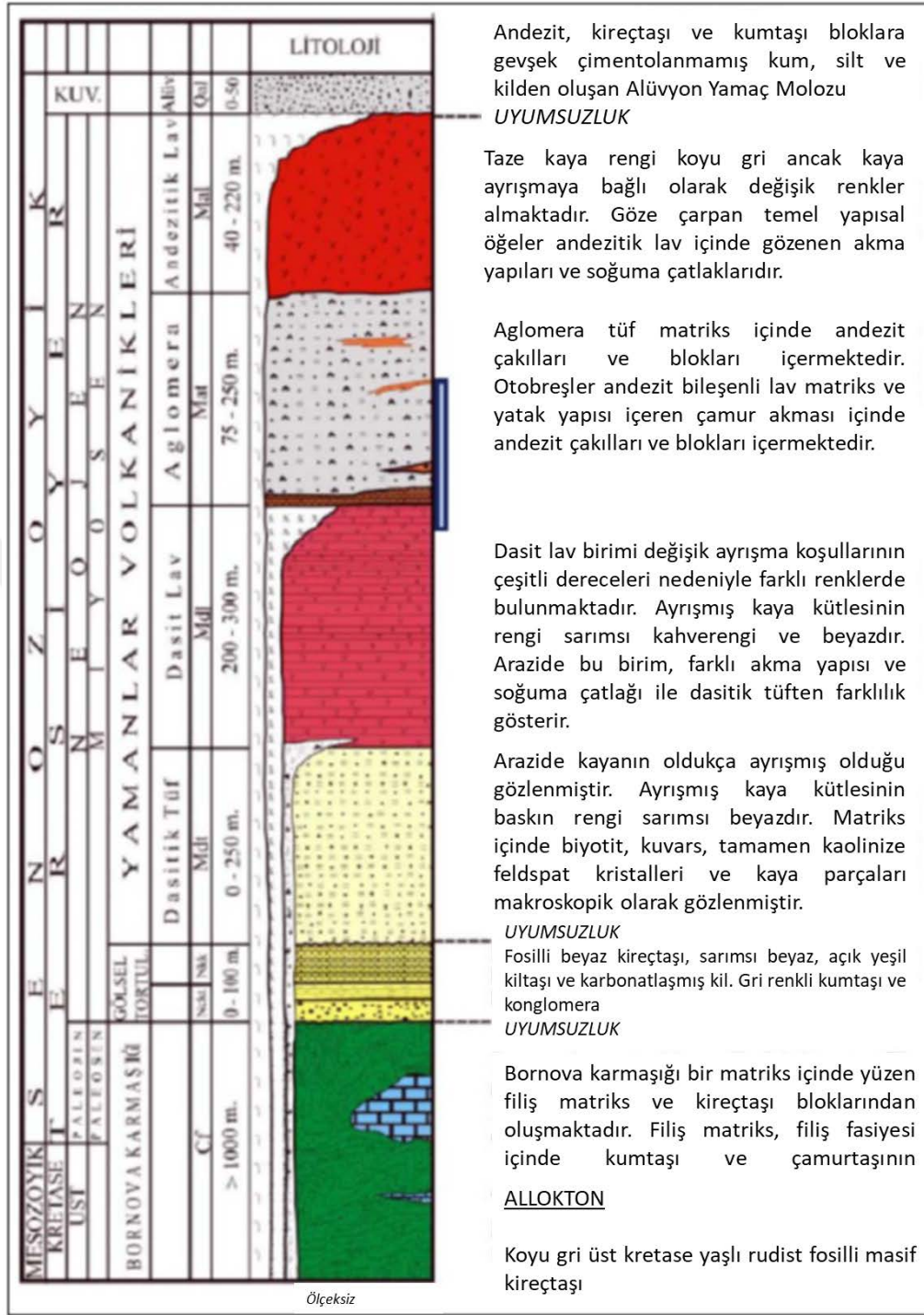


Şekil 4.9 Çalışma Sahası-2 patlatma şevleri (Kişisel arşiv, 2016)

#### **4.3.1 Bölgenin Coğrafi Konumu, Bitki örtüsü ve Genel Jeolojisi**

Çalışma Sahası-2, İzmir ili, Bayraklı ilçesi sınırlarındadır. Çalışma alanı sınırının yaklaşık 190 m güneybatısında Bayraklı Tünelleri doğu girişi, yaklaşık 220 m güneyinde Bayraklı ilçesi kuzey sınırı yerleşim birimleri, yaklaşık 200 m kuzeydoğusunda Laka Köyü yerleşim birimleri yer almaktadır. Çalışma alanını oluşturan topoğrafya engebelerlidir. Bitki örtüsü Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, çam ağaçları ve makiliklerden oluşmaktadır.

Kazı yapılacak alanın ve çevresinin genel jeolojisi değerlendirildiğinde, bölgede yer alan kaya birimleri Bornova Karmaşığı, Yamanlar Volkanitleri ve Gölsel Tortullar olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Bölgenin ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti Şekil 4.10'da verilmiştir. Bornova Karmaşığının yüzlekleri Bornova-Işıkkent arasındaki bölgede ve Balçova-Narlıdere yörelerinde yaygındır. Bölgede geniş bir yayılım alanı sunan Yamanlar Volkanitleri Neojen yaşlı olup, Andezit-Dasit karakterindeki volkanik ürün ve türevlerini içerirler Neojen gölsel çökellerinin oluşturduğu kireçtaşı-kiltaşı-kumtaşı ve çakıltası içeren litolojileri kapsarlar (Akay, 2000; Innocenti ve Mazzuoli, 1972; Savaşçın, 1974; Türk ve Koca, 1994).



Şekil 4.10 Bölgenin ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti (Koca, 1995)

Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen hakim birim orta miyosen yaşlı Andezit/Agglomera olup, bu birim içerisinde ara tabakalar halinde tüf birimi gözlenmiştir. Ayrıca sahada değişik bölgelerde lokal olarak temel kayası üzerinde

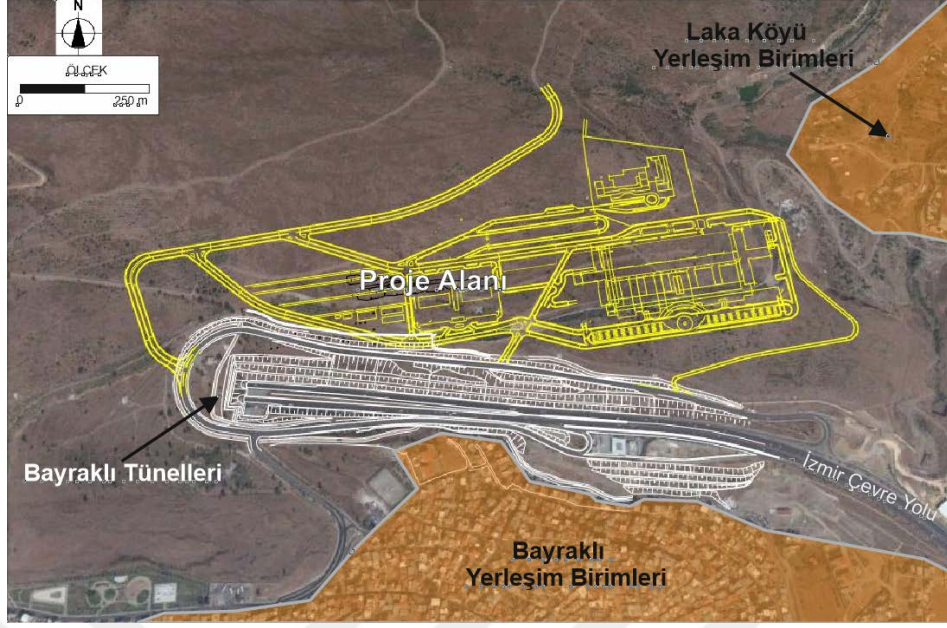


bitkisel toprak, Yamaç molozu/Dolgu malzemesi gözlenmiştir. Temelde gözlenen Andezit/Aglomera birimi; gri-kahverengi-bordo-koyu yeşil renkte, azorta-çok ayrıışmış, orta-zayıf dayanımlı, seyrek-orta-sık-çok sık-parçalı kırıklı yapıdadır.

Andezit ve aglomeralar genel olarak tuf matris içinde Andezitik/Aglomera şeklinde veya hem andezit bileşenli lav matrisi hem de taneleri andezit olan bir yapı içinde bulunmaktadır. Aglomeralarda çakıl blokların tane boyu 5-10 cm, yer yer ise 30 cm'ye kadar ulaşmaktadır. Formasyon içinde, yer yer kahverengi-kırmızımsı-grimsi renkte, orta-zayıf dayanımlı tuf geçişleri gözlenmektedir. Tüfler bazı kesimlerde 1-2 m'den 4-5 m'ye kadar görünür kalınlık göstermektedir.

#### **4.3.2 Arazi Ölçümleri**

İzmir Entegre Sağlık Kampüsü Projesi inşaat alanı düzeltme kazısı yapılacak bölgenin konumu baz alındığında, patlatmalı kazı çalışmaları tasarımında belirleyici olan parametreler patlatma sonucu oluşacak çevresel titreşim seviyesi ve kaya fırlaması etkisidir. Bu durumda patlatma kaynaklı titreşimin insanlar üzerindeki etkisini tespit etmeye yönelik olarak Çalışma Sahası-2 olarak adlandırılan söz konusu kazı sahasında toplam 24 adet patlatma takip edilmiş, bu patlatmalardan 3 adetinde çift jeofon kullanılarak 27 adet titreşim ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin tamamı hava şoku değerlerini de içermektedir. Şekil 4.11'de Çalışma Sahası-2 ve yakınında bulunan yerleşim yerlerinin konumu gösterilmektedir.



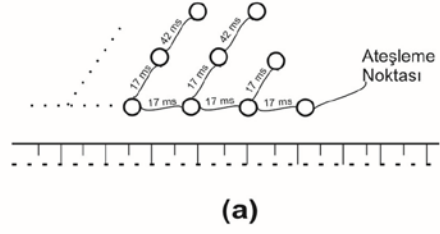
Şekil 4.11 Çalışma Sahası-2 ve çevresindeki yerleşim yerlerinin konumları

Saha çalışmaları boyunca elektriksiz (non-elektrik) gecikmeli kapsül teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmalarda delik çapı 89 mm olarak seçilmiştir. Yapılan patlatmalarda delik içi 500 ms yüzeyde 17 ms ve 42 ms gecikmeli elektriksiz kapsüller, delik başına 625 gr yemleme ve patlayıcı madde olarak da ANFO kullanılmıştır. Delikler arası mesafe 3,0 m ile 3,5 m arasında iken, dilim kalınlığı 3,5 m ile 4,0 m arasındadır. Delik boyları ise 3-15 m arasında değişmektedir. Örnek olarak Çalışma Sahası-2 Patlatma-1'e ait delik geometrisi ve bağlantı planı ile delik düşey kesiti Şekil 4.12'de, patlatma bölgesine ait bir görüntü Şekil 4.13'te verilmiştir.

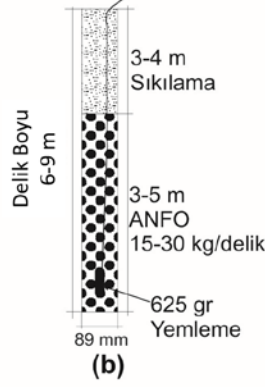
Çevresel titreşimin değerlendirilmesi için patlatma noktasından farklı uzaklıklarda titreşim kaydı alınması amacıyla jeofonlar kullanılmıştır. Bu mesafeler 232,0 m ile 765,2 m arasında değişmektedir. Jeofonların konumları patlatma alanı ile yerleşim yerleri arasında kalacak şekilde konumlandırılmıştır. Anket uygulaması için gönüllü katılımcılar söz konusu ölçüm noktalarında titreşime maruz bırakılmıştır. Bu ölçüm noktalarına yerleştirilen jeofonlar sayesinde patlatma kaynaklı titreşimlerin parçacık hızları, frekans değerleri, ivme değerleri ve süreleri kayıt altına alınmıştır. Patlatmalardan ölçülen bileşke parçacık hızları 0,642 mm/sn ile 10,1 mm/sn arasında

değişmektedir. Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı Şekil 4.14’de örnek olarak verilmiştir. Bu çalışma alanından 120 adet anket elde edilmiştir.

Patlatma 1 Delik geometrisi ve bağlantı planı



Patlatma 1 Delik düşey kesiti



Şekil 4.12 Çalışma Sahası-2 Patlatma-1 plan görüntüsü, (a) Delik geometrisi ve bağlantı planı, (b) Delik düşey kesiti (ölçeksiz)



Şekil 4.13 Patlatma 6 bölgesi (Kişisel arşiv, 2016)

Date/Time Long at 12:55:14 November 30, 2015  
 Trigger Source Geo: 0.500 mm/s  
 Range Geo :31.7 mm/s  
 Record Time 3.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps

Serial Number BE12301 V 10.60-8.17 MiniMate Plus/8  
 Battery Level 6.2 Volts  
 Calibration October 10, 2013 by InstanTel  
 File Name N301G4SE.K20

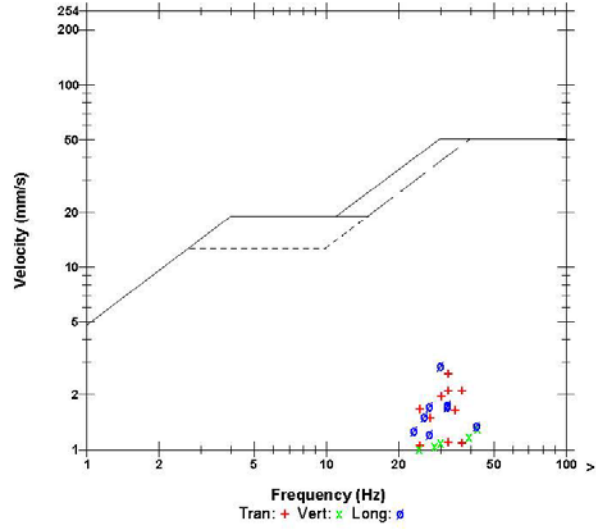
**Notes**

**USBM RI8507 And OSMRE**

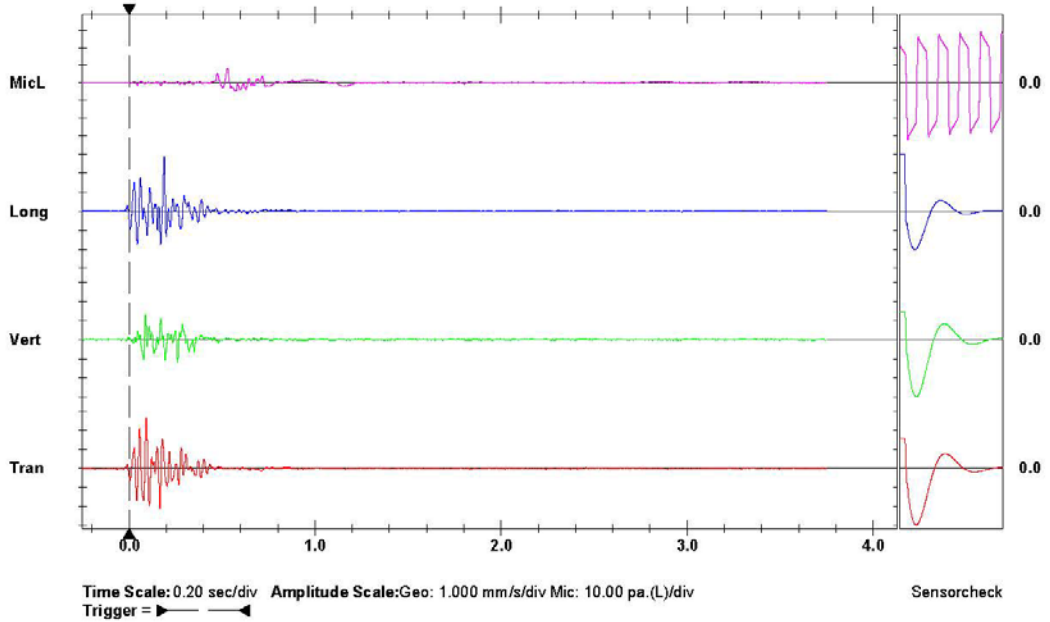
**Post Event Notes**

Microphone Linear Weighting  
 PSPL 8.50 pa.(L) at 0.528 sec  
 ZC Freq 19 Hz  
 Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 582 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.62	1.32	2.87	mm/s
ZC Freq	32	43	30	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.092	0.088	0.188	sec
Peak Acceleration	0.0563	0.0385	0.0630	g
Peak Displacement	0.0124	0.00698	0.0137	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Check	
Frequency	7.4	7.5	8.3	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.6	3.6	



Peak Vector Sum 2.92 mm/s at 0.188 sec



Şekil 4.14 Patlatma 1 Jeofon 1 titreşim kayıt cihazı çıktısı

Tablo 4.2’de ölçümlerde elde edilen üç yönde parçacık hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, ölçüm noktasının patlatma bölgesinden olan uzaklığı, hava şoku değerleri, ölçekli mesafe ve bileşke partikül hız değerleri verilmiştir. Jeofonların ve patlatma bölgelerinin konumları Şekil 4.15’te verilmektedir.



Şekil 4.15 Patlatma bölgeleri ve jeofonların konumları

Tablo 4.2 Parçacık hız değerleri, frekans değerleri, patlayıcı miktarı, patlatma bölgesinden olan uzaklık ve hava şoku değerleri

Patlatma No	Jeofon No	Mesafe (m)	Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı (kg)	Frekans (Hz)			Parçacık Hızı (mm/sn)				Hava Şoku Değeri (Pa)
				Yanal	Dikey	Uzunlamasına	Yanal	Dikey	Uzunlamasına	Bileşke	
1	Jeofon 1	283,80	18,00	32,00	43,00	30,00	2,62	1,32	2,87	2,92	8,50
2	Jeofon 1	319,30	30,00	19,00	28,00	6,60	1,68	1,06	1,51	2,09	9,50
	Jeofon 2	232,20	30,00	6,60	16,00	5,80	2,49	2,91	4,41	4,88	19,50
3	Jeofon 1	336,10	52,00	9,30	15,00	11,00	2,17	1,17	2,32	2,34	1,00
	Jeofon 2	426,40	52,00	4,00	4,10	6,50	0,67	0,38	0,92	1,09	7,75
4	Jeofon 1	358,30	50,00	11,00	5,10	9,10	1,54	1,08	2,19	2,59	1,00
	Jeofon 2	448,40	50,00	3,90	4,40	5,00	0,46	0,41	0,81	0,91	4,75
5	Jeofon 1	373,10	25,00	12,00	7,40	5,90	1,41	0,41	0,87	1,49	0,75
6	Jeofon 1	369,00	40,00	9,10	4,70	4,10	0,75	0,41	1,38	1,48	4,75
7	Jeofon 1	439,30	40,00	8,30	7,10	7,40	0,54	0,43	0,94	1,06	11,50
8	Jeofon 1	580,10	22,50	12,00	18,00	12,00	1,05	0,52	0,91	1,20	11,80
9	Jeofon 1	534,40	22,50	16,00	19,00	16,00	1,46	0,56	1,02	1,52	6,75
10	Jeofon 1	365,10	16,00	7,90	10,00	6,70	0,94	0,38	1,22	1,41	0,50
11	Jeofon 1	340,50	12,50	15,00	7,60	11,00	0,43	0,40	0,81	0,85	0,75
12	Jeofon 1	517,20	50,00	6,70	5,30	5,00	0,64	0,32	0,43	0,74	6,25
13	Jeofon 1	357,00	50,00	14,00	3,20	6,30	1,83	0,68	1,48	2,03	0,75
14	Jeofon 1	378,00	50,00	12,00	5,60	7,90	2,17	0,97	1,48	2,38	17,50
15	Jeofon 1	501,00	35,00	6,80	15,00	23,00	1,29	1,25	0,95	1,52	1,00
16	Jeofon 1	445,50	35,00	5,20	11,00	27,00	1,14	1,21	0,06	1,36	8,75
17	Jeofon 1	405,20	40,00	13,00	17,00	13,00	1,33	0,64	1,27	1,42	5,75
18	Jeofon 1	765,20	60,00	34,00	64,00	30,00	6,35	7,54	8,10	10,10	3,00
19	Jeofon 1	725,00	60,00	11,00	5,50	8,30	0,56	0,52	0,43	0,64	1,25
20	Jeofon 1	277,70	40,00	5,10	9,50	4,10	2,52	1,27	2,84	3,14	7,75
21	Jeofon 1	423,30	40,00	12,00	12,00	>100	0,76	0,51	0,05	0,85	7,00
22	Jeofon 1	520,80	25,00	7,10	10,00	9,10	0,51	0,78	0,56	0,90	6,25
23	Jeofon 1	382,20	50,00	6,60	4,70	4,80	1,41	1,16	1,65	1,77	12,50
24	Jeofon 1	319,20	40,00	9,80	8,40	7,40	1,81	1,54	2,71	3,39	5,50



## **BÖLÜM BEŞ**

### **SİMÜLASYON ÇALIŞMASI**

#### **5.1 Giriş**

Patlatma kaynaklı titreşim problemleri iyi bilinse de, patlatma titreşimlerinin algılanmasının daha fazla araştırılması ve çalışılması gerekmektedir. Mekanik titreşimlerin aksine patlatma kaynaklı titreşimler için tüm vücut titreşimlerine (WBV) ve insan maruziyetine odaklanan az sayıda çalışma vardır. Bu nedenle bu simülasyon çalışması insan vücudunun, patlatma kaynaklı titreşimlere tepkisinin analizinde öncülük etmektedir.

İnsan vücudu, birbiriyle bağlantılı çok parçalı bir sistem olarak görülebilir. Çünkü her organ birbirinden farklı doğal frekanslara sahiptir. Her organın titreşime karşı tepki ve hassasiyeti de çeşitlilik gösterecek, hastalık ve konfor kaybına sebep olabilecektir. Dolayısıyla titreşim karşısında insan vücudunun tepkisini analiz ederken, fiziksel ve psikolojik etkilerini dikkate almak gerekir (Işık ve Kuruşcu, 2018).

Bu araştırmanın amacı, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak ve böyle bir davranışı bilgisayar ortamında simüle etmektir. Sonuç olarak, bilgisayar simülasyonu ile en kötü durum senaryosu göz önüne alınarak patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki fiziksel etkileri incelenebilecektir. Ayrıca, yerinde anket uygulamaları ile psikolojik etkiler de değerlendirilmiştir.

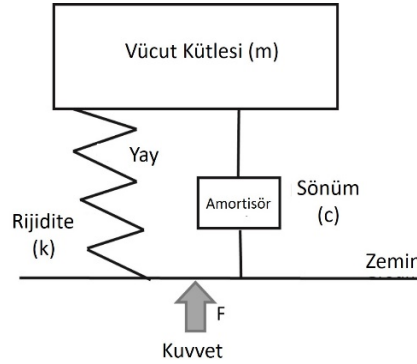
#### **5.2 Konu İle İlgili Önceki Çalışmalar**

Birçok kişi günlük olarak tüm vücut titreşimine (WBV) maruz kalmaktadır. Bazı mesleki ortamlarda (madencilik, inşaat sektörü vb.), bir ekipmanı tutarken veya kullanırken, operatörler (WBV) maruz kalırlar. Demiryolu, karayolu, hava ve deniz taşımacılığında yolcular ve mürettebat rahatsızlığa neden olabilecek titreşime maruz kalmaktadır. Binalarda, düşük titreşim seviyeleri algılanabilir ve sıkıntıya neden

olabilir. Titreşimin insan vücudu üzerindeki çeşitli etkileri ve ayakta duran insan vücudunun destekleyici yapılarla etkileşimleri, beden dinamik tepkilerinden etkilenir. Oturur pozisyonda insan vücudu modellerinin dinamik tepkileri üzerine çalışmalar geliştirilmiştir. Bununla birlikte, ayakta duran insan vücudu hakkında nispeten az sayıda çalışma yapılmıştır (Subashi, Matsumoto ve Griffin, 2008).

WBV rahatsızlığa, yorgunluğa ve fiziksel ağırlara neden olabilir ve uzun süre maruz kalan kişilerde kas-iskelet sistemi bozukluklarına yol açar. Bu yüzden insan vücudu bazı koşullar altında modellenmelidir, ancak insan vücudunun titreşim nedeniyle tepkisini tam olarak tahmin etmek zordur, çünkü karmaşık bir dinamik sistemdir.

İnsan üzerindeki titreşim etkilerini belirlemek için, insan vücudu çok dereceli serbest yaylı-kütle-sönüm modeli (MDOF) kullanılarak modellenmelidir (Şekil 5.1). Serbestlik dereceleri (DOFs) titreşim geçiren bir sistemin hareketini tanımlamak için kullanılır. Hareketi yeterince tanımlamak için sisteme bir dizi bağımsız koordinatın atanması gerekir.



Şekil 5.1 DOF kullanarak insan vücudu modelinin basit temsili

Sistemin kütlesi doğrudan ölçülebilir. Yay sabiti, bilinen bir kuvvete bağlı yer değiştirmenin ölçülmesiyle, Hooke yasası ( $F=kx$ ) kullanılarak dolaylı olarak ölçülür.  $m$  ve  $k$  ölçümü için, ekipmanın demonte edilmesi gerekir. Fakat bu her zaman mümkün olmayabilir (Haddow, 2015). İnsan vücudu ile çalışırken eğer kadavra değilse bu mümkün değildir.



Titreşimli sistemler teorisi, monte halde m ve k ölçümünün yapılmasını sağlar. Bunu yapmak için doğal frekans bulunmalı ve kullanılmalıdır (Eşitlik 5.1) (Haddow, 2015).

$$\omega^2 = k/m \quad (5.1)$$

$\omega$  : Doğal Frekans (rad/sn),  
 $k$  : Yay (rijidite) sabiti (kN/m),  
 $m$  : Kütle (kg).

Sönümlenme katsayısı, sönümlenme oranı kullanılarak hesaplanır. Eşitlik 5.2 sönümlenme oranı, sönümlenme katsayısı, doğal frekans ve rijidite sabitleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir;

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (5.2)$$

$\xi$  : Sönümlenme Oranı,  
 $c$  : Sönümlenme katsayısı (kNsn/m),  
 $k$  : Rijitlik katsayısı (kN/m),  
 $m$  : Kütle (kg),  
 $\omega_n$  : Doğal Frekans (Hz).

Kütle ve yay modeli, insan vücudunun biyomekanik özelliklerini karakterize etmek için çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. İnsan vücudu kısımları, rijitlik özelliklerinin yanı sıra, doğal olarak sönümlenme özelliğine de sahiptir. Viskoz sönümlenme, vücut fonksiyonlarında önemli bir rol oynar, şokların emilmesine ve stabilitesinin korunmasına yardımcı olur (Farley, Houdijk, Van Sterien, ve Louie, 1998; McMahan ve Cheng, 1990; Zhank, Xu, Mohsen ve Lin, 2000).

İnsan vücudunun dinamik modelini geliştirmek için diğer önemli parametre, vücut parçalarının kütle ağırlıklarıdır. Literatürde vücut parça ağırlığını belirleyen birçok çalışma vardır. Modelin kütle ve rijitlik (stiffness) parametreleri antropometrik

verilerden, kemiklerin ve dokuların elastik modüllerinden ve bu çalışmaların bazılarında deneğin toplam kütesinden elde edilmiştir. Öte yandan, bazı çalışmalara göre de kadavradan insan vücudu kütle dağılımı belirlenmiştir. Tablo 5.1, farklı araştırmacılara göre vücut parçalarının ağırlıklarının yüzdesel dağılımını göstermektedir.

Tablo 5.1 Yüzdesel olarak insan vücudu kütle dağılımları

	Dempster, (1955)	Abdeen ve Abbas, (2011)	Astrand ve Rodahl, (1970)	Banister ve Taunton, (1971)	Shepard, (1968)	Davies ve Knibbs, (1971)	Garg ve Ross, (1976)
Baş	7,3	7,5	7,3	6,95	7,9	8,81	7
Boyun	---		---	---	---	---	---
Üst Kol	2,7	---	3,1	3,3	2,7	2,8	3
Alt Kol	1,6	---	1,7	2,1	1,6	2,63	1,7
El	0,66	---	0,7	0,85	0,66	---	0,8
Üst Torso	50,8	40,2	35,8	46,3	49,7	45,19	6
Alt Torso		12,2	---	---	---	---	34
Central Torso		---	9,9	---	---	---	6
Üst Bacak	9,88	18,2	11,5	10,85	9,9	11	11
Alt Bacak	4,65	---	4,4	4,8	4,69	4,5	4,4
Ayaklar	1,45	---	1,8	1,7	1,4	2	1,8

Bu bilgiler ışığında, literatür gözden geçirilmiş ve önceki çalışmalara dayanarak ayakta duruş pozisyonunda insan vücudu titreşim modeli geliştirilmiştir. İnsan vücudu titreşim modellemesi için rijitlik (stiffness) ve sönüm katsayılarının önemli olduğu görülmüştür. Tez kapsamında yararlanılan önceki çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Gupta (2007), her insan vücudu segmenti için ayrı ayrı sönüm oranının tahminini araştırmıştır. Her bir vücut segmentinin sönümlenme oranları, segmentin fiziksel yapısına göre erkekler için hesaplanmış, daha sonra sönümlenme sabitleri bulunmuştur. Deneysel çalışmalarda elektrodinamik bir titreştirici kullanılmış, deneklerin ayakları düzener üzerine sabitlenerek teste tabi tutulmuşlardır. Her deneyde, frekans ve ivme değerleri, ayaklarda ve baş seviyelerinde ölçülmüştür. Yaptıkları testte 20 ila 25 yaş arası 8 denek kullanmışlardır. Dikey titreşimler için insan vücudunun 15 DOF titreşim modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada 15 DOF modelinin neden seçildiği ile ilgili detaylı bir bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışma için, Bartz ve Gianotti'nin (1975) antropometrik modeli benimsenmiştir. Bartz ve Gianotti'nin (1975) modeli kütle ve

rijitliğin değerlendirilmesi için Nigam ve Malik (1987) tarafından kullanılmıştır. Bütün segmentler için rijitliğin hesaplanmasında aynı elastik modül değerini kullanmışlardır. Bu durumun kemik parçalar için doğru bir yaklaşım olduğu, fakat doku yapısına sahip olduğundan merkezi gövde (Central torso) için kullanılamayacağı belirtilmiştir. Gupta (2007)'ya ait modeldeki omurga ayrı bir yay ve sönümleyici (spring and dash-pot) kombinasyonu olarak sunulmuştur. Böylece, oluşturulan model diğerlerinden farklı olmuş ve Model 1 olarak adlandırılmıştır. Araştırmacı hangi modelin gerçek titreşimsel cevabı daha yakından incelediğini kontrol etmek amacıyla bir model (Model 2) daha oluşturmuştur. Her iki modelde de her vücut parçası aynı rijitlik değerine sahiptir. Model 2 harmonik uyarıma genel tepkiyi makul seviyelerde doğru tahmin edebilmektedir. Özetle, insan vücudunun sönümsüz kütle-yay modeli, vücut parçalarının antropometrik verileri diğer bir ifade ile insan vücudunun boyutları (yükseklik, derinlik, genişlik, mesafe, eğrilik, çevre vb.) ve elastik özellikleri kullanılarak oluşturulmuş, parçaların sönüm sabiti, tahmini sönümleme oranlarından hesaplanmıştır.

Gupta ve Gupta (2017), dikey titreşimler için ayakta duran bir kişinin dinamik tepkisini belirlemek amacıyla 13 DOF (13 serbestlik dereceli) antropometrik titreşim modeli geliştirmişlerdir. Çalışmaları için fiziksel olarak farklı insan vücudu parçalarını sınıflandırmak amacıyla, Bartz ve Gianotti (1975)'nin 15 DOF antropometrik modelini baz almışlardır. Modelin atalet ve rijitlik özelliklerinin belirlenmesinde, her bir vücut parçasının antropometrik verileri, insan vücudu kütlesi ve her bir vücut parçasının elastik modülünü kullanmışlardır. Sönümleme, ayakta duran kişilerin dinamik tepkisinin deneysel ölçümlerinden elde edilen modal sönüm oranları kullanılarak modele dâhil edilmiştir. Platformdan baş bölgesine aktarılabilirlik (iletkenlik) oranı, sabit platformda dikey uyarmaya maruz kalan dik pozisyonda ayakta duran kişi için önemli bir parametredir. Bu oran, platformun ivmesi ve baş bölgesinin kararlı durum ivmesinin oranı olarak açıklanmıştır. Bu parametre belirlenirken, sabit platform ile deneğin ayağı arasında göreceli hareket olmadığı kabul edilmiştir. Bu durum, Garg ve Ross (1976) (bu çalışmada denek rahat, fakat deney sırasında ayaklarının pozisyonunun değiştirilmesi engellenmiş) ile Gupta (2007) (bu çalışmada denek ayaklarından platforma bağlanmış) tarafından aktarılabilirlik oranının ölçülmesi

için deneysel prosedürün tarifi ile daha da desteklenmektedir. Bu nedenle de, titreşim modelindeki ayak hareketinin, platformun hareketine eşdeğer olduğu ve bu durumda, dikey uyarım altında olan 15 DOF antropometrik insan vücudu modelinin, destek hareketiyle 13 DOF pozitif bir kesin sisteme indirgenebildiği belirtilmiştir. Modal sönümlenme oranları, platformdan başa aktarılabilirlik oranı/ivme oranının deneysel ölçümlerinden tahmin edilmiştir. Titreşim modelindeki yay elemanlarının rijitlik değerleri, Nigam ve Malik (1987) tarafından önerilen şemadan elipsoidal segmentlerin rijitlik değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Garg ve Ross (1976), dikey titreşimlerde insan vücudu titreşim iletilebilirliği konulu, gönüllülerle yapılan deneysel çalışmalara dayanan bir makalede, sinüzoidal titreşime maruz kalan insanların frekans tepkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için 16 DOF modeli geliştirmişlerdir. Bu model, insan iskeleti ve insan vücudunun etli (kemiksiz) konstrüksiyonunun basitleştirilmiş bir görüntüsüne dayanmaktadır. Sınırlı kütle dağılımı bilgisi bu modelin kısıtıdır. Bu model baş rotasyonunu da içermektedir. Bu çalışmada kadavralara dayanan rijitlik değerleri literatür çalışmaları ile elde edilmiştir. Frekans aralığı 1 ila 50 Hz arasındaysa, ayakta dik duruş pozisyonunda titreşim iletilebilirliğini ölçmek mümkündür. Bu çalışmanın sonuçları açısından yaş, boy ve deneklerin ağırlığının önemli olmadığı dikkate alınmıştır.

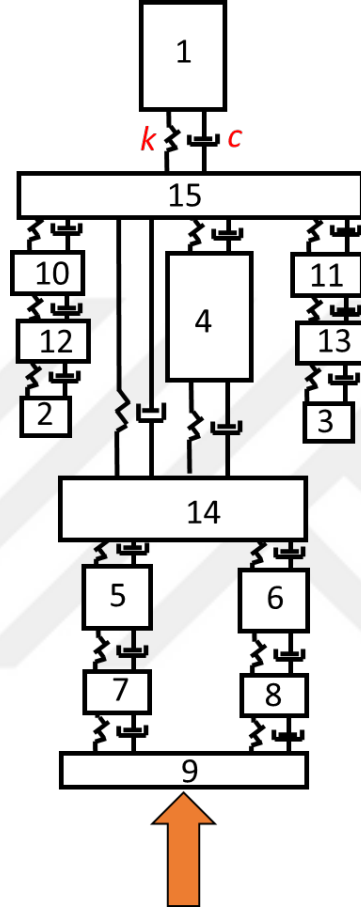
### **5.3 İnsan Vücudu Üzerindeki Titreşim Etkisini Belirlemek İçin Patlatma Kaynaklı Titreşim Simülatörü**

Literatür incelendiğinde, insan vücudunun titreşim etkilerini belirlemek için kütle, yay ve sönümlenme özellikleri kullanılarak modellenildiği görülmüştür. İnsan vücudu dinamik modelini kullanarak, patlatma kaynaklı titreşimin insan vücudu üzerindeki etkisini belirlemek için konu ile ilgili herhangi bir çalışma olmasa bile, bu konsept patlatma kaynaklı titreşim için de kullanılabilir. Böylece titreşim verilerinin sayısı artırılarak, oluşturulan model farklı titreşim değerlerine maruz bırakılabilir ve her bir vücut parçası için patlatma titreşiminin etkisi belirlenebilir.

Bu modelleme çalışmasının amacı, karakterize edilmiş patlatma kaynaklı titreşimi laboratuvar ortamında simüle etmektir. Simülasyonu başardıktan sonra, gerçeğe uygun oluşturulan insan modeli, bu titreşimlere maruz kalabilecek ve uygulama sayısı artırılarak patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkileri gözlemlenebilecektir. Bu amaç ışığında, ilk adım, MSC.ADAMS/View yazılımını kullanarak sanal bir simülasyon modeli oluşturmaktır. İkinci adım ise, öncelikle simülasyonun çalışmasını test etmek amacıyla İzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş (Çimentaş)'ne ait kireçtaşı ocağından alınan verileri kullanarak insan modelini titreştirmektir. Üçüncü adımda ise analiz yapılması amacıyla Çalışma Sahası-1'den toplanan farklı titreşim verilerini kullanarak insan modeli titreştirilmiştir. Titreşim veri aralığı geniş olduğu ve ön çalışmada kullanılan veriler ile aynı kaya yapısından yani kireçtaşı ocağından elde edildiği için Çalışma Sahası-1'e ait titreşim değerleri kullanılmıştır. Bu üç adımdan sonra, elde edilecek simülasyonun sonuçları, patlatma kaynaklı titreşimlerin çeşitli insan vücudu parçaları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine izin verecektir.

Modelleme için insan vücudu kütle dağılım yüzdeleri, rijitlik ve sönümlenme verileri önceki çalışmalar baz alınarak seçilmiştir. 1976 yılında Garg ve Ross tarafından yayınlanan dikey titreşimlerin insan vücudu üzerindeki iletimini araştıran çalışma, bu araştırmanın referans çalışmasıdır. Bu makalenin seçilmesinin nedeni, ayak altında herhangi bir platform bulunmayan deneklerde kullanılan onaltılık kütle lineer lumped-parametre modelinde düşey titreşime karşı insan tepkisinin araştırılması, kadavralara dayalı literatür çalışmalarından alınan rijitlik değerlerinin alınmış olması olarak açıklanabilir. Söz konusu çalışmada kuvvet doğrudan ayaklara uygulanmıştır. Bu model, tez kapsamında bazı modifikasyonlarla MSC ADAMS/View yazılım ortamında yeniden üretilmiştir. Referans makaledeki model 16 DOF iken, uygun eklemler kullanılarak simülasyondaki model 21 DOF olarak üretilmiştir. Referans makaledeki modelde, yazarlar kafa döndürme etkisini araştırdığı için model kafa rotasyonuna sahiptir. 43Hz'de başın rezonansa girmiş gibi bir rotasyon sergilediğini belirtmişlerdir. Bunun aksine, gerçekleştirilen çalışmada rotasyon etkisi incelenmek istenmediğinden simülasyondaki modelin kafa rotasyonu sağlayacak bir yapısı bulunmamaktadır. Garg ve Ross (1976)' a göre, 1-50 Hz frekans aralığında ayakta

duran insanın titreşim aktarımını ölçmek mümkündür. Yaklaşık 33 Hz'de başın kütlesi boynun rijitliğinde rezonansa girmiştir. Geliştirilen ve simüle edilen insan vücudu dinamik modeli, Şekil 5.2'de gösterildiği gibidir. Simülasyonda kullanılan insan vücudu parametreleri Tablo 5.2 ve 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2 Simülasyonda kullanılan insan vücudu dinamik modeli

Tablo 5.2 İnsan vücudu rijitlik ve sönümleme katsayıları (Garg ve Ross, 1976)

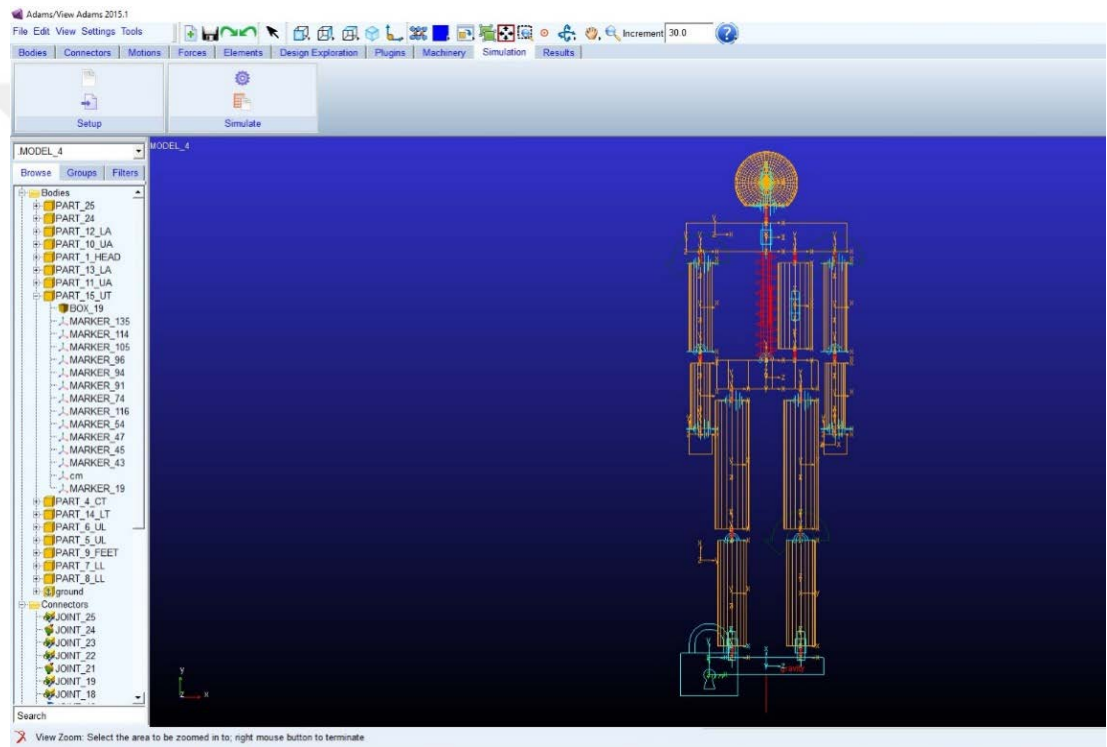
Rijitlik Katsayısı Numarası	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	Sönümleme Katsayısı Numarası	Sönümleme Katsayısı (Nsn/mm)
K1-15	175,13	C1-15	0,02
K14-15	35,03	C14-15	0,79
K4-15	3,15	C4-15	0,05
K4-14	2,28	C4-14	0,03
K5-14	359,01	C5-14	0,96
K6-14	359,01	C6-14	0,96
K5-7	359,01	C5-7	0,96
K6-8	359,01	C6-8	0,96
K7-9	359,01	C7-9	0,96
K8-9	359,01	C8-9	0,96
K10-15	26,27	C10-15	0,18
K11-15	26,27	C11-15	0,18
K10-12	26,27	C10-12	0,18
K11-13	26,27	C11-13	0,18
K2-12	26,27	C2-12	0,18
K3.13	26,27	C3.13	0,18

Tablo 5.3 İnsan vücudunun kütle dağılım yüzdeleri (Garg ve Ross, 1976)

Vücut Parçası Tanımı	İnsan Vücut Ağırlığına Göre Yüzdesele Dağılımı (%)
Baş	7,00
Üst Kol	3,00
Alt Kol	1,70
El	0,80
Üst Torso	6,00
Alt Torso	34,00
Merkez Torso	6,00
Üst Bacak	11,00
Alt Bacak	4,40
Ayak	1,80

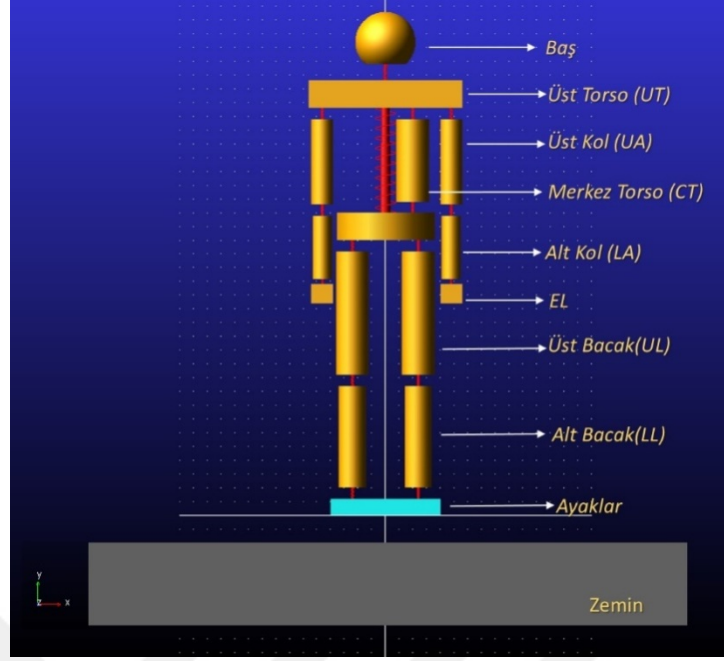
Sahadan alınan ölçümler için jeofonlar ve Bölüm 6'da detayları verilen anket çalışmaları için gönüllü katılımcılar aynı zemine yerleştirildiğinden, zeminin jeolojik durumu benzetim modeline dahil edilmemiştir. Başka bir deyişle, titreşim ölçümleri, katılımcıların ayaklarının yakınında bulunan jeofonlardan alınmıştır.

Şekil 5.2'de gösterilen insan dinamik sanal modeli, Tablo 5.2'deki rijitlik ve sönüm katsayıları kullanılarak MSC.ADAMS/View yazılımında geliştirilmiştir. Modelin vücut ağırlığı, Çalışma Sahası-1'de araştırma çalışmalarına katılan kişilerin ortalama ağırlığı baz alınarak 74 kg seçilmiştir. Şekil 5.3'te oluşturulan modelin ekran görüntüsü ve bu ekran görüntüsünde oluşturulan modele ait eklem detayları görülmektedir. Şekil 5.4 ise, sanal olarak yaratılmış ve kütlelerin tanımının yapıldığı insan vücudu modelini göstermektedir. Her bir vücut parçası, bu modeldeki komşu vücut parçasına uygun eklemlerle bağlanmıştır.



Şekil 5.3 MSC.ADAMS/View programında oluşturulan modele ait eklem detaylarını gösterir ekran görüntüsü





Şekil 5.4 Simülasyon 3B modeli

3B sanal model oluşturulduktan ve programda simülasyon doğrulama yapıp model doğrulandıktan sonra, modeli denge koşulu altında yapılandırmak için statik simülasyon gerçekleştirilir. Daha sonra, başlangıçtaki bazı geçici sistem tepkilerini azaltmak için dinamik simülasyon yapılır.

Statik denge simülasyon süreci boyunca, ADAMS/Solver, sistemdeki tüm kuvvetleri dengelemek için tüm parçaların uzaysal (3 Boyutlu) geometrisini iteratif (tekrarlı) olarak ayarlar. Modeldeki geometrik tutarsızlıkları kontrol etmek ve düzeltmek için başlangıç koşullarında statik simülasyon gerçekleştirilir. Düzeltile model, lineer olmayan veya lineer bir simülasyon için bir girdi haline gelir. Statik simülasyon tamamlandıktan sonra dinamik simülasyon gerçekleştirilir. Bu simülasyon sürecinde, ADAMS/View, tüm model objeler için başlangıç koşullarını belirler ve Newton mekaniğinin yasalarına dayanarak uygun hareket denklemleri (EOM) formüle eder. EOM'lar onlara etki eden kuvvetler ve kısıtlamalar verildiğinde nesne hareketlerini kontrol eder, belirtilen doğruluk toleransı içinde uygulanan sınırlı kuvvetleri, yer değiştirme, hız, ve ivmeleri her parça için çözümler, sonuçları daha sonraki animasyonlar, çizimler/grafikler ve nümerik sinyal işleme için geçici olarak

kaydeder. Animasyonlar, uygunsuz bağlantı veya yanlış uygulanmış hareketler ve/veya kuvvetler gibi, belirli bir problemi saptamak için modelin genel davranışının grafiksel gösterimini sağlar. ADAMS/View bu bilgiyi ölçümler yoluyla grafik olarak görüntüleyebilirken ADAMS/Post Processor, daha ayrıntılı araştırma ve işlemler için olan sonuçları gösterir (Aouad ve Frimpong, 2013).

Bu bilgilerin ışığında, modelin kullanılabilirliği simülasyondan önce değerlendirilmiştir. Bu amaçla özdeğer (Eigenvalue) analizi yapılmıştır. Analizin sonucu referans modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Özdeğer analizi, doğal frekans analizi olarak da bilinir, diğer bir deyişle, Özdeğer ( $\omega$ ) sistemin doğal frekansıdır.

Sönümsüz serbest titreşim analizi için, sistem, doğal frekansta titreşecektir. Bununla birlikte, çoklu serbestlik derecesi (MDOF)'nde, sistem sadece belirli bir doğal frekansta değil, aynı zamanda belirli bir doğal yer değiştirme konfigürasyonu ile de titreşecektir. Ayrıca, sistemin DOF sayısı kadar doğal frekansları ve doğal konfigürasyonları da vardır. Özdeğer ( $\omega$ ) salınım frekansını sağlarken, özvektör ( $u$ ) yer değiştirme konfigürasyonunu belirler. Böylece sistem, frekansla ( $\omega$ ) senkronize olarak titreşebilir. Bu nedenle DOF sistemini çözmek için  $\omega$  ve  $u$ 'nun belirlenmesi gereklidir (Eşitlik 5.3) (Pitakwatchara P., 2010).

$$Ku = \omega^2 Mu \quad (5.3)$$

Burada; (Birim ekle)

- $K$  : Rijitlik katsayısı (N/mm),  
 $u$  : Özvektör (Eigenvector),  
 $\omega$  : Doğal frekans (Eigenvalue) (Hz),  
 $M$  : Kütle (kg).

Özdeğerlerin ve özvektörlerin sayısı, kütle veya dinamik serbestlik derecesi (DOF) sayısından meydana gelen serbestlik derecelerinin sayısına eşittir. Oluşturulan simülasyon modelinin özdeğerleri, MSC.ADAMS yazılımı vasıtasıyla hesaplanmıştır. Sanal modelin sonuçları analiz edildiğinde, baş için doğal frekans 31,207 Hz olarak bulunmuştur. Öte yandan, referans makalede başın doğal frekansı 33 Hz olarak

verilmiştir. Bu durum, yaklaşık 33 Hz'de, baş kütlelerinin rijitlik değerine bağlı olarak rezonansa girdiği anlamına gelir. Makaledeki deney ile programda analiz edilen model arasında sonuçlar karşılaştırıldığında, hata yüzdesi % 5,45 olarak hesaplanmıştır. Bu hatanın nedenleri temel olarak yinelemeli işlemin gerçekleştiği yerlerdeki matematiksel tekilliklerdir (simülasyonun başlangıcında bir hesaplama hatası). Bu hata mühendislik çalışmaları için kabul edilebilir bir aralıktadır. Nitekim, oluşturulan simülasyon modelinin referans modele dayanılarak geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

Simülasyon modeli doğrulandıktan sonra, titreşimin vücut parçaları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla MSC.ADAMS programında oluşturulan insan modeli kullanılarak patlatma kaynaklı titreşim simüle edilebilir. İnsan vücudunun duruşu etkili ivme yönü seçiminde önemlidir. ISO 2631'e göre tüm vücut titreşimi için gerçekleştirilen ölçümler daima omurga yönünde yapılmalıdır. En kötü durum senaryosu dikkate alındığından ve arazi şartlarında gerçekleştirilen çalışmalar ile uyumlu olması açısından insan duruşu ayakta dik duruş pozisyonunda seçilmiş, omurga yönü de dikkate alınarak simülasyon için dikey pik ivme değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar, dikey pik ivme değerine ( $acc_y$ ) dayalı olarak her bir vücut parçası için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Ön çalışma kapsamında simülasyon modelinin test edilmesi için, Tablo 5.4'te verilen Çimentaş'a ait kireçtaşı ocağına ait titreşim dikey pik ivme değerleri kullanılarak dinamik simülasyon gerçekleştirilmiştir. İnsan sanal modelinin titreşmesiyle baş bölgesi RMS değeri elde edilmiştir.

Tablo 5.4 Simülasyonu test etmek amacıyla ön çalışmada kullanılan Çimentoş'a ait patlatma titreşim verileri

<b>Bileşke Parçacık Hızı PPV (mm/sn)</b>	<b>Dikey Pik Parçacık Hızı (mm/sn)</b>	<b>Dikey Pik İvme Değeri (g)</b>
0,532	0,333	0,00663
0,323	0,222	0,00663
0,388	0,238	0,00663
0,286	0,159	0,00663
0,412	0,222	0,00663
0,642	0,476	0,00663
1,430	0,397	0,00663
0,601	0,254	0,00830
0,305	0,190	0,00830
0,291	0,190	0,00830
0,960	0,587	0,00830
0,629	0,381	0,00830
0,879	0,254	0,00830
0,666	0,492	0,00830
0,436	0,349	0,00990
1,260	0,730	0,00990
1,580	0,635	0,00990
1,140	0,540	0,00990
0,672	0,349	0,02150
0,660	0,460	0,02150
3,370	1,270	0,02150
1,340	0,762	0,01330
1,250	0,794	0,01330
1,320	0,667	0,01330
7,440	3,440	0,04640
2,690	1,220	0,01660
10,900	3,920	0,09100
0,809	0,492	0,02320
0,952	0,413	0,01990
0,807	0,540	0,06790

Tablo 5.4'te elde edilen 11 farklı ivme değeri mevcuttur. Bu ivme değerleri kullanılarak elde edilen RMS değerleri de Tablo 5.5'te verilmektedir. Görüldüğü gibi uygulanan ivme değerleri çok düşük olmasına rağmen baş bölgesinde RMS değerleri elde edilmiş, titreşim etkisi oluşmuştur. Diğer bir ifade ile geliştirilen simülasyon modeli başarılı olmuş, bu simülasyon modeli kullanılarak patlatma titreşimlerinin insan vücudu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Çalışma Sahası-1'e ait veriler kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır.

Tablo 5.5 Test çalışmasında simülasyon modelinden elde edilen baş bölgesi sonuçları

Dikey Pik İvme Değeri (g)	Baş için RMS değeri (m/sn <sup>2</sup> )
0,00663	3,4965
0,0083	3,4979
0,0099	3,4969
0,0215	3,4970
0,0133	3,4967
0,0464	3,4981
0,0166	3,4963
0,0910	3,4995
0,0232	3,4977
0,0199	3,4973
0,0679	3,4988

Çalışma Sahası-1'e ait verilerden üretilen veriler, MSC.ADAMS/View programında dikey yönde uygulanan kuvvetler olarak modele girilmiştir. İnsan vücudu üzerine etki eden bu kuvvetler Çalışma Sahası-1'de gerçekleştirilen patlatmalardan elde edilen verilere dayanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon çalışmasında kullanılan patlatma titreşim verileri Tablo 5.6' da gösterilmektedir.

Tablo 5.6 Simülasyon çalışmasında kullanılan patlatma titreşim verileri

Patlatma No	Jeofon No	Dikey Pik Parçacık Hızı (mm/sn)	Dikey Pik İvme Değeri (g)
1	Jeo 1	2,65	0,0282
1	Jeo 2	3,73	0,0481
2	Jeo 1	3,97	0,0795
2	Jeo 2	6,91	0,1111
3	Jeo 1	4,56	0,0563
3	Jeo 2	5,05	0,0679
4	Jeo 1	1,43	0,0646
4	Jeo 2	1,29	0,1160
4	Jeo 3	1,56	0,0182
5	Jeo 1	0,52	0,0215
6	Jeo 1	1,44	0,0182
6	Jeo 2	1,27	0,0365
7	Jeo 1	1,24	0,0083
8	Jeo 1	0,70	0,0182
9	Jeo 1	0,44	0,0149
10	Jeo 1	1,62	0,0199
11	Jeo 1	4,79	0,0166
12	Jeo 1	0,78	0,0050
13	Jeo 1	0,37	0,0215
14	Jeo 1	2,10	0,1180
15	Jeo 1	2,08	0,0083
16	Jeo 1	1,67	0,0099
17	Jeo 1	3,76	0,0215
18	Jeo 1	1,84	0,0315

Patlatma kaynaklı titreşimler, geçici titreşimler olarak tanımlanır. Takip edilen patlatma titreşimleri en düşük 3,25 sn, en yüksek 4,25 sn, ortalama ise 3,75 sn'de sönümlenmiştir. Bu titreşimlerin zeminde sönümlenme süresinden daha uzun bir simülasyon bitiş zamanı seçilmiştir. Çünkü, insan vücudunun anatomik yapısı nedeniyle vücut parçaları arasında titreşim iletimi devam ederek daha uzun bir sürede sönümlenecektir. Bu nedenle, simülasyon bitiş zamanı 10 saniye olarak belirlenmiştir.

MSC ADAMS/View programındaki simülasyon süreci boyunca, bu yazılım hareket denklemlerini (EOM) çözmektedir. İntegratör (integral alan) simülasyon sırasında belirli bir zaman aralığı boyunca, dinamik bir problemin diferansiyel denklemlerini çözen bir algoritmadır. Analitik çözümü olan MSC.ADAMS programında, dört tip stif integratör vardır. Bunlar; Gear Stiff (GSTIFF), Modifiye Gear Stiff, Constant BDF ve RKF45'tir. Her bir integratör, dinamik simülasyonlar için hareketlerin diferansiyel denklemlerini hesaplamak amacıyla özel bir strateji kullanır. Sayısal analizlerde, RKF45 olarak adlandırılan Runge-Kutta-Fehlberg yöntemi, MSC ADAMS programında Non-stif titreşim problemi çözücüsü için uygundur ve adi diferansiyel denklem başlangıç değeri problemleri için kullanılan, kapalı ve açık yinelemeli yöntemler ailesinin önemli bir tipidir. Numerik olarak diferansiyel denklemleri çözmek için en çok bilinen yöntemlerden biridir. Ayrıca ivmelenme alanları için doğru sonuçlar verir (MSC.ADAMS, 2015). Bu çalışmada Fortran Kodu kullanan denklem çözücü olarak, RKF45 seçilmiştir. Bu yöntem mühendislik uygulamalarında kullanılan en popüler yöntemdir.

#### **5.4 Simülasyon Çalışmasından Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi**

RKF45/Fortran kullanılarak, dinamik simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyondan sonra, sonuçlar her bir insan vücudu parçası için ADAMS/Postprocessor'de ayrı ayrı incelenmiştir. Her vücut parçası için, programda y-doğrultusu olarak tanımlanmış dikey yönde ivme değerine ( $acc_y$ ) dayanan RMS (kök ortalama karesi) değerleri elde edilmiştir.

Hız birimli ölçümlerde "tepe değeri", ivme birimli ölçümlerde ise "RMS değeri" seçilmektedir. (Köse, 2004). Titreşim esnasında cisimlerin farklı yönlerde salınım yapması pozitif ve negatif değerlerin oluşmasına sebep olacak ve ortalama değerler gerçeği yansıtmayacaktır. Standartların çoğunda kullanılan RMS yönteminde, her sinyal değerinin karesi alınır. Ardından, ortalamalarının karekökü hesaplanarak doğru veriler elde edilir (Işık ve Kuruşçu, 2018). Kısaca, RMS değeri belirli bir zaman diliminde ölçülmüş titreşim ivme değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökünü

ifade etmek için kullanılır. Eşitlik 5.4'te RMS'ye ait bağıntı (Mansfield, 2005) verilmektedir.

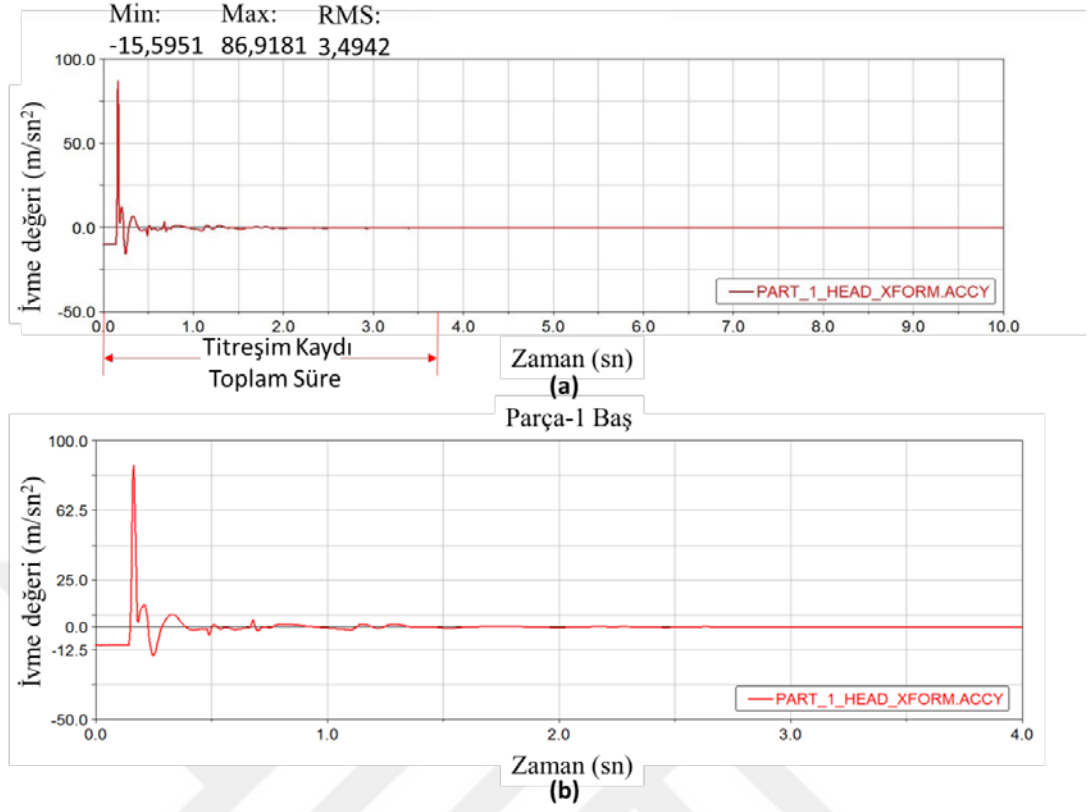
$$a_{w rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (5.4)$$

İnsan vücudunda birbirleri ile bağlantılı uzuv/organlar mevcuttur. Bu parçalı sistemde her bir uzuv, farklı doğal frekanslara sahip olduğu için titreşime maruz kaldığında farklı tepkiler vermektedir. Bu sebeple yapılan değerlendirmede her bir vücut parçası için uygulanan titreşim değerine verilen tepki RMS cinsinden ayrı ayrı elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

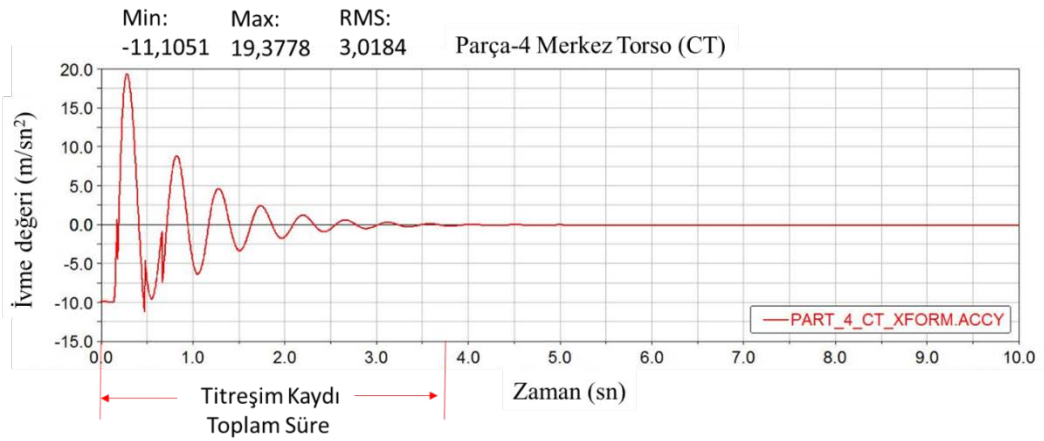
Vücut kısımlarının RMS değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir. Örnek olarak, patlatma kaynaklı titreşimin (uygulanan kuvvet) dikey pik ivme değeri 0,471861 m/sn<sup>2</sup> iken, baş ve merkez torso (CT) için RMS grafiği Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Şekil 5.5 ve 5.6' da görüldüğü gibi, farklı vücut parçaları için farklı RMS değeri, farklı grafik dağılım şekli ve sönümlenme zamanı vardır. 24 farklı kuvvet uygulanarak gerçekleştirilen simülasyon analizinden elde edilen sonuçlar, her vücut parçası için Tablo 5.5'de verilmiştir.





Şekil 5.5 0,471861 m/sn<sup>2</sup> kuvvetine göre baş için grafik çıktısı (a) 10 saniye maruziyet için ivme ve zaman grafiği (b) 4 saniye (titreşim kaydı bitiş zamanı) maruziyet için ivme ve zaman grafiği-program çıktısı



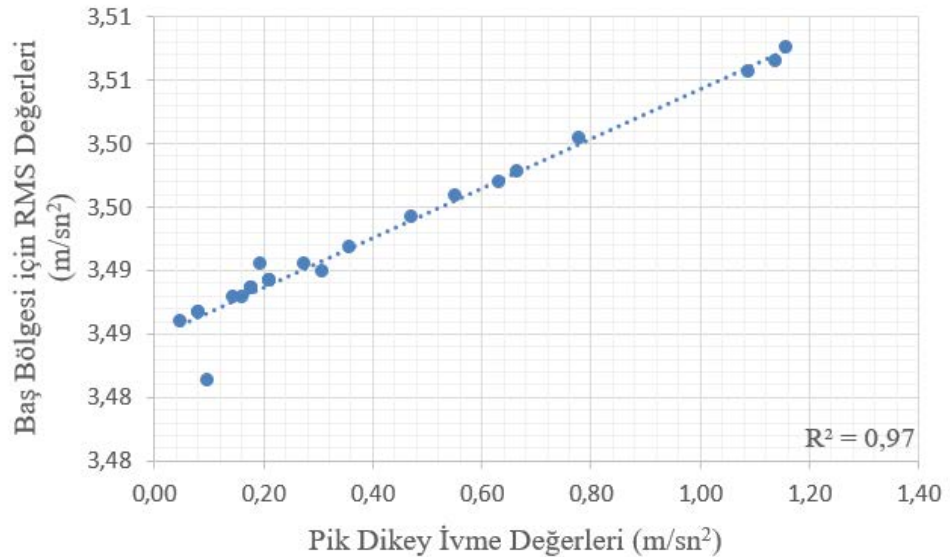
Şekil 5.6 0,471861 m/sn<sup>2</sup> Kuvvet uygulandığında merkezi torsoda (CT) meydana gelen ivme zaman grafiği-program çıktısı

Tablo 5.7 Simülasyon sonuçlarından elde edilen her bir vücut parçası için RMS (acc<sub>y</sub>) değeri

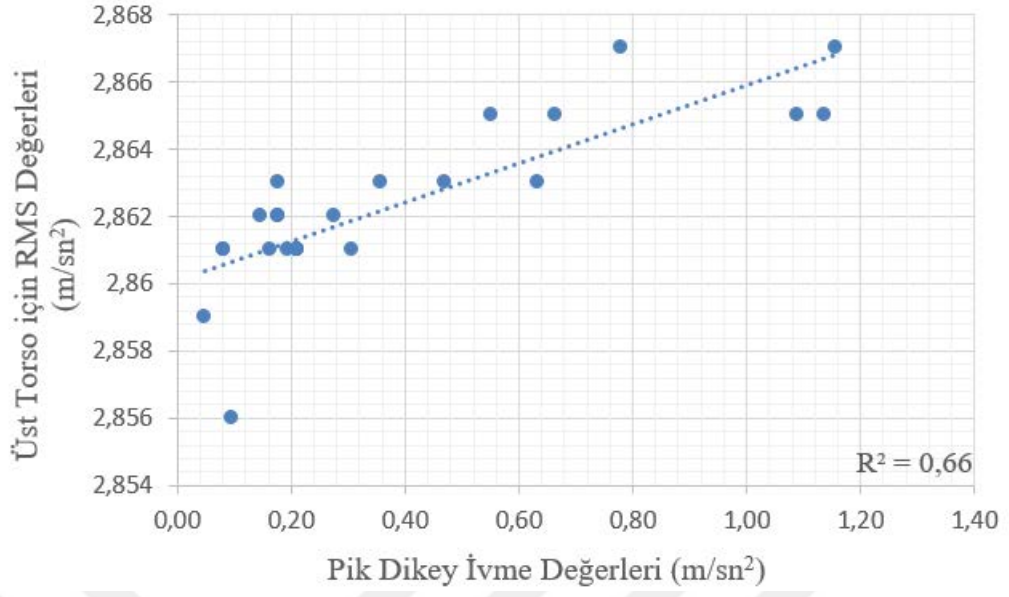
Patlatma No	Jeofon No	Pik Dikey İvme Değeri (m/sn <sup>2</sup> )	RMS acc <sub>y</sub> (m/sn <sup>2</sup> )												
			Parça 1 Baş	Parça 15 UT* <sup>1</sup>	Parça 10 UA* <sup>2</sup>	Parça 11 UA* <sup>2</sup>	Parça 12 LA* <sup>3</sup>	Parça 13 LA* <sup>3</sup>	Parça 4 CT* <sup>4</sup>	Parça 14 LT* <sup>5</sup>	Parça 5 UL* <sup>6</sup>	Parça 6 UL* <sup>6</sup>	Parça 7 LL* <sup>7</sup>	Parça 8 LL* <sup>7</sup>	Parça 9 ayaklar
1	J1	0,2766	3,4905	2,862	3,4125	3,4125	3,9968	3,9968	3,016	4,085	3,9204	3,9213	4,0985	4,0998	1,5695
	J2	0,4719	3,4942	2,863	3,4153	3,4153	3,9998	3,9998	3,018	4,075	3,9399	3,9399	3,7799	3,7813	1,654
2	J1	0,7799	3,5004	2,867	3,4196	3,4196	4,004	4,004	3,021	4,065	3,9644	3,9653	3,3436	3,3452	1,6598
	J2	1,0889	3,5057	2,865	3,424	3,424	4,0101	4,0101	3,031	4,059	3,9841	3,9851	2,9829	2,9847	1,7448
3	J1	0,5523	3,4958	2,865	3,4163	3,4163	4,0006	4,0006	3,02	4,064	3,9461	3,9471	3,6571	3,6586	1,5847
	J2	0,6661	3,4977	2,865	3,4178	3,4178	4,0023	4,0023	3,021	4,068	3,9557	3,9566	3,492	3,4935	1,5387
4	J2	0,1785	3,4887	2,863	3,4109	3,4109	3,9947	3,9947	3,014	4,098	3,9103	3,9113	4,2698	4,2711	1,5402
	J3	0,2109	3,4892	2,861	3,4114	3,4114	3,9957	3,9957	3,016	4,086	3,9139	3,9148	4,2114	4,2127	1,577
	J1	0,3581	3,4918	2,863	3,4142	3,4142	3,9973	3,9973	3,016	4,079	3,9278	3,9288	3,9575	3,9588	1,5633
5	J1	0,0813	3,4866	2,861	3,4091	3,4091	3,9927	3,9927	3,012	4,109	3,9004	3,9014	4,4416	4,4428	1,6406
6	J3	0,1462	3,4878	2,862	3,4098	3,4098	3,9933	3,9933	3,012	4,094	3,9066	3,9074	4,3216	4,3217	1,5722
	J1	0,1785	3,4887	2,862	3,4109	3,4109	3,9947	3,9947	3,014	4,098	3,9103	3,9113	4,2698	4,2711	1,5402
7	J1	0,1952	3,4905	2,861	3,4133	3,4133	3,9984	3,9984	3,018	4,082	3,9186	3,9146	4,2682	4,2695	1,5487
8	J1	0,1628	3,4879	2,861	3,4102	3,4102	3,9941	3,9941	3,015	4,089	3,9087	3,9096	4,2901	4,2913	1,5391
9	J1	0,0488	3,4861	2,859	3,4091	3,4091	3,9931	3,9931	3,013	4,114	3,8978	3,8988	4,5061	4,5073	1,6936
10	J1	0,2109	3,4892	2,861	3,4114	3,4114	3,9957	3,9957	3,016	4,086	3,9139	3,9148	4,2114	4,2127	1,577
11	J1	1,1576	3,5075	2,867	3,4255	3,4255	4,0116	4,0116	3,031	4,064	3,9872	3,9881	2,9233	2,9251	1,8286
12	J1	0,0813	3,4866	2,861	3,4091	3,4091	3,9927	3,9927	3,012	4,109	3,9004	3,9014	4,4416	4,4428	1,6406
13	J1	0,0975	3,4813	2,856	3,4029	3,4029	3,9849	3,9849	3,014	4,081	3,8994	3,9004	4,3141	4,3153	1,5478
14	J1	0,2109	3,4892	2,861	3,4114	3,4114	3,9957	3,9957	3,016	4,086	3,9139	3,9148	4,2114	4,2127	1,577
15	J1	0,3090	3,4899	2,861	3,4115	3,4115	3,9954	3,9954	3,016	4,085	3,9227	3,9236	4,0253	4,0266	1,5194
16	J1	0,6337	3,4969	2,863	3,4174	3,4174	4,0024	4,0024	3,022	4,067	3,9535	3,9545	3,5367	3,5382	1,6058
17	J1	1,1380	3,5065	2,865	3,4246	3,4246	4,0108	4,0108	3,031	4,062	3,9862	3,9871	2,9362	2,9381	1,8992
18	J1	0,1785	3,4887	2,862	3,4109	3,4109	3,9947	3,9947	3,014	4,098	3,9103	3,9113	4,2698	4,2711	1,5402

- \*<sup>1</sup>UT: Üst torso;
- \*<sup>2</sup>UA: Üst kol;
- \*<sup>3</sup>LA: Alt kol;
- \*<sup>4</sup>CT: Merkez torso;
- \*<sup>5</sup>LT: Alt torso;
- \*<sup>6</sup>UL: Üst bacak
- \*<sup>7</sup>LL: Alt bacak

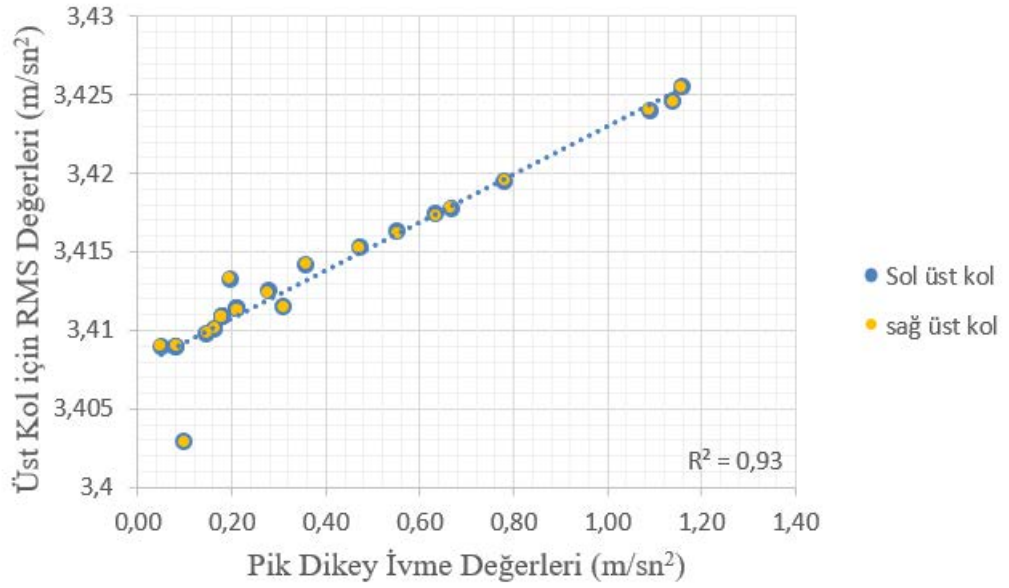
Analiz sonuçlarına göre, vücut parçaları dikey ivme değeri küçük ve maruziyet süresi kısa olsa bile, patlatma titreşimine maruz kalmaktadır. Vücut parçalarının, bir kuvvete maruz kaldıklarında farklı davranışlar sergilediği görülmektedir. Bu davranışın nedeni, sönümleme oranı ve hareket mekanizması gibi bazı faktörlerin, farklı vücut parçaları için farklı olmasıdır. Vücut parçaları, birbirine eklemlerle bağlanır. Vücut parçalarına ait RMS değerleri, bu eklemlerin izin verdiği hareketlerden dolayı değişebilmektedir. Bu nedenle, simülasyon sırasında vücut parçasının hareket mekanizmasına dayalı olarak, doğru eklemi seçmek ve vücudun fiziksel davranışını hafifletmek önemlidir. Uygulanan 24 farklı pik dikey patlatma ivmesinden her bir vücut parçası için elde edilen RMS değerlerine ait grafikler aşağıda verilmektedir.



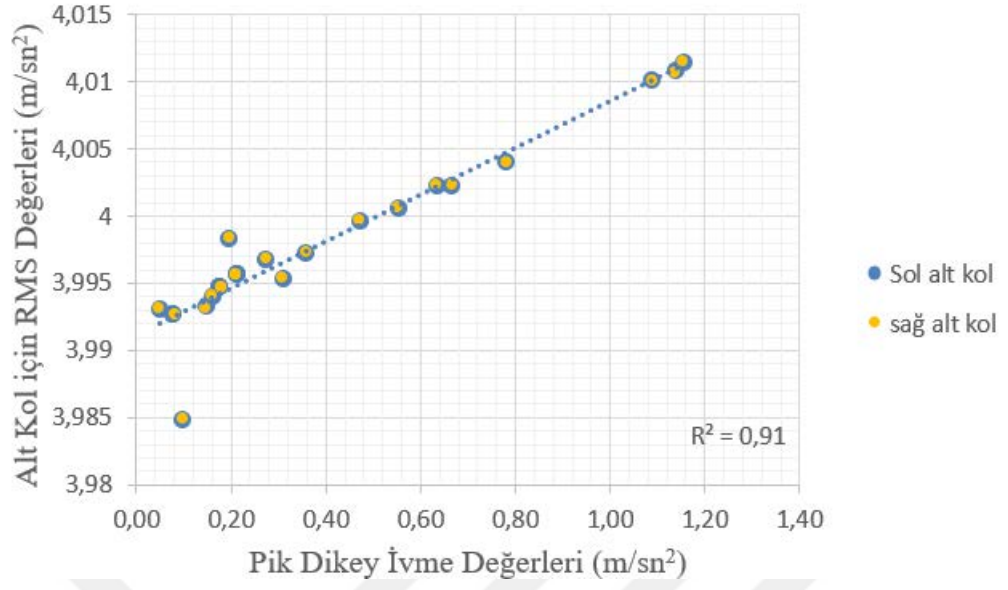
Şekil 5.7 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile baş bölgesinde meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



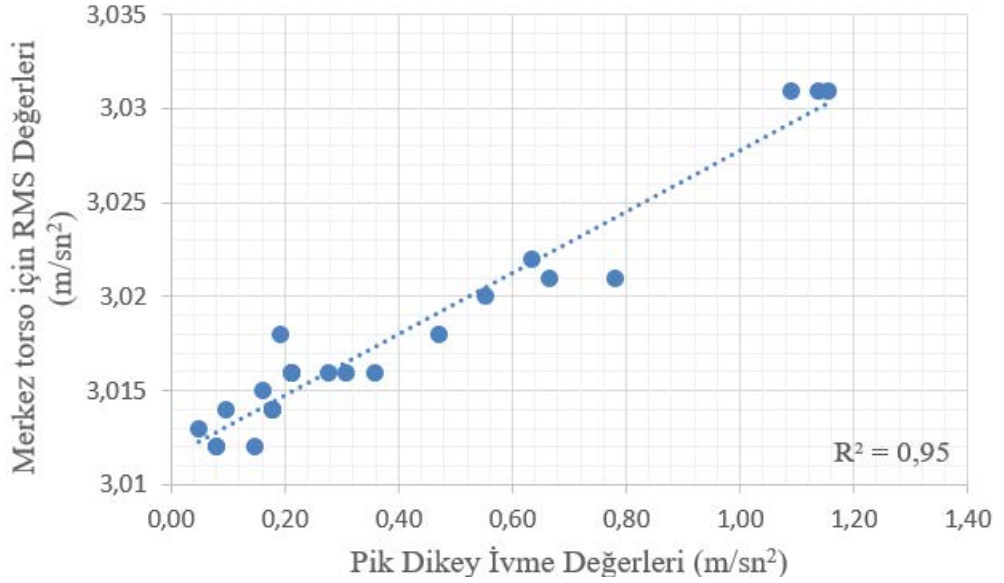
Şekil 5.8 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst tordsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



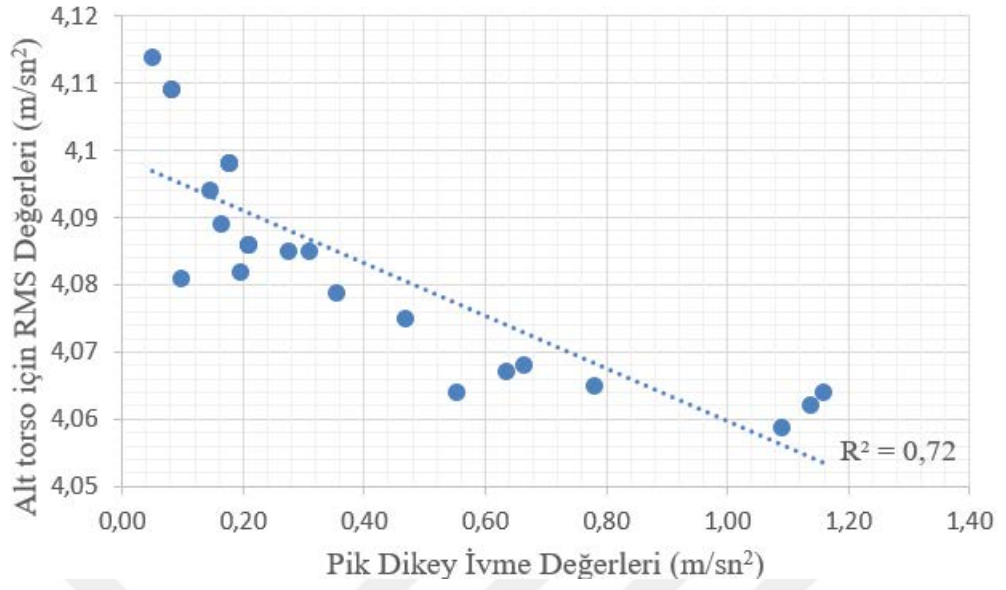
Şekil 5.9 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst kolda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



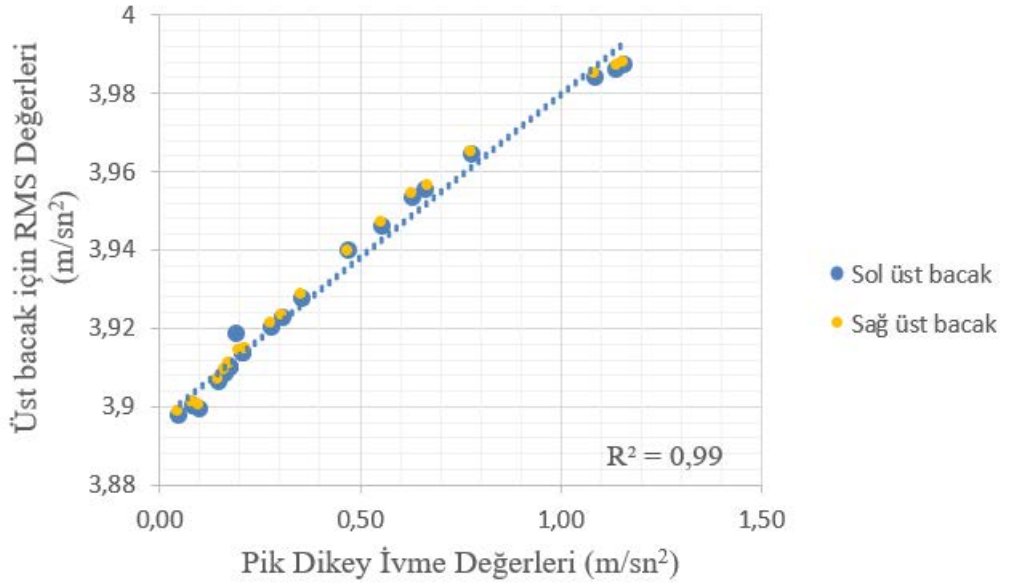
Şekil 5.10 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt kolda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



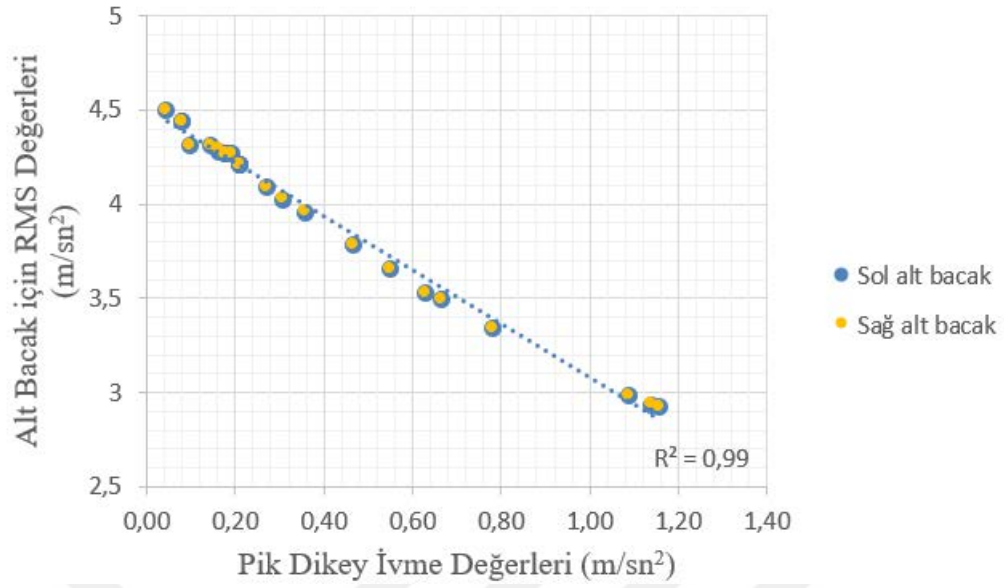
Şekil 5.11 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile merkez torsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



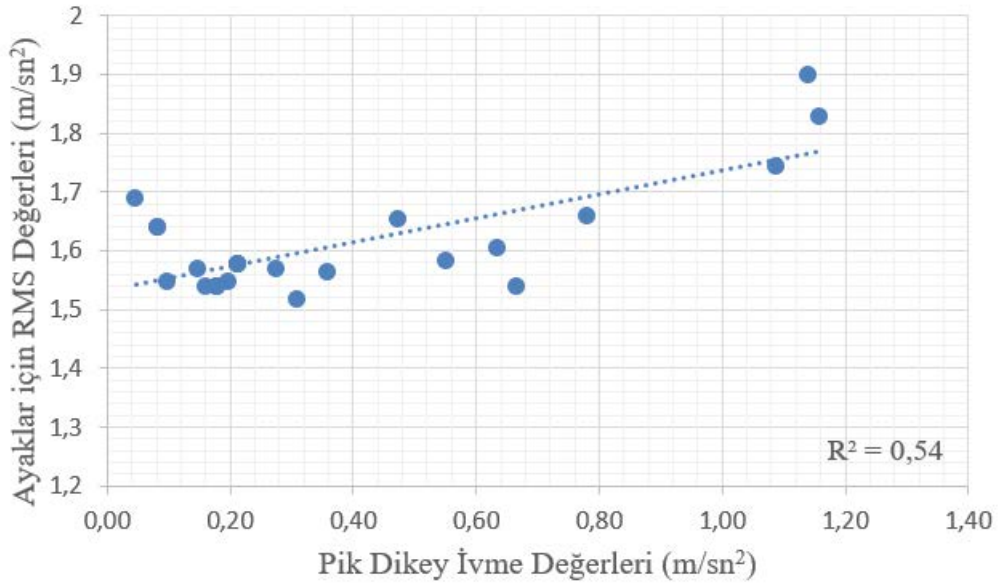
Şekil 5.12 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt torsoda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.13 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile üst bacakta meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.14 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile alt bacakta meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.15 Çalışma Sahası-1 patlatma ölçümlerinden elde edilen dikey yönlü ivme değerleri ile ayaklarda meydana getirdiği RMS değerleri arasındaki ilişki

Sonuçlardan da görüldüğü gibi, simülasyon modeli üzerine uygulanan kuvvetler 5 kat artmasına rağmen, insan vücudunun anatomisi nedeniyle RMS değerindeki değişiklikler çok küçüktür. Fakat uygulanan dikey ivme değerindeki artış, baş

bölgesinde, kollarda, üst ve merkez torso ile üst bacaklarda oluşan RMS değerinde artışa neden olmaktadır. Yani, aralarında doğrusal bir ilişki vardır (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.13). Öte yandan, alt torso ve alt bacaklarda uygulanan kuvvet ile verilen tepki arasında ters ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5.12 ve Şekil 5.14). Bu durum, eklemlerin iletiminden ve sönümleme oranlarından kaynaklanabilir. İnsan vücudu parçaları birbirine bağlı olduğundan iletim yapmakta fakat aynı şekilde tepki vermemektedir. Şekil 5.15'te ise uygulanan dikey kuvvete karşılık, ayakların verdiği tepki görülmektedir. Aralarındaki ilişki doğrusal olmayıp, ilk kuvvet aldığı anda yüksek bir RMS değeri elde edilmiş, sonrasında 0,5 m/sn<sup>2</sup> kuvvete kadar tepki aynı düzeyde kalmış ve 0,5 m/sn<sup>2</sup> kuvvetten sonrasında meydana gelen artış, doğrusal olarak ayaklarda meydana gelen RMS değerini de artırmıştır.

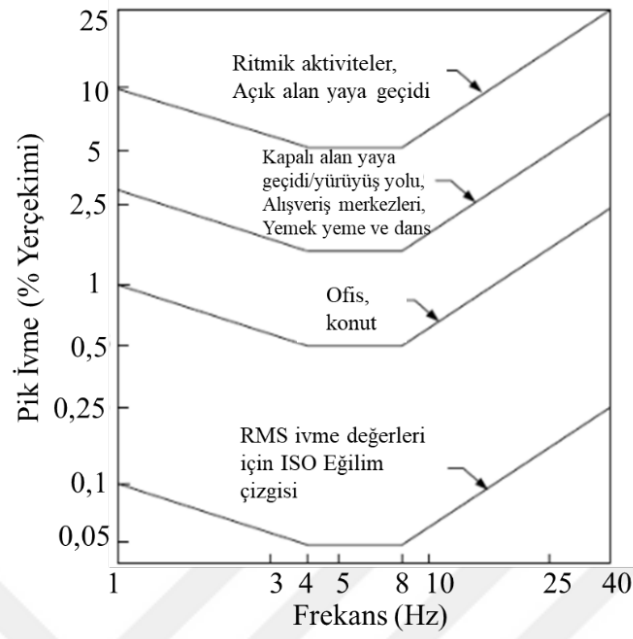
Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği (2010) Ek II 5.maddesinde “Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak çevresel titreşimler ve inşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratacak operasyonlar ile ağır inşaat makinelerinin neden olacağı titreşimler; en yakın çok hassas kullanımların dışında zeminde ve üç yönde yapılır. Bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler tepe değeri olarak ölçülür. Konut ve ofis olarak kullanılan binalarda, makine ve teçhizatın (elektrik motoru, pompa, fan ve benzeri) neden olacağı titreşimler ile çok hassas kullanımların yakınında bulunan demir yolu ve kara yolu ulaşım araçları ile sanayi tesislerinin çok hassas kullanımlarda yaratacağı titreşimler ise; titreşimin en fazla olduğu odada ve noktada üç yönde yapılır ve en yüksek değer esas alınır. Titreşimler RMS değeri olarak ölçülür.” ifadesi yer almaktadır. Titreşimin insan vücuduna fiziksel etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar, mekanik titreşimleri kapsadığı için RMS değerleri kullanılmaktadır. Patlatmanın insan vücudundaki etkisini belirlemeye yönelik benzer bir simülasyon çalışması yapılmadığı için, fiziksel etkinin belirlenmesi amacıyla, patlatma titreşimlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan tepe titreşim hızı (PPV) yerine, RMS değeri ile değerlendirme yapılmıştır. Tepe hız değeri kullanılarak yapılan değerlendirmeler patlatma titreşimlerinin psikolojik etkilerinin araştırıldığı anket çalışmaları ile ilişkilendirilmiştir.



Sonuç olarak, simülasyon çalışması ile patlatma titreşimlerinin insan vücudu üzerindeki etkilerini gözlemlemek mümkündür. İnsan vücudu birbirine eklemlerle bağlı uzuvlardan meydana geldiği, her uzvun farklı doğal frekans değerleri olması sebebiyle ADAMS / Postprocessor'den her bir vücut parçası için 24 farklı senaryoya göre (24 farklı titreşim ivme değerine göre) RMS değerleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde farklı vücut parçalarında zamana bağlı RMS değeri değişiminin farklı olduğu görülmüştür.

İnsan vücudu, her eksen ve frekanstaki harekete farklı tepki verir. Bu nedenle, her tür hareketin performans üzerinde farklı etkileri vardır (Griffin, 1992; Parsons, Whitham ve Griffin, 1979; Woodson, Tillman ve Tillman, 1992). Bunlardan dikey eksen en rahatsız edici olanıdır. Böyle kabul edilmesinin sebebi kafanın dikey eksende serbestçe Griffin, (1992)' ye göre 2 ila 10 Hz aralığında, Wasserman (1987)' ye göre de 4-8 Hz aralığında özellikle de 5 Hz olarak bildirilen frekanslarda rezonansa girmesidir. Harris ve Piersol (2002)'ye göre de ayakta duran kişiler için rezonans 6 ile 12 Hz arasında meydana gelmektedir. Ofislerdeki veya konutlardaki kişiler "belirgin biçimde algılanabilir" titreşimlere (yerçekimi ivmesinin yaklaşık %0,5'i) olumsuz tepki verirken, bir faaliyete katılanlar yaklaşık 10 kat daha fazla titreşimi kabul edebilmektedir (Murray, Allen ve Ungar, 1997). Anlatılan konunun daha anlaşılır olması bakımından Şekil 5.16'te adı geçen ivme kriterlerini gösterir grafik verilmiştir.

Model üzerine uygulanan patlatma titreşimlerine ait dikey ivme değerlerinin maksimum değeri  $1,15 \text{ m/s}^2$  ( $\sim 0,12 \text{ g}$ ) ve ortalama ise  $0,4 \text{ m/s}^2$  ( $\sim 0,04 \text{ g}$ )' dir. Frekans değerleri ise minimum 5 Hz olup ortalama 19 Hz'dir. Bu durum patlatma yakınında kendi evlerinde bulunan kişiler açısından yorumlandığında, frekans değerleri de göz önüne alınarak  $0,04 \text{ g}$  ortalama ivme değerinde titreşimin algılanabilir olmasının yanı sıra, insanları rahatsız edeceği durumu göz önüne alınmalıdır. Çalışma sahasından elde edilen frekans değerleri ve ivme değerleri baz alındığında insan vücudunu meydana getiren parçalardan da bu ivme değerlerine karşılık bir RMS değeri elde edildiği de göz önüne alınarak, insanların fiziksel olarak bu titreşimleri hissettiği ve çok düşük ivme değerlerinde frekansa bağlı olarak titreşimleri tolere edemeyecekleri sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.16 Aktivitelere bağlı ivme kriterleri (ISO 2631-2: 1989, 1997, 2013; Saidi, Haritos, Gad ve Wilson, 2006)

## **BÖLÜM ALTI**

### **ANKET VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

#### **6.1 Giriş**

Tez kapsamında iki farklı sahada gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, gönüllü kişilerin katılımıyla gerçekleşen anket uygulamalarından sağlanan veriler ile arazi ölçümlerinden elde edilen titreşim verileri arasındaki ilişki, bu bölümde değerlendirilmiştir.

Öncelikle tez çalışması için geliştirilen anketin pilot çalışma yapılarak güvenilirliği test edilmiştir. Anketin güvenilirliği kanıtlandıktan sonra, detayları bölüm 4'te verilen çalışma sahalarından 228 adet anket verisi elde edilmiştir. Anketlerin istatistiksel analizi yapılmış, daha sonra bileşke parçacık hızı ile verilen cevaplar arasındaki ilişki araştırılmıştır. Veri değerlendirme aşamaları aşağıda verilmektedir.

#### **6.2 Anketin Psikometrik Çözümlemesi**

Anket çalışmada insanların psikolojik özelliklerine ölçekler geliştirilerek, bu ölçeklere sayısal değerler verildikten sonra insanların arasındaki psikolojik farklılıklar ortaya konmaktadır. Anket geliştirilirken güvenilirlik ve geçerlilik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bir anketin ölçmeyi planladığı konuyu hep aynı şekilde ölçmesi güvenilirliktir. Söz konusu anket, tutarlı olarak geçici içsel veya dışsal şartlardan etkilenmeden aynı tespitleri yapabilmelidir. Bir anketin geçerliliği ise, anket içeriğinin yapılan araştırma amacına ne kadar uygun hazırlandığıyla alakalıdır. Diğer bir ifadeyle, geçerlilik, bir anketin ölçmeyi planladığı konunun/konuların ölçülebilmesidir. Araştırmanın amacına yönelik olarak hazırlanan anket uygulamaya geçilmeden önce tutarlılığı ve ölçtüğü konuya uygunluğu test edilmelidir. Böylelikle olası hatalar bertaraf edilerek anket iyileştirilebilmektedir. Anketin test edilmesi için büyük bir gruba uygulamak yerine, büyük gurubu temsil edecek daha küçük bir grupta uygulama yapılabilmektedir. Teste katılanların anket formu ve sorular hakkındaki eleştiri ve görüşleri istenmelidir. Yapılan testin sonucunda ankette anlamı açık

olmayan sorular belirlenir, eksik yada yanlış olan sorular anketten çıkarılır yada soru düzeltilir. Ayrıca test sonucu elde edilen bilgiler analiz edilerek, istenilen sonuçlara ulaşıp ulaşılamayacağı değerlendirilerek anket formunda gerekli değişiklik yapılmalıdır (Oğur ve Tekbaş, 2003). Tez çalışmasında kullanılacak olan anket formu hazırlandıktan sonra, ölçekte kullanılan dilin anlaşılabilirliğinin tespit edilmesi için konusunda uzman kişiler tarafından gözden geçirilmiş, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra anket test edilmiş, böylece ölçüğe son hali verilmiştir. Tez çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilen anket Tablo 3.1’de verilmektedir. Geliştirilen anketin güvenilirliğinin belirlenebilmesi için pilot çalışma gerçekleştirilmiş, içsel tutarlılık güvenilirliği alfa katsayısı (Cronbach alfası) hesaplanarak bulunmuştur. Anketin güvenilirliği kanıtlandıktan sonra, iki farklı sahadan toplam 228 anket elde edilmiştir. Bu anket verileri kullanılarak verilen yanıtlar ölçeklere göre değerlendirilmiş, multiordinal lojistik regresyon yöntemi kullanılarak hava şoku ve titreşimin rahatsızlık üzerindeki etkileri belirlenmiş ve ayrıca cinsiyetin patlatma kaynaklı titreşimlerin algılanmasında etkisinin olup olmadığının belirlenmesi için bağımsız T-testi analizleri yapılmıştır.

### **6.2.1 Güvenilirlik Analizi**

Arazi çalışmalarından elde edilecek anketlerin analiz edilmesinden önce, ankette bulunan ve titreşim algısı ile alakalı, 4’lü Likert ölçeğine göre hazırlanmış olan iki sorunun tutarlılık derecesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen anket kullanılarak, ana çalışma öncesi pilot çalışma yapılmıştır. Likert tipi iki sorunun birbirleri ile ilişkili olup olmadığı ve kullanılan ölçeğin güvenilir olup olmadığını belirlemek için güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürde farklı güvenilirlik tipleri mevcut olup bunlar; Test-tekrar test güvenilirliği, İçsel tutarlılık güvenilirliği ve Yarıya-bölüm güvenilirliğidir. Tez kapsamında güvenilirlik analizi için içsel tutarlılık güvenilirliği Cronbach alfa katsayısı SPSS istatistik yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Cronbach alfa katsayısı, sorular/maddeler arasındaki korelasyona dayanarak soruların/maddelerin benzerliklerini ve yakınlıklarını ortaya koyan bir katsayıdır.

Güvenilirlik katsayısını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen pilot çalışma Çalışma Sahası-1’de uygulanmıştır. Bu kapsamda 5 patlatmadan 23 adet anket elde edilmiştir ve bu pilot anketler için %95 güven aralığı seçilerek güvenilirlik testi yapılmıştır. SPSS istatistik yazılımı, güvenilirlik analizi için birçok farklı tablo üretmiştir. Tablo 6.1 SPSS yazılımdan elde edilen Cronbach alfa katsayı ve proses özetini göstermektedir. Tablo 6.2 ise 23 anketin soru/madde istatistiğini göstermektedir.

Tablo 6.1 SPSS yazılımdan elde edilen proses özeti ve Cronbach alfa katsayı

Durum	N	%	Cronbach Alfa Katsayısı	Madde (Soru) Sayısı
Geçerli	23	100	0,785	2
Geçersiz	0	0		
Toplam	23	100		

Tablo 6.1’de N olarak yapılan tanımlama öge sayısını ifade eder, yani bu işlemde 23 adet değişkenin bulunduğunu ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile, bu proses 23 farklı anket anlamına gelen tüm değişkenlere dayanmaktadır.

Tablo 6.2’de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ilk sorunun ya da maddenin ikinci soruya/maddeye göre daha yüksek bir ortalama değere sahip olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, katılımcıların anket cevaplarına göre rahatsızlık derecesi, titreşim şiddetinin sınıflandırılmasından daha düşüktür. Farklı bir ifadeyle hissettikleri titreşimi şiddetli bulan bireyler aynı titreşimi rahatsızlık verici olarak değerlendirmemişlerdir.

Tablo 6.2 23 ankete ait madde/soru istatistiği

	Ortalama	Standart Sapma	N
<b>Hissettiğiniz sarsıntının şiddetini sınıflayabilir misiniz?</b>	3,1739	0,5762	23
<b>Bu titreşim sizi ne kadar rahatsız etti?</b>	2	1,2792	23

Tablo 6.1’de görüldüğü üzere, Cronbach Alfa katsayısı %78,5 olarak bulunmuştur. Bu katsayı uygulanan anketteki iki soru açısından, iç tutarlılık düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir (Öngen ve Konak, 2018; Öngen, Konak ve Karakuş, 2018).

Araştırmacılar, Cronbach Alpha katsayısı için yaygın olarak kabul edilen sınır değerinin 0,70 olması gerektiğini öne sürmektedir. Bu durum, anketin güvenilir olabilmesi için bu istatistiki değerin %70'e eşit veya daha yüksek olması gerektiği anlamına gelir (Hair, Black, Babin ve Anderson, 2010; Jain ve Angural, 2017; Kitchenham ve Pfleeger, 2003; Nunnaly, 1978; Siegle, 2018; Tavakol ve Dennick, 2011). Bu bilginin ışığında, pilot anket çalışmasından elde edilen Cronbach alfa katsayısı değerlendirildiğinde, araştırmanın güvenilir olduğu görölmektedir. Anketin güvenilirliği kanıtlandıktan sonra, tez kapsamında yapılacak çalışmalar için kullanımı uygun görölmüştür.

### ***6.2.2 Anket Sorularına Verilen Yanıtların İncelenmesi***

İnsanlar titreşimlere farklı tepkiler verirler. Bazı insanları rahatsız eden titreşimler diğerlerini rahatsız etmeyebilir. Aynı zamanda, farklı etkiler yaşayan insanların yüzdesi ile titreşim hızı arasında açık ve sistematik bir ilişki vardır. Bu ilişki insan tepkilerinin istatistiksel analizleri ile belirlenebilir ve maruziyet-etki ilişkisi kurulabilir (Lusk, 2006).

Woodroof ve Griffin (1987) anket çalışmalarında öncü çalışmalardan biri olan titreşimlere insan tepkisinin araştırıldığı bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında demiryollarına yakın olan binalarda titreşim ölçümleri yapmışlar ve bu binalarda yaşayan insanların, demiryolunda oluşan titreşimlerden kaynaklı rahatsızlık derecesini belirlemek için de anket çalışması yapmışlardır.

Howard ve Griffin (2008) konut ortamında titreşimlere insan tepkisinin belirlenmesi için sosyal anket geliştirmişlerdir. Ankete verilen cevapların istatistiksel analizlerinin, cevapların güvenilirliğini test edebildiğini ve öznel cevaplar ile titreşim maruziyetinin nesnel ölçümleri arasındaki ilişkileri inceleyebileceğini ifade etmişlerdir. Tek bağımlı değişkenler ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkileri incelemek için basit lojistik regresyon (tek değişkenli analiz) ve çoklu lojistik regresyon (çok değişkenli analiz) yapılabileceğini belirtmişlerdir.

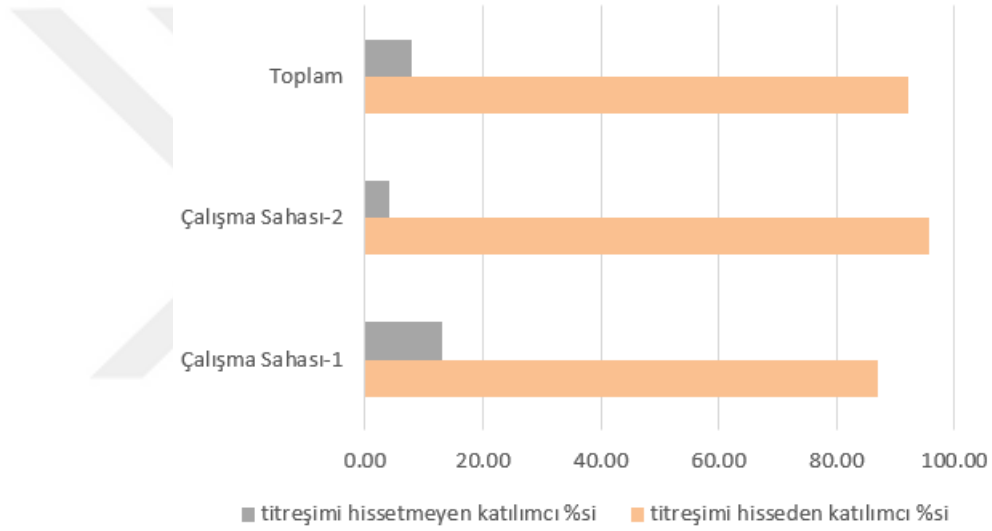
Patlatma kaynaklı titreşime insan tepkisinin belirlenmesi için, Lusk (2006) bir taş ocağında yakınında bulunan farklı mahallelerde yaşayan insanlarla, patlatmalara maruz kalmayan kontrol grubuyla, mühendislerle, patlatma operasyonlarında çalışan teknik personellerle ve kamu personelleriyle anket çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bu sayede beş farklı anket havuzu elde etmiştir. Anketlerden elde edilen veriler tanımlı istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle anket sorularının güvenilirliği Cronbach Alfa ve Split-Half güvenilirlik katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra, beş anket havuzunda her soru için ortalama konfor değerleri hesaplanmıştır. Bu ortalama değerleri kullanarak anket havuzlarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre teknik alt yapısı olan insanlar, diğer gruplara göre kendini daha rahat hissetme eğilimi göstermiştir. Ayrıca, ocak yakınında bulunan mahalle sakinleri ile olumlu ilişkilerin taşocağı operasyonları açısından önemli olduğunu vurgulamıştır.

Bu tez kapsamında, patlatma kaynaklı titreşimlerin algılanmasında, cinsiyetin etkisini belirlemek için iki farklı sahada yapılan anket çalışmaları kullanılmıştır. Yaşları 20 ile 30 arasında olan gönüllü katılımcılar, patlatma bölgesinden 83 ile 765 metre aralığında yerleştirilen jeofonların yakınında konumlandırılmışlardır. Farklı mesafeler seçilmesinin sebebi, anlık patlayıcı miktarına da bağlı olarak farklı bileşke parçacık hızları elde etmektir. Bu katılımcılar, titreşim kaydı alınırken titreşimi hissetme ve maruz kalma ile ilgili ankete tabi tutulmuşlardır. Gönüllü katılımcıların %43'ü kadınlardan oluşmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşim ölçümü gerçekleştirilirken, jeofon yakınında eş zamanlı olarak gönüllü katılımcılara uygulanan anket sonuçları SPSS yazılımı kullanılarak istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında hazırlanan anket ile toplanan veriler kullanılarak, cinsiyetin insanların patlatma titreşimine verdiği tepki üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Cinsiyetin etkisini belirlemek ve insan algısını yakalamak için iki çalışma sahasındaki tüm patlatma olaylarında aynı anket uygulanmış, patlatma kaynaklı titreşimler kaydedilirken eş zamanlı olarak anket çalışmaları yerinde gerçekleştirilmiştir. İki çalışma sahasında gerçekleştirilen toplam 44 patlatma operasyonundan 228 adet anket

elde edilmiştir. Bu anketlerin 108 adeti Çalışma Sahası-1'den, geriye kalan 120 anket ise Çalışma Sahası-2'den toplanmıştır. Anketin amacı hakkında bilgilendirme notu tüm katılımcılara verilmiştir.

Öncelikle “Bu titreşimi hissettiniz mi?” sorusunun yanıtları katılımcı yüzdesine göre değerlendirilmiştir. Şekil 6.1 katılımcıların cevapları arasındaki farkı göstermektedir. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, “Bu titreşimi hissettiniz mi?” sorusuna evet cevabı veren katılımcılar anketi tamamlamıştır. Diğer bir ifadeyle %92’si titreşimi hissetmiş ve Likert ölçekli sorulara cevap vermiştir.



Şekil 6.1 “Titreşimi hissettiniz mi?” sorusuna verilen cevapların yüzdesel dağılımı

“Bu titreşimi hissettiniz mi?” sorusuna evet cevabı veren 209 katılımcıdan 4’lü Likert ölçeğine göre puanlandırılmış sorulara cevap vermesi istenmiştir. Hissedilen titreşimin şiddetinin sınıflandırılmasına yönelik soruların cevapsal dağılımı Tablo 6.3’te rahatsız etme derecesi ölçeklerinin cevapsal dağılımı Tablo 6.4’te verilmiştir.



Tablo 6.3 Titreşim sınıflandırma ölçeklerine verilen cevapların saha bazında dağılımı

Titreşim Şiddeti Sınıflandırma Ölçeği	Çalışma Sahası-1		Çalışma Sahası-2	
	Katılımcı Sayısı	%	Katılımcı Sayısı	%
Hiç	23	24,5	28	24,3
Düşük	41	43,6	62	53,9
Orta	16	17,0	17	14,8
Yüksek	14	14,9	8	7,0

Tablo 6.4 Rahatsızlık sınıflandırma ölçeklerine verilen cevapların saha bazında dağılımı

Rahatsız Etme Derecesi Ölçeği	Çalışma Sahası-1		Çalışma Sahası-2	
	Katılımcı Sayısı	%	Katılımcı Sayısı	%
Hiç	63	67,0	74	64,4
Düşük	16	17,0	28	24,4
Orta	7	7,5	13	11,3
Yüksek	8	8,5	---	---

### 6.2.3 Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Değerlerinin Rahatsızlık Düzeyine Etkisinin Belirlenmesi

Patlatma kaynaklı titreşim ve hava şoku etkileri insanların rahatsızlık düzeyleri üzerinde etkilidir. Bu etki istatistiksel analizler ile belirlenebilir ve hangi parametrenin rahatsızlık üzerinde daha etkin olduğu ortaya konulabilir. Diğer bir ifadeyle insanların rahatsız olma düzeyini etkileyen faktör veya faktörlere bağlı olarak da patlatma dizaynlarında iyileştirme yapılarak insanların rahatsızlık düzeylerini minimuma indirebilmek için rahatsızlığı etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında titreşim ve hava şoku faktörlerinin etkisinin olasılık olarak analizi yapılmış, rahatsızlık üzerindeki etkileri olabilirlik seviyesinde bulunmuştur. Konu ile ilgili detaylar aşağıda verilmektedir.

İki veya defa fazla değişken arasında ilişki olup olmadığı, varsa bunun derecesi veya birinin bir ölçü birimi değişmesine karşılık, ötekinin değişeceği miktar ya da değişkenlerden birinin, herhangi bir değere öteki değişkenlerden hangi değerlerin tekabül edeceği gibi problemler regresyon analizi ile ölçülebilir. Regresyonda bir veya birkaç sürekli değişken bulunması halinde katsayıların yorumları güçleşir. Günümüzde logit parametrelerin tahmini için bazı istatistik paket programlar

kullanılmaktadır. Doğrusal olasılık analizi koşullu olasılıkların açıklayıcı değişkenle birlikte doğrusal olarak arttığını varsaydığı için mantıksal olarak çekici bir model değildir (İnal, Topuz ve Uçan, 2006). Lojistik regresyon analizi ise, bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olmasını gerektirmez; üstel veya polinom ilişkisi de olabileceğini kabul eder. Lojistik regresyon bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında logit bir ilişki olduğunu varsayar, dolayısıyla lojistik regresyon doğrusal olmayan modeller üretebilir. Bir diğer deyişle lojistik regresyon, doğrusal olmayan ilişkiyi koruyarak, ilişkinin formunu doğrusal hale getiren logaritmik dönüşümler yapar. Lojistik regresyon bağımlı değişkene ilişkin verilerin dağılımının bir ya da daha fazla bağımsız değişkenle doğrusal olmayan ilişki gösterdiğinin bilinmesi ya da beklenilmesi durumunda özellikle yararlıdır (Çokluk, 2010).

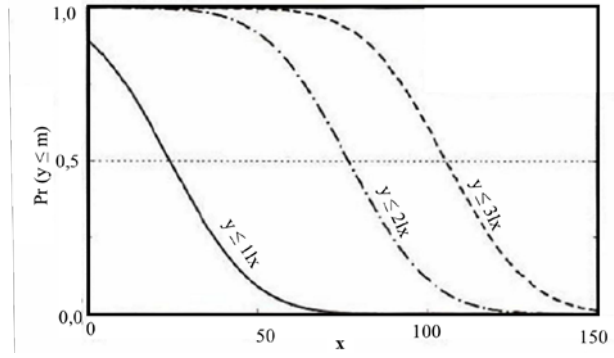
Lojistik regresyon cevap değişkenin kategorik olarak, ikili, üçlü ve çoklu kategorilerde gözlendiği durumlarda açıklayıcı değişkenlerle sebep-sonuç ilişkisini belirlemede yararlanılan bir yöntemdir. Açıklayıcı değişkenlere göre cevap değişkenin beklenen değerlerinin olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama yapmaya yardımcı olan bir regresyon yöntemidir. Lojistik regresyon yönteminde bağımlı değişken üzerinde bağımsız değişkenlerin etkilerinin verilen cevaplara göre olasılık olarak belirlenmesine yardımcı olur (Özdamar, 2009). Eşit aralıklı olmayan düşükten yükseğe doğru düzenlenmiş sıralı kategorilere sahip bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde en uygun regresyon tekniği olarak sıralı lojistik regresyon analizi gösterilmektedir.

Yukarıda sayılan bilgilerin ışığında, yapılmış olan anket çalışmasına uygun olacak şekilde, yani hava şoku ve parçacık hızının sürekli bağımsız değişken olması ve incelenen yanıtların yani rahatsızlık düzeylerinin (hiç, düşük, orta ve yüksek) de 4 sıralı (kategorik) bağımlı değişken olması sebebiyle sıralı lojistik regresyon analizi kullanılarak iki bağımsız değişkenin rahatsızlık üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Diğer bir ifade ile, sürekli bağımsız değişkenlere (hava şoku ve parçacık hızı) göre bağımlı değişkendeki (rahatsızlık) olası etkiler olabilirlik düzeyinde ortaya konulmuştur.

Sıralı lojistik regresyon analizi normallik ve sabit varyans varsayımını gerektirmeden, açıklayıcı sıralı kategorik değişken üzerindeki etkilerini açıklamak için bağlantı fonksiyonu kullanır. Regresyon katsayısının değeri sıralı kategorik değişkeninin kategorilerine bağlı olmadığından dolayı, sıralı lojistik regresyon modeli bağımsız değişken ile sıralı kategorik değişken arasındaki ilişkinin kategoriden bağımsız olduğunu varsayar (Chen ve Hughes, 2004). Model gözlemlenebilir bir kategorik değişkenin altında gözlemlenemeyen bir gizli değişken olduğu varsayımına dayanır. Lojistik regresyonda model kestiriminde en küçük kareler (ordinary least square) yöntemi yerine, en çok olabilirlik (maximum likelihood) yöntemi kullanılır. Sıralı lojistik regresyon modelinin elde edilmesinde beş temel bağlantı fonksiyonu kullanılmaktadır. En çok kullanılan fonksiyonlar ise logit, probit, ve cloglog fonksiyonlardır (Long, 1997).

Bağımsız sürekli değişkenler hava şoku ve bileşke parçacık hızı (PPV) değeri, sıralı bağımlı değişken de rahatsızlık düzeyleri olarak SPSS programında tanımlama yapılmış, en çok olabilirlik yöntemi kullanılarak kestirim yapılmış, bağlantı fonksiyonu ise logit olarak seçilmiştir. Logit model, bağımsız değişken değeri sonsuza gittiğinde, bağımlı değişkenin 1'e asimptot olduğu matematiksel bir fonksiyondur. Bağlantı fonksiyonu sıralı lojistik regresyon modelini güçlü paralel eğriler varsayımı (Şekil 6.2) altında oluşturmak için kullanılır.

Elde edilen bilginin doğruluğu ve güvenilirliği için bu varsayımın sağlanması şarttır (Ayhan, 2006). Bu araştırmada paralel eğriler varsayımının geçerliliğini kontrol etmek için Wald Ki-kare testi kullanılmıştır. Üç kategorili (1, 2, 3) olarak cevaplandırılan rahatsızlık durumu için bağımlı değişkenin ölçeğinde en yüksek değer referans olarak alınıp, bu referansa göre logit model üretilmiştir.



Şekil 6.2 Paralel eğriler varsayımı (Ayhan, 2006)

Bu varsayım için iki hipotez kurulmuştur. Bunlardan ilki  $H_0$  hipotezi olup, ilişki regresyon katsayılarının bağımlı değişken olan rahatsızlık düzeylerinin tüm kategorilerinde aynı olduğunu, ikinci hipotez  $H_1$  ise ilişki regresyon katsayılarının rahatsızlık düzeylerinin tüm kategorilerinde farklı olduğunu ifade etmektedir. Rahatsızlık düzeyini belirleyen dördü kategoriye sahip bağımlı değişken için 3 adet birikimli olasılık eğrisi elde edilir. %50 olasılığında Eşitlik 6.1’de gösterildiği gibi 3 olasılık eğrisinin değerleri birbirine eşitliği sağlandığında regresyon eğrilerinin birbirine paralel olma koşulu da sağlanmış olur.

Anket çalışmalarından elde edilen rahatsızlık düzeyleri (bağımlı değişken) ile arazi ölçümlerinden elde edilen hava şoku ve PPV değerleri (bağımsız değişken) SPSS pogramında analiz edilmiş, paralel eğriler testi Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5 Paralel eğriler testi

Model	-2 Log olabilirlik	Ki-kare	Standart sapma	Sig. (P) değeri
Sıfır hipozeti ( $H_0$ )	65,357	4,897	2	0,086
Genel	60,460			

Elde edilen Sig. (P) değeri  $0,086 > 0,05$  olduğu için, paralel eğriler varsayımı sağlanmıştır. Modelin uygunluğunu belirlemek için ise Pearson Ki-kare istatistiği ve sözde  $R^2$  değeri kullanılmıştır. Pearson ki kare test sonuçları Tablo 6.6’da verilmektedir.

Tablo 6.6 Model uygunluğu için Pearson ki-kare testi sonuçları

	Ki kare	Serbestlik derecesi (df)	Sig. (P) değeri
Pearson	61,87	48	0,086
Sapkinlık	39,80	48	0,794

Pearson ki kare testi sonucunda elde edilen p değeri 0,05 değerinden büyük olduğundan dolayı logit bağlantılı sıralı lojistik regresyon modelinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen Nagelkerke Sözde R<sup>2</sup> değeri de 0,59 olarak bulunmuştur. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade etmesine rağmen standart R<sup>2</sup> değerleri ile aynı yorumu vermez. Parametre tahminleri ise Tablo 6.7’de verilmektedir.

Tablo 6.7 Modele ait parametre tahminleri

		Tahmin (β)	Std. Hata	Wald	df	P değeri	%95 Güven Aralığı	
							Alt sınır	Üst sınır
Eşik değeri	Y=1	4,182	0,639	42,906	1	0,0	2,931	5,434
	Y=2	8,596	1,345	40,847	1	0,0	5,960	11,232
Hava Şoku	X1	0,205	0,054	14,464	1	0,0	0,099	0,311
PPV	X2	1,087	0,210	26,786	1	0,0	0,675	1,499

Tablo 6.7’de p değerine bakıldığında bu değer seçilen alfa değeri 0,05’ten küçük olduğu için modelde bağımsız değişkenler istatistiksel olarak anlam bulunmuştur. Bu eşik değerler bağımlı değişkenin farklı kategorilerinin olasılık değerlerinin hesaplanmasında kullanılır.

Bu tabloyu yorumlamak için logit tahmin (regresyon) değeri kullanılır. Lojistik regresyon sonucu elde edilen sonuç modeli doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Lojistik regresyonda önemli olan logit katsayısıdır (β). Logit odds oranının doğal logaritmasıdır. Odds iki sonuçtan birinin ortaya çıkma oranını ifade etmektedir yani bir olayın olma olasılığının olmama olasılığına oranı olarak tanımlanır

Tablo 6.7’de tahmin sütununda verilen değerler sıralı log-odds (logit) regresyon katsayılarıdır. logit katsayısının standart yorumunda, tahmin edicideki bir birim artış

için cevap değişken seviyesinin, logit regresyon katsayısı ( $\beta$ ) ile değişmesi beklenirken, modeldeki diğer değişkenler sabit tutulur. Bu değer pozitif ya da negatif olması bağımsız değişkende meydana gelen değişimlerle ilişkili olarak bağımlı değişkendeki değişimleri ifade eder. Hava şoku ve PPV'ye ait logit regresyon katsayıları pozitif olduğundan bu iki değerde birbirinden bağımsız olarak olacak bir birim artış, rahatsızlık üzerinde de artışa neden olacaktır. İlişkinin hangi yönde olacağını belirlemek için kullanılan bu katsayılar bir birimlik değişimin, gerçekte olasılıkta ne kadarlık bir değişme meydana getireceğini belirtmez

Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için odds oranından ( $\exp(\beta)$ ) yararlanılabilir. SPSS programında bulunan  $\beta$  değerinin exponansiyeli alınarak odds oranları bulunabilir. Buna göre, parçacık hızının ( $X_2$ ) rahatsızlığı etkileme olasılığının etkilememe olasılığına oranı ( $Odds_{PPV}$ ) 2,96 ve  $Odds_{Havaşoku}$  1,09 olarak bulunur. Sürekli bağımsız değişkenlerde meydana gelecek bir birimlik değişimin bağımlı değişkenin üstünlük oranında ne kadarlık bir artış meydana getireceğini anlamak için Eşitlik 6.1 (Long ve Freese, 2000; Emeç, 2002) kullanılarak yüzde olabilirlik oranı bulunur.

$$Olabilirlik\ oranı = \exp(\beta - 1) * 100 \quad (6.1)$$

Sonuçta bir bağımsız değişken sabit tutulduğunda diğerinin bağımlı değişken üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Buna göre, PPV değerindeki artışın rahatsızlığı arttırmaya etkisi %92 iken, hava şoku değerindeki artışın rahatsızlığı etkileme oranı ise %45'tir. Hava şoku etkisiyle kıyaslandığında PPV değerinin etkisi rahatsızlığın üzerinde çok daha etkindir.

#### **6.2.4 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Algılanmasında Cinsiyetin Etkisinin Belirlenmesi**

Anket sorularına verilen yanıtlar, tanınmış istatistiksel yöntemlerden biri olan bağımsız T-testi kullanılarak analiz edilmiştir. Verilen cevaplara göre, iki sorunun ortalama puanları alınarak gruplar arasında karşılaştırma yapmak için

değerlendirilmiştir. Böylece, cinsiyet ve titreşim algısı arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı analiz edilmiştir. Bu karşılaştırma için iki hipotez önerilmiştir. H0 olarak tanımlanan ilk hipotez, katılımcıların cinsiyetlerine göre patlatma kaynaklı titreşim algısında anlamlı bir fark olmadığıdır. H1 olarak tanımlanan ikinci hipotez ise ilkinin tam tersidir, yani, katılımcıların cinsiyetlerine göre patlatma kaynaklı titreşim algısında anlamlı bir fark olduğudur. Bağımsız T-testi analizleri SPSS yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve Çalışma Sahası-1, Çalışma Sahası-2 ve her iki sahadan alınan anketlerin birlikte değerlendirildiği genel sonuçlar sırasıyla Tablo 6.8, Tablo 6.9 ve Tablo 6.10'da sunulmuştur.

Tablo 6.8 Çalışma Sahası-1'den elde edilen anket sonuçlarının bağımsız T-testi analizi

		Levene Testi (Varyansların Eşitliği İçin)		T-testi (Ortalamaların Eşitliği İçin)						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Ortalama Fark	Std. Hata Farkı	95% Güven Aralığı	
									Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama	Varyanslar eşitse	9,17	0,003	2,873	83,000	0,0050	0,56743	0,19747	0,17467	0,96019
	Varyanslar eşit değilse			2,598	43,646	0,0130	0,56743	0,21838	0,12721	1,00764

Tablo 6.9 Çalışma Sahası-2'den elde edilen anket sonuçlarının bağımsız T-testi analizi

		Levene Testi (Varyansların Eşitliği İçin)		T-testi (Ortalamaların Eşitliği İçin)						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Ortalama Fark	Std. Hata Farkı	95% Güven Aralığı	
									Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama	Varyanslar eşitse	0,058	0,81	2,195	113,00	0,030	0,28648	0,13053	0,02788	0,54508
	Varyanslar eşit değilse			2,198	109,43	0,030	0,28648	0,13035	0,02815	0,54481

Tablo 6.10 Her iki çalışma sahasından elde edilen toplam 209 anket sonuçlarının (genel değerlendirme) bağımsız T-testi analizi

		Levene Testi (Varyansların Eşitliği İçin)		T-testi (Ortalamaların Eşitliği İçin)						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Ortalama Fark	Std. Hata Farkı	95% Güven Aralığı	
									Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama	Varyanslar eşitse	2,342	0,127	2,850	203,00	0,005	0,33004	0,11580	0,10171	0,55837
	Varyanslar eşit değilse			2,778	160,02	0,006	0,33004	0,11882	0,09539	0,56469

Bu çalışmada güven aralığı %95 olarak seçilmiş, dolayısıyla alfa değeri %5 (0,05) olarak kullanılmıştır. Levene testi ile varyansların homojenliği test edilerek, hangi Sig. (2-tailed) değerine (P-değeri) bakılacağına karar verilmiştir. Buna göre, elde edilen P-değeri Çalışma Sahası-1'de 0,013, Çalışma Sahası-2'de 0,030 ve genel değerlendirme için 0,005'tir. Bu üç değerde seçilen alfa değerinden küçük olduğu için H0 hipotezi reddedilmiştir. Diğer bir ifade ile analiz sonuçlarına göre, cinsiyet farklılıklarının patlatma kaynaklı titreşim algısını etkilediğinin kanıtı olan H1 hipotezi kabul edilmiştir.

SPSS programı yardımıyla yapılan bağımsız t-testi analizinden elde edilen bir diğer önemli çıktı ise betimsel veriler tablosudur. Her iki çalışma sahası için ayrı ayrı ve aynı zamanda her iki alandan elde edilen verilerin birlikte değerlendirildiği betimsel veriler (Grup istatistiği) tablosu Tablo 6.8'de verilmiştir. Diğer bir ifadeyle Tablo 6.11, ankette bulunan 4'lü Likert ölçeğine göre hazırlanmış iki sorunun, verilen cevap puanlarının ortalamalarını, cinsiyete göre standart sapmasıyla birlikte veren veri tablosudur.



Tablo 6.11 Bölge bazında ve genel değerlendirmede betimsel veri tablosu (grup istatistiği tablosu)

Değerlendirme Tanımı	Cinsiyet	Katılımcı Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Std.Hata Ortalaması
Çalışma Sahası-1	Kadın	33	2,3621	1,04280	0,19364
	Erkek	61	1,7946	0,75545	0,10095
Çalışma Sahası-2	Kadın	52	1,9135	0,69113	0,09584
	Erkek	63	1,6270	0,70120	0,08834
Genel Değerlendirme (İki Saha Birlikte)	Kadın	85	1,9940	0,87824	0,09640
	Erkek	124	1,6639	0,76721	0,06946

Grup istatistiklerinin ortalama değerleri incelendiğinde, kadınların ortalama değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma Sahası-1’de kadınların ortalama puanı 2,3621, Çalışma Sahası-2’de 1,9135, her iki alanın birlikte değerlendirildiği genel durumda ise 1,9940 iken, erkeklerin ortalama puanı sırasıyla 1,7946, 1,6270 ve 1,6639’dur. Yani, kadınların erkeklerden daha yüksek tepki yoğunluğu sağladıkları bulunmuştur.

Görüldüğü gibi, patlatma kaynaklı titreşime verilen tepki, erkekler ve kadınlar için aynı değildir. Şimdiye kadar sunulan istatistiksel analizin sonuçları, cinsiyetin titreşimi hissetmede etkili olduğu ve kadın katılımcıların da patlatmanın neden olduğu titreşimlerin sınıflandırılması ve rahatsız olunması açısından, erkeklere nazaran daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, sonuçlar, kadın katılımcıların patlatma kaynaklı titreşimde erkeklerden daha yüksek bir tepki düzeyine sahip olduklarını göstermektedir.

### 6.3 Anket Verileri ile Bileşke Parçacık Hızı İlişkisinin Araştırılması

Bilindiği gibi madencilik sektörü başta olmak üzere, delme patlatma operasyonları kazı ve üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Patlatma operasyonları sırasında meydana çıkan enerjinin büyük bir kısmı kayayı kırmak için kullanılırken, boşa giden enerji de titreşim yaratmaktadır. Patlatma sırasında meydana gelen titreşimlerin yakında bulunan yapılara etkisini incelemek için titreşim ölçümleri yapılmaktadır. Titreşim ölçümlerinde 3 yönde ivme, frekans ve parçacık hızları ile

bileşke parçacık hızı kayıt altına alınmaktadır. Fakat yapılar için yapılan değerlendirmelerde yaygın olarak bileşke parçacık hızı değerleri kullanılmaktadır. İlgili yönetmeliklerde de izin verilen limit değerler bileşke parçacık hızı cinsinden verilmektedir. Bu durum göz önüne alınarak, madencilik sektöründe bileşke parçacık hızının yaygın olarak kullanılmasından dolayı, tez kapsamında yapılan değerlendirmede bileşke parçacık hızı ile anket verileri arasındaki ilişkinin varlığı araştırılmıştır.

Geliştirilen ankette (Tablo 3.1), titreşime verilen tepkinin araştırılması için Likert ölçeğine göre hazırlanmış iki farklı soru bulunmaktadır. Bu sorular, hissedilen titreşimin şiddetinin sınıflandırılması ve sınıflandırılan titreşimin rahatsızlık derecesinin belirlenmesi amacını taşımaktadır. Bu iki soru değerlendirildiğinde, katılımcıların şiddeti sınıflandırma ve rahatsızlık derecelerine aynı şekilde cevap vermedikleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, titreşim sınıflandırma ölçeğine yüksek diyen bir katılımcı, rahatsızlık derecesini kesinlikle yüksek olarak cevaplandırmıştır denemez. Tablo 6.2’de verilen istatistiksel değerlendirmede, titreşim sınıflandırma sorusunun rahatsızlık derecesi belirleme sorusuna göre daha yüksek bir ortalama değere sahip olduğu belirtilmiştir. Kısacası katılımcılar titreşim şiddetini sınıflandırma ile rahatsızlık derecesi belirlemeye paralel cevaplar vermemiş, anket cevaplarına göre rahatsızlık derecesi, titreşim şiddetinin sınıflandırılmasına verdikleri dereceden daha düşük olmuştur. Bu durumu daha net ifade edebilmek için Tablo 6.12’de her iki soruya ait ölçekler birbiri ile yüzde cinsinden kıyaslanmıştır.

Tablo 6.12 Titreşim şiddeti sınıflandırma ve rahatsızlık dereces i ölçekleri arasındaki çapraz ilişki

		Rahatsızlık Sınıflandırma Ölçeği				
		%	Hiç	Düşük	Orta	Yüksek
Titreşim Şiddeti Sınıflandırma Ölçeği	Hiç		100	---	---	---
	Düşük		77	23	---	---
	Orta		12	55	33	---
	Yüksek		14	9	41	36

Tablo 6.12’de verilen kişi sayıları incelendiğinde, titreşim şiddeti sınıflandırma sorusunda 51 kişi şiddeti hiç olarak sınıflandırmış, bu 51 kişi aynı zamanda rahatsızlık derecesi sınıflandırma sorusuna da beklenildiği gibi hiç olarak cevap vermişlerdir. Fakat diğer ölçekler birbiriyle karşılaştırıldığında farklılıklar olduğu görölmektedir. Titreşim şiddetini düşük olarak sınıflayan kişi sayısı 103 iken, 103 kişiden %77’si düşük olarak sınıflandırdıkları bu titreşimden rahatsız olmazken, %23’ü rahatsızlık derecesini düşük olarak belirtmiştir. Benzer şekilde hissettikleri titreşimin şiddetini orta olarak sınıflandıran 33 kişinin rahatsızlık derecesi belirtmede farklılıklar olduğu görölmektedir. 33 kişinin%12’si orta sınıfta değerlendirdikleri titreşim şiddetinden hiç rahatsız olmazken, %55’i düşük rahatsızlık derecesi ve %33’ü ise orta rahatsızlık derecesi oluşturduğunu belirtmiştir. Son olarak 22 kişi titreşim şiddetini yüksek olarak tanımlamış olup, bunlardan yalnızca %36’sı yüksek şiddetli titreşimin rahatsızlık derecesini de yüksek olarak beyan etmiştir. Bu durum göz önüne alındığında yapılacak değerlendirmelerin soru bazlı olması gerektiği sonucuna varılmış, titreşim şiddeti sınıflandırma limit değerleri ile rahatsızlık derecesi sınıflandırma limit değerleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

### ***6.3.1 Titreşim şiddeti Sınıflandırma Limit Değerlerin Tespiti***

Arazi çalışmalarından elde edilen anket sonuçlarına göre, bileşke parçacık hızı ve titreşim şiddeti sınıflandırma arasındaki ilişki araştırılmıştır. 228 anketten, titreşimi hissedenlerden elde edilen cevapları ölçmek için Likert ölçeği kullanıldığı Bölüm 3’te detayları ile anlatılmıştır. En düşük değer (1) şiddetsiz sınıflandırmasını, en yüksek değer (4) de en şiddetli sınıflandırmasını yapmak için kullanılmıştır.

İnsanların hissettiği patlatma kaynaklı titreşimin sınıflandırılması sorusunun cevapları, önceki başlıklarda verildiği gibi “hiç, düşük, orta ve yüksek” olacak şekilde tanımlanmıştır. Anket analizlerinde sonuçları sayısallaştırmak için kullanılan Likert ölçeği baz alınarak sırasıyla hiç (1), düşük (2), orta (3) ve yüksek (4) olarak puanlanmıştır. Parçacık hızı ile söz konusu parçacık hızına verilen cevaplar arasındaki ilişkiyi araştırmak için de anket verilerinin sayısal olarak tanımlanması gerekmektedir.

Anketin çözümlenmesinin haricinde, Likert ölçeğine ait bu puanlama parçacık hızı ile anket verilerinin karşılaştırılması için de baz alınmıştır.

Katılımcıların alandaki her bir bileşke parçacık hızına (PPV) karşılık olarak verdiği cevaplar Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’ de sunulmuştur. Bu tablodaki her PPV için katılımcıların cevapları, katılımcı sayısına göre % olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6.13 Çalışma Sahası-1 için alınan titreşimi hissetme ve titreşim şiddeti sınıflama katılımcı %’si dağılımı

	PPV (mm/sn)	Titreşimi hissettiniz mi? (%)		Hissettiğiniz titreşimin şiddetini sınıflayabilir misiniz? (%)			
		Evet	Hayır	Hiç (1)	Düşük (2)	Orta (3)	Yüksek (4)
Çalışma Sahası-1	0,798	60	40	0	100	0	
	0,836	80	20	100	0	0	0
	1,15	20	80	100	0	0	0
	1,79	80	20	50	50	0	0
	2,05	100	0	100	0	0	0
	2,08	100	0	100	0	0	0
	2,21	60	40	100	0	0	0
	2,27	100	0	0	0	100	0
	2,69	100	0	0	100	0	0
	2,89	80	20	0	100	0	0
	3,90	100	0	40	60	0	0
	4,21	100	0	0	50	50	0
	4,35	100	0	20	80	0	0
	4,68	100	0	20	80	0	0
	5,05	100	0	0	50	50	0
	5,09	60	40	0	100	0	0
	8,18	100	0	0	0	50	50
	8,99	100	0	0	66	33	0
	10,40	66	33	0	50	50	0
	12,10	100	0	0	50	50	0
12,60	100	0	0	50	50	0	
16,70	100	0	0	0	50	50	
16,90	100	0	0	20	60	20	
17,40	100	0	0	0	0	100	
16,70	100	0	0	0	0	100	
5,80	100	0	0	0	100	0	

Tablo 6.14 Çalışma Sahası-2 için alınan titreşimi hissetme ve titreşim şiddeti sınıflama katılımcı %'si dağılımı

	PPV (mm/sn)	Titreşimi hissettiniz mi? (%)		Hissettiğiniz titreşimin şiddetini sınıflayabilir misiniz? (%)			
		Evet	Hayır	Hiç (1)	Düşük (2)	Orta (3)	Yüksek (4)
Çalışma Sahası-2	2,92	100	0	0	0	100	0
	2,09	100	0	0	50	50	0
	4,88	100	0	0	0	0	100
	2,34	100	0	0	100	0	0
	1,09	100	0	0	66	33	0
	2,59	100	0	0	100	0	0
	0,905	100	0	33	66	0	0
	1,49	100	0	0	100	0	0
	1,48	100	0	0	100	0	0
	1,06	100	0	0	100	0	0
	1,20	100	0	0	100	0	0
	1,52	100	0	0	100	0	0
	1,41	100	0	0	100	0	0
	0,849	100	0	50	50	0	0
	0,742	100	0	100	0	0	0
	2,03	100	0	50	50	0	0
	2,38	100	0	0	0	100	0
	1,52	100	0	50	50	0	0
	1,36	100	0	0	100	0	0
	1,42	100	0	50	50	0	0
	10,10	100	0	0	0	0	100
	0,642	0	100	0	0	0	0
	3,14	100	0	0	50	50	0
0,847	100	0	100	0	0	0	
0,897	100	0	100	0	0	0	
1,77	100	0	0	100	0	0	
3,39	100	0	0	50	50	0	

Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’de verilen bileşke parçacık hızlarına dayanarak, titreşimin sınıflandırılması ile ilgili soruya verilen cevapların yüzdesel dağılımları incelendiğinde, katılımcıların bileşke parçacık hızlarına farklı değerlendirmeler yaptığı görülmektedir. Katılımcıların hiçbiri 0,64 mm/sn değerini hissetmemiştir. Her bir bileşke parçacık hızının şiddetini belirlemek için verilen Likert ölçeği puanlaması kullanılarak, Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’de verilen cevap yüzdeleri ile bir titreşim sınıflandırma katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplama için üretilen eşitlik aşağıda verilmektedir.

$$TSC = [(A \times 1) + (B \times 2) + (C \times 3) + (D \times 4)]/100 \quad (6.2)$$

TSC : Titreşim sınıflandırma katsayısı (Birimsiz)

A : “Hiç” cevabının yüzdesi

B : “Düşük” cevabının yüzdesi

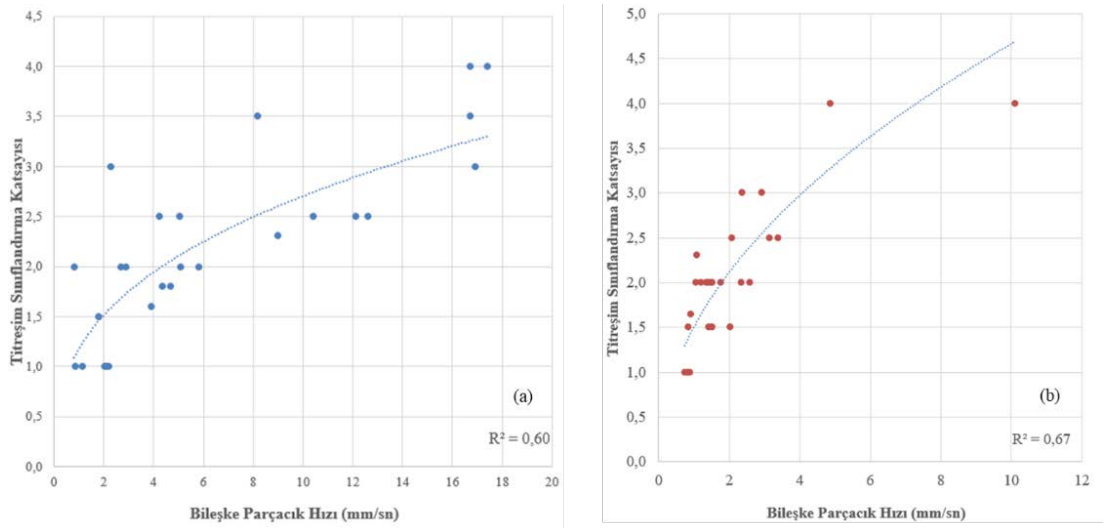
C : “Orta” cevabının yüzdesi

D : “Yüksek” cevabının yüzdesi

1, 2, 3, 4: Likert ölçeğine göre puanlar

Çalışma Sahası-1 ve Çalışma Sahası-2’den ölçülen bileşke parçacık hızları için cevapların yüzdesel dağılımları kullanılarak Eşitlik 6.2 ile titreşim sınıflandırma katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan titreşim sınıflandırma katsayıları ve sahalarda ölçülen bileşke parçacık hızları kullanılarak çizilen grafikler Şekil 6.3 (a) ve Şekil 6.3 (b)’de verilmektedir.

Şekil 6.3 (a)’da verilen grafiğe göre, Çalışma Sahası-1 için bileşke parçacık hızına karşı oluşacak insan tepkisi,  $R^2$  0,60 ile eğilim çizgisi kullanılarak tahmin edilebilir. Aynı şekilde şekil 6.3 (b)’de verilen grafikte, Çalışma Sahası-2 için  $R^2$  0,67 olarak tahmin yapılabilmektedir. Bunun anlamı katılımcıların tepkisine göre bileşke parçacık hızı ve titreşim sınıflandırması arasında anlamlı bir korelasyon olduğudur.



Şekil 6.3 Bileşke parçacık hızı–Titreşim sınıflandırma katsayısı grafiği (a) Çalışma Sahası-1 (b) Çalışma Sahası-2

Şekil 6.3'te verilen grafikler incelenerek yapılan değerlendirme sonucunda, patlatmanın neden olduğu titreşime insan tepkisi limit değerleri, katılımcıların cevapları baz alınarak sınıflandırılmıştır. Ölçülen bileşke parçacık hızları ile ölçüm sırasında elde edilen anket cevapları arasında başka bir değişken (hava koşulları, frekans vb.) olmaksızın ilişki ortaya koyulmuştur. Titreşim sınıflandırma katsayısı hesabı ve yapılan değerlendirmeler çalışma sahası ayırımı yapılmaksızın ele alınmıştır. Böylece geniş bir bileşke parçacık hızı yelpazesi ile birlikte tüm anket sonuçları kullanılmış, titreşim sınıflandırma katsayılarına göre tepki sınır değerleri elde edilmiştir. İnsan tepkisine ait sınır değerler bileşke parçacık hızı cinsinden Tablo 6.15'de verilmiştir.

Tablo 6.15 Titreşim sınıflandırma katsayılarına dayalı insan tepkisi seviyeleri değerlendirmesi

PPV (mm/sn)	Tepki Limit Değerleri (Titreşim Sınıflandırılmasına Dayanılarak)
$\leq 0,90$	Tepkisiz
0,90-2,50	Düşük
2,50-10,0	Orta
$\geq 10,00$	Yüksek

Tablo 6.15'deki sınıflandırmaya göre, insanlar tarafından 0,90 mm/sn ve/veya altındaki titreşim değerleri hissedilse bile, bu bileşke parçacık hızını insanlar titreşim şiddeti açısından bir kategoriye koyamayacak olduklarından, tepkisiz olarak tanımlanabilir. Bu çalışmanın sonucunda 0,9 mm/sn ile 2,5 mm/sn arasındaki bileşke parçacık hızları düşük olarak sınıflandırılmış, 2,5 ile 10,0 mm/sn arasındaki bileşke parçacık hızları, makul yani orta şiddetli kabul edilmiştir. 10,0 mm/sn ve üzeri bileşke parçacık hızları yüksek şiddetli olarak sınıflandırılmış olduğundan, birçok insan için rahatsızlığa neden olabilecektir. Fakat bu rahatsızlık farklı derecelerde gerçekleşebilir. Tablo 6.12'de gösterildiği gibi yüksek şiddetli titreşim olarak sınıflandırma yapan insanlardan yalnızca %36'sı bu titreşimlerin çok rahatsızlık verdiğini belirtmiştir. Bu durum ve cinsiyete göre algı farklılığı durumu dikkate alınarak, aşağıda detayları verilen rahatsızlık limit değerlerinin belirlenmesi amacıyla farklı bir değerlendirme daha yapılmıştır.

### **6.3.2 Cinsiyete Bağlı Rahatsızlık Limit Değerlerinin Tespiti**

Madencilik sektöründe patlatma kaynaklı titreşimin yayılımının incelenmesi için kullanılan ölçekli mesafe ile tahmin eşitliği, patlatma titreşimlerinin insanlar üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmamıştır. Patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin büyüklüğünün mesafeye göre değişimini araştırmak amacıyla kullanılan ölçekli mesafe kavramından elde edilecek veriler, patlayıcı madde ve mesafeye bağlı olarak oluşacak titreşimin parçacık hızının tespiti için kullanılmaktadır. Bu da tez çalışmasının bir çıktısı değildir. Bu sebeple, patlatma titreşimlerine insan tepkisinin belirlenmesi, ölçekli mesafe ve patlayıcı madde miktarı gibi verilerden bağımsız gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan noktada elde edilen anket verileri ile titreşim ölçüm cihazından elde edilen veriler ilişkilendirilerek insanların rahatsızlık sınırı bulunmaya çalışılmıştır.

Bölüm 6.2.2’de detayları verilen istatistiksel analiz neticesinde, cinsiyetin titreşim algısında etkisi olduğu ortaya konulmuştur. Kadın katılımcıların erkek katılımcılara kıyasla daha hassas olduğu, yani, patlatma kaynaklı titreşimde erkeklerden daha yüksek bir tepki düzeyine sahip olduklarını sonucu elde edilmiştir. Bu durumda yapılacak değerlendirmelerde, cinsiyet etkisinin incelenmesi yerinde olacaktır. Rahatsızlık limit değerlerinin kadın ve erkek için ayrı ayrı belirlenmesi bir gerekliliktir. Bu amaçla kadın katılımcıların ve erkek katılımcıların rahatsızlık derecesi ile ilgili verdiği cevaplar Likert ölçeği puanlaması kullanılarak sınıflandırılmış ve 4 farklı rahatsızlık derecesi tanımlanarak bileşke parçacık hızı sınır değerleri tespit edilmiştir. Bu değerlendirme yerinde ölçüm sonuçları ile gerçekleştirildiğinden, arazi şartlarından bağımsız genel bir değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede 0,64 mm/sn bileşke parçacık hızı değeri hiçbir katılımcı tarafından algılanmamış, 0,75 mm/sn değeri ise tüm katılımcılar tarafından algılanmıştır. Cinsiyete bağlı rahatsızlık derecesi için bileşke parçacık hızı değerleri aralık olarak tanımlanmış ve Tablo 6.16’da verilmiştir.



Tablo 6.16 Cinsiyete göre patlatma titreşimleri için mm/sn olarak rahatsızlık derecesi aralığı

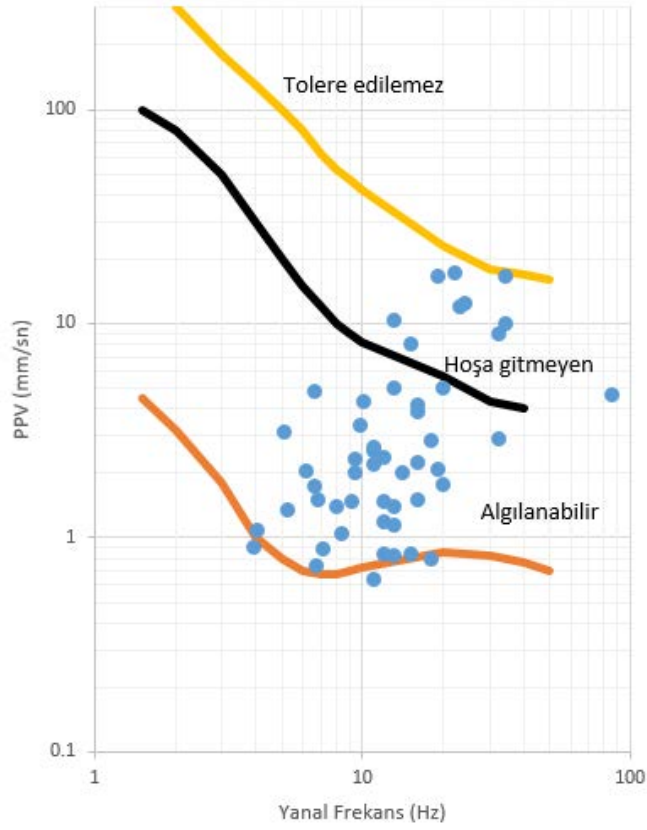
Rahatsızlık Derecesi	PPV (mm/sn) Aralığı	
	<i>Kadınlar İçin</i>	<i>Erkekler İçin</i>
Rahatsızlık Yok	$\leq 1,00$	$\leq 2,50$
Düşük Rahatsızlık	1,00 – 2,50	2,50 – 4,20
Orta Rahatsızlık	2,50 – 5,00	4,20 – 10,0
Yüksek Rahatsızlık	$\geq 5,00$	$\geq 10,00$

Tablo 6.16 incelendiğinde, kişilerde rahatsızlık yaratmayan alt sınır değeri cinsiyet farkı olmaksızın 0,75 mm/sn iken, diğer tüm değerler cinsiyete göre farklılık göstermektedir. Tablo 6.16’da yapılan değerlendirmeye göre kadın katılımcıların daha düşük titreşim hızlarında erkeklere kıyasla daha çok rahatsız olduğu görülmektedir. Bu durum istatistiksel analizlerden elde edilen kadın ve erkek ortalama değerlerindeki farklılıkla örtüşmektedir.

### **6.3.3 Elde Edilen Limit Değerlerin Literatürle Karşılaştırılması**

Bölüm 2.2’de detaylı olarak verilen literatür incelendiğinde, patlatma için ve diğer anlık titreşimler için verilen algı ve rahatsızlık değerlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Rahatsızlık ve algı sınıflandırma aralıkları da farklı yapılmış olup bu durum göz önüne alınarak, tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde bulunan sınır değerler ile literatürde kabul görmüş bazı sınır değerler bu bölümde birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Delme patlatma hakkında “US Army Corps of Engineers Manual” isimli bir teknik raporda yayınlanan grafiğe göre 20 Hz’de 25,4 mm/sn parçacık hızı değeri insanlara göre tolere edilemezdir. Tolere edilemez çizgisi 60 Hz’de 12,7 mm/sn parçacık hızına doğru ilerlemektedir. Bu grafik sinüzoidal titreşimlerden elde edilmiş olup Goldman (1948)’ın raporlarından üretilmiştir. Söz konusu teknik raporda verilen titreşim hızı-frekans grafiğine, tez kapsamında araziden elde edilen titreşim hızları ve frekans değerleri işlendiğinde Şekil 6.4’te verilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.4 “US Army Corps of Engineers manual” teknik raporunda verilen frekans-parçacık hızı grafiği üzerinde arazi ölçümlerinin gösterilmesi

Söz konusu teknik raporda turuncu çizgi algılanabilir olarak, siyah çizgi hoşa gitmeyen ve sarı çizgi tolere edilemez olarak tanımlanmıştır. Mavi ile işaretlenmiş değerler ise tez kapsamında arazi ölçümlerinden elde edilen değerlerdir. Şekil 6.4’te verilen grafik incelendiğinde, frekanstan bağımsız olarak değerlendirilen ve Tablo 6.13’te verilen anket verilerinden elde edilen sınır değerler ile bir uyum olduğu görülmektedir. Ankete katılan katılımcıların tamamının hissetmediği 0,64 mm/sn değeri grafikte algılanabilir çizgisinin altında kalmıştır. Frekanstan bağımsız olarak cinsiyet farkına göre yapılan değerlendirmede 5 mm/sn değeri üzerinde olan titreşim hızlarının kadınları rahatsız edeceği belirtilmiştir. Şekil 6.3’teki grafikte de 5 mm/sn üzerindeki titreşim değerleri hoşa gitmeyen aralığında bulunmaktadır.

Avustralya ve Yeni Zelanda Çevre Konseyi (ANZEC) raporlarında patlatma olaylarında insan konfor kriterinin sağlanabilmesi için, titreşim hızı değerinin 5 mm/sn değerinin altında olması gerektiğini belirtilmiştir. Tez kapsamında yapılan

çalışmalarda cinsiyet farkına göre yapılan değerlendirmede benzer değerin kadınlarda da yaklaşık olarak orta rahatsızlık sınır değeri olduğu grlmektedir. Erkek katılımcılarda orta rahatsızlık değeri 10 mm/sn olarak belirlenmiştir. Tablo 6.17’de geçici titreşimler için verilen çeşitli limit değerler grlmektedir. Literatürde verilen rahatsızlık limit değerleri 2,5 mm/sn ile 20,00 mm/sn değerleri arasındadır. Her ne kadar ölçeklendirme farklı olsa da, tez çalışmasında bulunan limit değerler literatürde verilen rahatsız edici aralığının içinde kalmaktadır. Kısaca, bu çalışma kapsamında, arazi ölçümleri ve anket çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile oluşturulan titreşim rahatsızlık sınıflandırma değerlerinin literatürle de uyumlu olduğu grlmştir.

Tablo 6.17 Geçici titreşimler için verilen çeşitli limit değerler

İnsanlardaki Etki	Zemin Titreşim Limiti (mm/sn) (Chiappetta, 2000)	Geçici Titreşimler İçin PPV (mm/sn) (Oriard ve Emmert, 1980)	evresel Titreşim İçin PPV (mm/sn) (ISO 2631/1, 1997)
Hissedilmez	0,025 – 0,076	---	---
Zar Zor Hissedilir	0,076 – 0,254	0,25 – 1,50	0,03 – 0,16
Açıkça Hissedilir	0,254 – 0,762	1,50 – 2,50	0,16 – 1,59
Güçlü Biçimde Hissedilir	0,762 – 2,540	2,50 – 10,20	1,59 – 7,96
Rahatsız Edici	2,540 – 7,620	10,20 – 25,40	7,96 – 19,9
Çok Rahatsız Edici	7,620 – 25,400	25,40– 30,50	

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇLAR

Patlatma teknolojisini gelişmesiyle madencilik başta olmak üzere kayaç kazısı amacıyla delme patlatma operasyonlarından yararlanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu durum beraberinde çevresel sorunları da getirmiştir. Patlatma operasyonlarının oluşturduğu çevresel etkilerin başında titreşim ve hava şoku gelmektedir. Patlatma kaynaklı titreşimin binalar üzerindeki etkileri bilinmekle beraber ülkemizde dahil bir çok ülkede ilgili yönetmeliklerde bina hasar kriterleri gözetilerek limit titreşim değerleri belirtilmiştir. Özellikle son yıllarda nüfusun artışına bağlı olarak şehirlerin genişlemesiyle taş ocakları başta olmak üzere maden ocakları yerleşim yerlerine yakın konumda kalmıştır. Ayrıca şehir içlerinde gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarında da yerleşim yerlerine yakınlık söz konusudur. Bu durumda da patlatma kaynaklı titreşimin etkileri yalnızca taşıyıcı sistem içeren mühendislik yapıları (bina, köprü, tünel vb.) için değil, insanlar açısından da değerlendirilmesi gereken bir sorundur. Ülkemizde geçerli olan Yönetmelik diğer ülkelerdeki bir çok yönetmeliklerle paralel yalnızca binaların hasar görmemesi için tasarlanmış olup, insanların titreşime maruz kalması ile ilgili herhangi bir değerlendirme içermemektedir. Fakat insanlar binaların zarar görmeyeceği limit titreşim değerlerinde bile patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyelerini hissedebilmekte, rahatsız olabilmektedir. Bu durum patlatma çalışması yapan uygulayıcılar ile saha yakınında ikamet eden insanlar arasında hukuki boyutlara varacak sorunlara neden olabilmektedir. Bu itibarla, patlatma kaynaklı titreşim ve hava şokuna insan tepkisi subjektiftir ve insanlar çoğunlukla çok düşük titreşim seviyelerini de hissetmektedirler. Yerleşim bölgelerinin yakınında patlatma yapıldığında, insanlar çoğu zaman yer titreşimi ve patlatma gürültüsünün rahatsızlığından şikayet etmektedirler ve bazı durumlarda mülk sahipleri patlatmanın yapılarına da zarar verdiği inancıyla inanırlar.

Konu ile ilgili çalışmaların yetersizliği ve literatürde çok farklı değerlendirmelerin olduğu göz önüne alınarak; bu çalışmada patlatma kaynaklı titreşimlerin insanlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesini araştırmak için anket çalışmaları yapılmış,

psikolojik etkilerin araştırıldığı anket çalışmalarına ek olarak simülasyon çalışmasıyla da insan vücudundaki fiziksel etkilerinin belirlenebilirliği tartışılmıştır. Patlatma kaynaklı titreşimin psikolojik etkisinin yanı sıra fiziksel olarak bir etki yaratıp yaratmadığının ortaya konması amacıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında elde edilen veriler anket çalışmalarının değerlendirilmesinden bağımsız olarak ele alınmıştır.

Bu tez kapsamında yerleşim yerlerine yakın konumda bulunan iki farklı sahada toplam 44 patlatma takip edilerek, patlatma sonucu oluşan titreşim seviyeleri ölçülmüş, eş zamanlı olarak da anket uygulamasıyla patlatma tasarımlarında kullanılmak üzere insanlar açısından rahatsızlık sınır değerleri saptanmıştır. Gönüllü katılımcılar ölçüm için yerleştirilen jeofonların yanında konumlandırılmıştır. Çalışma sahalarından 228 adet anket verisi elde edilmiştir. Anketlerin sonuçlarını analiz etmek için istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmış, hava şoku ve bileşke parçacık hızı parametrelerinin rahatsızlık düzeyleri üzerindeki etkisi araştırılmış, titreşim sınıflandırma katsayıları bulunarak limit değerler ortaya konulmuş, cinsiyetin parçacık hızına etkisi olduğu belirlendikten sonra bileşke parçacık hızı ile verilen cevaplar arasındaki ilişki araştırılmıştır.

İnsanların patlatma operasyonlarından rahatsız olma düzeyleri üzerinde hem patlatma kaynaklı titreşim hem de hava şoku etkilidir. Multiordinal lojistik regresyon modeli kullanılarak hangi parametrenin rahatsızlık üzerinde daha etkin olduğu saptanmıştır. Böylece titreşim ve hava şokunun rahatsızlık üzerindeki etkileri olasılıksal olarak ortaya konulmuştur. Lojistik regresyon sonucu olarak, bu değişkenlerden biri sabit tutulduğunda diğerinin rahatsızlık üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Buna göre, PPV değerindeki artışın rahatsızlığı arttırmaya etkisi %92 iken, hava şoku değerindeki artışın rahatsızlığı etkileme oranı ise %45'tir. Hava şoku etkisiyle kıyaslandığında PPV değerinin rahatsızlığın üzerinde çok daha etkin olduğu ortaya konulmuştur.

Ayrıca cinsiyet farklılığının patlatma kaynaklı titreşimlerin algılanmasındaki etkisi araştırılmıştır. Bağımsız T-testi kullanılarak cinsiyet farklılıklarının patlatma kaynaklı

titreşim algısını etkilediği ortaya konulmuştur. Bağımsız T-testi analizininin bir diğer çıktıısı olan grup istatistiklerinin ortalama değerleri incelendiğinde ise, kadınların ortalama değerlerinin erkeklere nazaran daha yüksek olduğu gürılmektedir.

Konu ile ilgili yönetmeliklerde izin verilen limit değerler bileşke parçacık hızı cinsinden olduğundan ve madencilikte sektöründe bileşke parçacık hızının yaygın olarak kullanılmasından dolayı, tez kapsamında yapılan değerlendirmede de bileşke parçacık hızı ile anket verileri arasındaki ilişkinin varlığı araştırılmıştır. Bileşke parçacık hızı ile ilişkilendirilen sorular, hissedilen titreşimin şiddetinin sınıflandırılması ve sınıflandırılan titreşimin rahatsızlık derecesininin belirlenmesidir. Katılımcılar titreşim şiddeti sınıflandırma ve rahatsızlık derecesi belirleme sorularına aynı paralellikte yanıt vermemişler. Titreşim şiddeti sınıflandırma sorusunda şiddeti hiç olarak sınıflandırmış olan katılımcılar beklenildiği gibi rahatsızlık derecesi tanımlama sorusuna da hiç olarak cevap vermişlerdir. Fakat diğer ölçeklere bakıldığında farklılıklar olduğu gürülmüştür. Titreşim şiddetini düşük olarak sınıflayan kişilerden %77'si bu titreşimden rahatsız olmazken, %23'ü rahatsızlık derecesine düşük olarak cevap vermiştir. Titreşimin şiddetini orta olarak sınıflandıran kişilerin %12'si bu titreşim şiddetinden hiç rahatsız olmazken, %55'i düşük rahatsızlık derecesi ve %33'ü ise orta rahatsızlık derecesi oluşturduğunu belirtmiştir. Öte yandan titreşim şiddetini yüksek olarak tanımlayan katılımcıların %36'sı rahatsızlık derecesini de yüksek olarak ifade etmiştir. Bu durum dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler soru bazlı olarak gerçekleştirilmiş, titreşim şiddeti sınıflandırma limit değerleri ile rahatsızlık derecesi sınıflandırma limit değerleri ayrı ayrı tespit edilmiştir.

Yukarıda verilen bilginin ışığında öncelikle bileşke parçacık hızı ve titreşim şiddeti sınıflandırma arasındaki ilişki araştırılmıştır.-Her bir bileşke parçacık hızınının şiddetini belirlemek için verilen Likert ölçeği puanlaması kullanılarak, katılımcıların cevap yüzdeleri ile bir titreşim sınıflandırma katsayısı hesaplanmış, hesaplama için bir eşitlik üretilmiştir. Hesaplanan titreşim sınıflandırma katsayıları ve arazide ölçülen bileşke parçacık hızları kullanılarak çizilen grafikler değerlendirilmiş, bileşke parçacık hızı ve titreşim sınıflandırması arasında anlamlı bir korelasyon olduğu gürülmüş, patlatmanın

neden olduğu titreşime insan tepkisi limit değerleri sınıflandırılmıştır. Titreşim sınıflandırma katsayıları kullanılarak insan tepkisine ait sınır değerler bileşke parçacık hızı cinsinden bulunmuştur (Tablo 7.1). Bu sınıflandırmaya göre, 0,90 mm/sn ve/veya altındaki bileşke parçacık hızları hissedilse bile, bu bileşke parçacık hızını insanlar titreşim şiddeti açısından bir kategoriye koyamayacak olduklarından tepkisiz olarak tanımlanabilecektir. 0,9 mm/sn ile 2,5 mm/sn arasındaki bileşke parçacık hızları düşük sınıfta ve 2,5 ile 10,0 mm/sn arasındaki bileşke parçacık hızları, orta şiddetli sınıfta kabul edilmiştir. 10,0 mm/sn ve üzeri bileşke parçacık hızları yüksek şiddetli olarak sınıflandırılmış olduğundan, birçok insan için rahatsızlığa neden olabilecektir. Fakat bu rahatsızlık farklı derecelerde gerçekleşebilir. Farklı rahatsızlık derecelerinin olacağı ve cinsiyetin algı üzerindeki etkisi dikkate alınarak, rahatsızlık limit değerlerinin belirlenmesi amacıyla titreşim şiddeti sınıflandırmadan bağımsız olarak bir değerlendirme daha yapılmıştır. Anket verileri ile titreşim ölçüm cihazından elde edilen veriler ilişkilendirilerek insanların rahatsızlık sınırı tespit edilmiştir.

Kadın katılımcılar ile erkek katılımcıların rahatsızlık derecesine verdiği yanıtlar Likert ölçeği puanlaması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Anket sonuçları değerlendirildiğinde katılımcıların hiçbirisi 0,64 mm/sn bileşke parçacık hızı değerini algılamamış olup, 0,75 mm/sn bileşke parçacık hızı değeri ise ankete katılan tüm katılımcılar tarafından algılanmıştır. Cinsiyete bağlı rahatsızlık derecesi için bileşke parçacık hızı değerleri aralık olarak tanımlanmıştır (Tablo 7.1). Düşük rahatsızlık aralığı kadınlar için 1,0 mm/sn ile 2,50 mm/sn aralığındayken, 2,5 mm/sn değerinde ise orta rahatsızlık sınıfına geçiş yapmaktadır. Öte yandan, erkeklerde düşük rahatsızlık meydana gelmesi 2,5 mm/sn değerinde başlamakta, 4,2 mm/sn değerinde orta rahatsızlık yaratmaktadır. Kadınlarda yüksek rahatsızlık meydana getiren bileşke parçacık hızı alt değeri 5,0 mm/sn iken, erkeklerde bu değer 10,0 mm/sn'ye yükselmektedir.

Tablo 7.1 Titreşim şiddeti sınıflandırma limit değerleri ve cinsiyete bağlı rahatsızlık limit değerleri

Ölçekler	Tepki limit değerleri aralığı PPV (mm/sn) (titreşim şiddeti sınıflandırılmasına göre)	Rahatsızlık derecesi aralığı PPV (mm/sn)	
		Kadınlar için	Erkekler için
Tepkisiz/Rahatsızlık yok	≤ 0,90	≤ 1,00	≤ 2,50
Düşük	0,90-2,50	1,00 – 2,50	2,50 – 4,20
Orta	2,50-10,00	2,50 – 5,00	4,20 – 10,0
Yüksek	≥ 10,00	> 5,00	> 10,00

Psikolojik etkilerin belirlendiği anket çalışmalarının dışında, patlatma kaynaklı titreşime insan vücudunun verdiği fiziksel tepkileri incelemek amacıyla bilgisayar destekli modelleme çalışmaları da yapılmıştır. Patlatmalı kazı çalışmalarında arazide anket çalışması her zaman uygulanamayabilir. Deneklere laboratuvar ortamında patlatma titreşimlerini taklit ederek bu titreşimlere maruz bırakmak da pratik olmadığından, bilgisayar ortamında simülasyon çalışması yapmak önemlidir. Simülasyon çalışması için ankete katılan kişilerin ortalama boy ve kilo bilgileri kullanılarak insan vücudu modellenmiş, titreşim ölçümlerinden elde edilen dikey yöndeki ivme değerleri uygulanan kuvvet olarak bilgisayar programına girilmiş, model üzerinde yarattığı etkiler incelenmiştir. Böylece, patlatma kaynaklı titreşimlerin insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak, en kötü durum senaryosunu analiz edebilmek için insan vücudu üzerindeki fiziksel etkileri incelenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında MSC.ADAMS/View programından yararlanılmıştır. İnsan üzerindeki titreşim etkilerini belirlemek için, insan vücudu çok dereceli serbest yaylı-kütle-sönüm modeli (DOF) kullanılarak dik duruş postüründe modellenmiştir. Uygun eklemler kullanılarak simülasyondaki model 21 DOF olarak üretilmiştir. ISO 2631'e göre tüm vücut titreşimi için gerçekleştirilen ölçümler daima omurga yönünde yapılmalıdır ibaresi yer almaktadır. En kötü durum senaryosu dikkate alındığından ve saha çalışmalarında patlatma kaynaklı titreşime maruz kalan insanlar ayakta durduklarından dolayı omurga yönü dikkate alınarak maruz kalınan titreşim değerleri için dikey pik ivme değerleri kullanılmıştır. Her bir vücut parçası için sonuçlar RMS değeri olarak ayrı ayrı elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Simülasyon çalışması analiz sonuçları, insan vücudunun her bir parçasının patlatma kaynaklı titreşimin dikey ivme



değeri küçük ve maruziyet süresi kısa olsa bile patlatma titreşimine maruz kaldığını göstermiştir. Vücut parçaları aynı kuvvete maruz kaldığında farklı tepkiler vermiştir. Bu tepki farklılıkları sönümlenme oranı, hareket mekanizması gibi bazı faktörlerin vücut parçaları için farklı olmasından kaynaklanmıştır. Farklı bir ifade ile insan vücudunu birbirine bağlayan eklemlerin izin verdiği hareketlere bağlı olarak elde edilen RMS değerleri değişmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, insan modeli üzerine uygulanan kuvvetler 5 kat artmasına rağmen, insan vücudunun anatomik yapısı nedeniyle RMS değerindeki değişiklikler çok küçüktür. Simülasyon için üretilen insan modeline uygulanan patlatma titreşimlerine ait dikey ivme değerlerinin maksimum değeri  $1,15 \text{ m/s}^2$  ( $\sim 0,12 \text{ g}$ ) ve ortalama ise  $0,4 \text{ m/s}^2$  ( $\sim 0,04 \text{ g}$ )' dir. Frekans değerleri ise minimum 5 Hz olup ortalama 19 Hz'dir. Literatürde verilen bilgiler ışığında dikey eksenin en rahatsız edici hareket yönü olduğu, dikey ekseninde kafanın rezonans frekans değerinin 2-10 Hz olduğu, ayakta duran kişiler içinse 6 ile 12 Hz arasındaki frekanslarda rezonansın meydana geldiği bilgisi elde edilmiştir. Bu durumda patlatma kaynaklı titreşimlerin dikey frekans değerlerine de bakıldığında, insanların titreşimi hissedeceği net bir şekilde görülmektedir. Simülasyon çalışmasında uygulanan kuvvetlere (dikey titreşim ivme değerlerine) bakıldığında, frekans değerleri de göz önüne alınarak 0,04g ortalama ivme değerinde titreşimin algılanabilir olmasının yanı sıra fiziksel olarak insanları rahatsız edeceği durumu dikkate alınmalıdır. Arazi verilerinden elde edilen frekans değerleri ile dikey ivme değerleri baz alındığında, uygulanan bu dikey ivme değerlerine karşılık, insan vücudu parçalarından RMS değeri elde edildiği de göz önüne alınarak, insanların fiziksel olarak bu titreşimleri hissettiği ve çok düşük ivme değerlerinde frekansa bağlı olarak titreşimleri tolere edemeyecekleri sonucuna varılmıştır. Mekanik titreşimlerin aksine patlatma kaynaklı titreşimler için tüm vücut titreşimlerine (WBV) odaklanan, patlatmanın insan vücudundaki etkisini belirlemeye yönelik benzer bir çalışma yapılmadığı için bu çalışma konu ile ilgili öncü bir çalışma olmasının yanı sıra, patlatma titreşimlerinin insan vücudundaki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan değerlendirmede madencilikte yaygın olarak tepe titreşim hızı yerine dikey ivme değerleri kullanılarak elde edilen RMS değeri ile değerlendirme yapılmıştır. Tepe hız değeri kullanılarak yapılan değerlendirmeler anket çalışmaları ile ilişkilendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar, erkekler ve kadınların patlatma kaynaklı titreşime verdiği tepki aynı olmayıp, cinsiyetin titreşimi hissetmede etkili olduğu ve kadın katılımcıların da patlatmanın neden olduğu titreşimlerin sınıflandırılması ve rahatsız olunması açısından erkeklere nazaran daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Aynı şekilde titreşim şiddeti sınıflandırma ile rahatsızlık düzeyi belirtmede de farklılıklar meydana gelmektedir. Bu durumda patlatma kaynaklı titreşimlerin insanlardaki etkisinin belirlenmesi için yapılacak değerlendirmelerde söz konusu farkların dikkate alınarak limit değerlerin belirlenmesi gerektiği görülmüş, tez kapsamında detaylı değerlendirme yapılarak titreşim şiddeti sınıflandırma limit değerleri ile cinsiyete bağlı rahatsızlık limit değerleri belirlenmiştir. Ayrıca insan vücudu kütle yay sönüm modeli kullanılarak gerçekleştirilecek simülasyon çalışması ile patlatma kaynaklı titreşimlerin vücutta meydana getirdiği etkileri gözlemlemenin ve değerlendirmenin mümkün olduğu, anket çalışmaları ile incelenen psikolojik etkinin yanı sıra fiziksel etkilerin de değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur.

Uygulayıcıların patlatma tasarımı yaparken, Yönetmelikte belirtilmiş sınır değerleri baz alması, diğer bir ifadeyle bina hasar kriterlerini göz önüne alması yeterli değildir. İnsanların rahatsız olma düzeyini etkileyen faktörlere bağlı olarak, patlatma tasarımlarında iyileştirme yapılması gerekmektedir. Patlatmalı kazı çalışmalarında özellikle maden ocakları yakınında yaşayan insanların rahatsızlık düzeylerini minimuma indirebilmek için, rahatsızlığı etkileyen faktörlerin mümkün olduğunca kontrol altında tutulması gerekir. Maden ocaklarının ömürleri dikkate alındığında patlatma kaynaklı titreşim ve hava şoku değerlerine uzun vadede maruz kalacak insanlarda fiziksel ve/veya psikolojik etkilerin oluşabileceği durumu göz önüne alınmalı, ülkemizde uygulanan ilgili Yönetmelik dahilinde insan faktörüne ait herhangi bir değerlendirme olmamasına rağmen, uygulayıcılar insan odaklı patlatma tasarımı yapmalıdır. Bu durum, patlatmalı kazı bölgelerinin çevresinde yaşayan sakinler ile bir sorun yaşamadan çalışmalarına olanak sağlayacaktır. Ayrıca patlatma işi yapan uygulayıcılar ve diğer şantiye çalışanları da bu etkilere maruz kalmaktadır. Bu amaçla, yapılacak patlatmalarda insan hassasiyeti göz önünde bulundurularak, Tablo 7.1’de verilen limit parçacık hızı değerlerini geçmeyecek ve hava şokunu minimum düzeyde tutacak şekilde patlatma tasarımı yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdeen, M. A. M. ve Abbas, W. (2011). Prediction the biodynamic response of the seated human body using artificial intelligence technique, *International Journal of Engineering*, 4 (6), 491-506.
- Aimone-Martin, C. T., Faroni, K. ve Gelormino, T. (2000). Fifteen years of blast vibration control and improved public relations for two traprock quarries, *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 1, 187-196.
- Ak, H. (2006). *Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması*. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Akay, E. (2000). *Magmatic and tectonic evolution of the Yuntdag volcanic complex western anatolia*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ambraseys, N. R. ve Hendron, A. J. (1968). *Dynamic behaviour of rock masses. rock mechanics in engineering practices*. London: Wiley.
- American National Standards Institute (1983). *ANSI S3.29 Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Building*. Acoustical Society of America, Newyork.
- Australian and New Zealand Environment Council (ANZEC) (1990). *Technical basic for guidelines to minimise annoyance due to blasting overpressure and ground vibration*, Department of Environment and Heritage, ACT, Canberra, Australia.
- Aouad, N. ve Frimpong, S. (2013). Virtual Prototype Simulation of Truck Vibrations in High-Impact Shovel Loading Operations. *Journal of Powder Metallurgy and Mining*, 1, 1-5.

- Astrand, P. O. ve Rodahl, K. (1970). *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill.
- Athanasopoulos, G. A. ve Pelekis, P. C. (2000). Ground vibrations from sheetpile driving in urban environment: measurements, analysis and effects on buildings and occupants, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 371-387
- Atherton, G. H., Polensek A. ve Corder, S. E. (1976). Human response to walking and impact vibration of wood floors, *Forest Products Journal*, 26 (10), 40-47.
- Ayhan, S., (2006). *Sıralı lojistik regresyon analiziyle türkiye'deki hemşirelerin iş bırakma niyetini etkileyen faktörlerin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Bakhtar, K. (1996). Human response to explosion-induced noise and vibrations, *27th explosives Safety seminar*.
- Banister, E. W. ve Taunton, J. E. (1971). A rehabilitation program after myocardial infarction, *British Columbia Medical Association Journal*, 13, 1-4.
- Barron, A. L. ve Abernethy, M. (2003). Blasting in the new millennium: Won't you be my neighbor?, *Journal of Explosives Engineering*, 20 (4), 34-35.
- Bartz, J. A. ve Gianotti, G. R. (1975). Computer program to generate dimensional and inertial properties of the human body, *Journal of Engineering for Industry*, 97 (1), 49-57.
- Bender, W. L. (2007). Understanding blast vibration and airblast, their causes, and their damage potential, *Workshops of the Golden West Chapter of the International Society of Explosives Engineers*, 1-38.

- Bilgin, H. A., Esen, S. ve Kılıç, M. (1999). Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının binalar üzerindeki etkisi ve büyüme faktörünün önemi, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, ISBN 975-395-310-0, 25-32.
- Bollinger, G. A. (1980). *Blast vibration analysis*, Illinois: Southern Illinois University Press.
- Boladz, A. P., Hickson, G. ve Wood, A. J. (2013). *Katherine to gove gas pipeline environmental noise assessment*, Australia: Worley Parsons.
- Brüel-Kjaer (1998). *Basic frequency analysis of sound*, BA 7660-06. Brüel ve Kjaer Sound ve Vibration Measurement A/S, Denmark.
- Brüel-Kjaer (1984). *Measurement sound*. Brüel ve Kjaer Sound ve Vibration Measurement A/S, Denmark.
- British Standards Institution (2008). *BS6472-2 Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings*. Blast-induced vibration, ISBN 978 0 580 54383 8
- Bureau of Indian Standards (1973, 1997). *IS-6922 Criteria for safety and design of structures subject to underground blast*. India.
- Carman, R. A. (2012). *Current practices to address construction vibration and potential effects to historic buildings adjacent to Transportation projects NCHRP 25-25/Task 72*, Wilson, Ihrig ve Associates, Inc., ICF International, and Simpson, Gumpertz ve Heger, Inc.
- Chang, F. (1973). Human response to motions in tall buildings, *Journal of the Structural Division*, 99 (6), 1259-1272.
- Chen, C. K. ve Hughes, J. (2004). Using ordinal regression model analyze student satisfaction questionnaires, *IR Applications*, 1 (1), 1-13.

Chernaik, M. (2006). *Rapid environmental impact assessment study for the proposed capacity expansion of bauxite mines from 3.0 MTPA to 8.5 MTPA at Baphlimali Plateau, chapter-4 impact assessment*, VIMTA Labs Limited, Hyderabad, Environmental Alliance World Wide.

Chiappetta, R. F. (2000). Vibration/airblast controls, damage criteria, record keeping and dealing with complaints. *9th Annual BME Conference on Explosives, Drilling and Blasting Technology*, CSIR Conference Centre, Pretoria.

Cihangir, F., Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Durmuş, O. (2005). Bir kalker ocağında patlatmak kazılardan kaynaklanan çevresel etkilerin analizi, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Ankara.

Clason, D. L. ve Dormody, T. J. (1994). Analyzing Data Measured by Individual Likert-Type Items, *Journal of Agricultural Education*, 35 (4), 31-35.

Crocker, M. (2007). *Handbook of Noise and Vibration Control*, New York: John Wiley ve Sons Inc.

Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği (2002/49/EC) sayı: 27601, *Resmi Gazete* 04.06.2010

Çokluk, Ö. (2010) Lojistik regresyon analizi: kavram ve uygulama, *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 10 (3), 1357-1407.

Davies, C. T. M. ve Knibbs, A. V. (1971). The training stimulus, *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 29, 299-305.

Dempster, W. T. (1955). *Space Requirements of the Seated Operator Technical Report No. WADC-TR-55-159*, Wright Air Development Center, Dayton, OH.

- Donoghue, A. M. (2004). Occupational health hazards in mining: an overview, *Occupational Medicine*, 54, 283-289.
- Dowding, C. H. (1985). *Blast Vibration Monitoring and Control*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prendice-Hall Inc.
- Dowding, C. H. (1992). *Monitoring and Control of Blast Effects*, SME Mining Engineering Handbook. 746-760.
- Duvall, W. I. ve Fogelson, D. E. (1962). *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations RI 5968*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Pittsburgh.
- Eltschlager, K. K. (2001). *Regulatory review of blasting related citizen complaints*. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement Appalachian Regional Coordinating Center, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Emeç H., (2002). Ege Bölgesi tüketim harcamaları için sıralı logit tahminleri ve seneryo sonuçları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), 13-29.
- Farley, C. T., Houdijk, H. H., Van Sterien, C. ve Louie, M. (1998). Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surface on different stiffness, *Journal of Applied Physiology*, 85, 1044-1055.
- Fidell, S., Horonjeff, R., ve Schultz, T. Ve Teffeteller S. (1983). Community response to blasting. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 74 (3), 888-893.
- Garg, D. P., ve Ross, M. A. (1976), Vertical mode human body vibration transmissibility, *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, SMC-6 (2), 102-112.

- Gierke, H. E. ve Brammer A. J. (2001). Effects of shock and vibration on humans (5th Edition). Harris Shock and Vibration Handbook, Chapter 42, New York: Mc Graw-Hill,
- Goldman, D. E. (1948). *A Review of subjective responses to vibrating motion of the human body in the frequency range, 1 to 70 cycles per second*. Project Number 004001, Naval Medical Research Institute Maryland.
- Goldstein, J. (1975). *Noise hazard evaluation sound level data of noise sources, technical guide*. Us Army Environmental Hygiene Agency Aberdeen Proving Ground, MD 21010, Springfield, VA: National Technical Information Service.
- Green, D. M. ve Fidell, S. (1991). Variability in the criterion for reporting annoyance in community noise surveys, *Journal of the Acoustical Society of America*, 89, 234-243.
- Griffin, M. J. (1992). *Vibration, handbook of human performance, vol. 1: The physical environment*, London: Academic Press.
- Guignard, J. C, ve Irving, A. (1960). Effects of low-frequency vibration on man, *Engineering*, 190, 361-367.
- Gupta, T. C. (2007). Identification and experimental validation of damping ratios of different human body segments through anthropometric vibratory model in standing posture, *Journal of Biomechanical Engineering*, 129 (4), 566-574.
- Gupta, M. ve Gupta T. C. (2017). Modal damping ratio and optimal elastic moduli of human body segments for anthropometric vibratory model of standing subjects, *Journal of Biomechanical Engineering*, 139 (10), 1-13.
- Haddow, A. G. (2015). *ME 451 Mechanical vibrations laboratory manual*, Ders Notu, Michigan State University, College of Engineering.



- Hair, J. F. Jr., Black, W.C., Babin, B. J., Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis*, 7th Edition, London: Pearson Prentice Hall,.
- Hamza, A. E. (2008). *Patlatmalı kaya kazılarında kaynaklanan titreşim ve gürültünün insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Harris, C.M. ve Peirsol, A.G. (2002). *Harris' shock and vibration handbook*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hassall, J. R., Dracoulides, D. A. ve Smith, E. (2008). *Environmental noise report, proposed infrastructure and open pit expansion at Rössing uranium mine*, Namibian Vibration Consultants in Association with JH Consulting and DDA,
- Hassall, J. R. (2014). *Environmental noise report, Rietvlei opencast mine*, JH Consulting, Acoustics, Noise and Vibration Control.
- Hassall, J. R., Zaveri, K. ve Phil, M. (1979). *Acoustic Noise Measurements*. Brüel ve Kjaer, Denmark.
- Hendron, A. J. ve Oriard, L. L. (1972). Specifications for controlled blasting in civil engineering projects, Proc. RETC 2, 1585-1609.
- Howard, H. ve Griffin, M. J. (2008). Development of a social survey questionnaire of reactions to vibration in residential buildings, *Acoustic*, 08, 4317-4321.
- International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE-97-1), (1997). *Technical assessment of upper limits on noise in the workplace*, Noise/News International, 5, 203-216.
- Innocenti, F. ve Mazzuoli, R. (1972). Petrology of the İzmir-Karaburun volcanic area, *Bulletin volcanologique*, 36 (1), 83-103.

InstanTEL, Minimate Plus, Operator Manual, 716U0101-Rev-15.

ISO2631-1 (1997). *Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration - part 1: general requirements*, International Organization for Standardization.

ISO 2631-2 (1989, 1997, 2013). *Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2:Vibration in buildings(1Hz to 80Hz)*, International Organization for Standardization.

Işık, M. E. ve Kuruşcu, A. O. (2018). Yapısal titreşimlerin kullanıcı konforuna etkisinin incelenmesi, *Harran University Journal of Engineering*, 1, 20-34.

İnal, M. E., Topuz, D. Ve Uçan, O. (2006). Doğrusal olasılık ve logit modelleri ile parametre tahmini, *Sosyoekonomi*, 1, 47-72.

Jain, S. ve Angural, V. (2017). Use of Cronbach's alpha in dental research, *Medico Research Chronicles*, 4 (3), 285-291.

Job, R. F. S. (1988). Community response to noise: a review of factors influencing the Relationship Between Noise Exposure and Reaction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 991-1001.

Jimeno, C. L, Jimeno, E. L., ve Carcedo F. J. A. (1997). *Drilling and blasting of rocks*. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers.

Karadoğan, A. (2008). *Patlatmadan kaynaklanan titreşimler için ulusal yapı hasar kriterleri oluşturulabilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- Karakuş, D., Konak, G., Onur, A. H. ve Tosun, A. (2010). Patlatma kaynaklı titreşimlerin çevresel etkisini düzenleyen çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliğinin tartışılması, 6. *Delme Patlatma Sempozyumu*, Ankara.
- Karakuş, D., Öngen, T., Konak, G., Onur, A. H. ve Turan G. (2015). Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi, 8. *Delme Patlatma Sempozyumu*, İstanbul.
- Kelley, P. L., DelloRusso, S. J. ve Russo, C. J. (1998). Building response to adjacent excavation and construction, *Proceedings, Effects of Construction on Structures, American Society of Civil Engineers Annual Convention*, Boston, Massachusetts.
- King, R. P. ve Davis, J. R. (2003). Community noise: health effects and management, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206, 123-131.
- Kitchenham, B. ve Pfleeger, S. L. (2003). Principles of survey research part 6: data analysis, *Software Engineering Notes*. 28 (2), 24-27.
- Koca, M. Y. (1995). *Slope stability assessment of the abandoned andesite quarries in and around the Izmir city centre*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir,
- Köse, R. K. (2004). Makina arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi, *Mühendis ve Makina*, 45 (538), 24-32.
- Kuzu, C. ve Güçlü, E. (2009). The problem of human response to blast-induced vibrations in tunnel construction and mitigation of vibration effects using cautious blasting in half-face blasting rounds. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24 (1), 53-61.

Langefors, U. ve Kihlstrom, B. (1978). *The Modern techniques of rock blasting*. New York: John Willey and Sons.

Lusk, B. T. (2006). *An analysis and policy implications of comfort levels of diverse constituents with reported units for blast vibrations and limits: closing the communication gap*, PhD Thesis, The Faculty of the Graduate School of the University of Missouri-Rolla in Mining Engineering, US.

Long, S. J. (1997). Regression models for categorical and limited dependent variables, *Sage Publications*, U.S.A.

Long S. J., Freese, J. (2000). *Listing and interpreting transformed coefficients from regression models for categorical and limited dependent variables*, Indiana University-Wisconsin University, USA, 1-12.

Mansfield, N. J. (2005). *Human response to vibration*, 1. Edition, New York: CRC Press LLC.

MEGEP (2006). *Meslekî eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, araştırma teknikleri*, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Öğretim Materyali, Ankara

McMahon, T.A. ve Cheng, G.C. J. (1990), The mechanics of running: how does stiffness couple with speed?, *Biomechanics*, 23 (1), 65-78

Msc ADAMS, (2015), *MSC Software Corporation*. MSC.ADAMS Santa Ana, CA, USA

Murray, T. M., Allen, D.E. ve Unger, E. E. (1997). *Floor vibrations due to human activity*, American Institute of Steel Construction (AISC) Design Guide No. 11

Nazıroğlu, T. ve Keskinel , O. (2010). *Batı Anadolu imento Sanayi A.Ő. arka vadi hammadde ocağı kaya Őev stabilitesi*. Bitirme tezi. D.E.Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir.

New, B. M. (1986). *Ground vibration caused by civil engineering works*. Transport and Road Research Laboratory, Research Report 53.

Nicholls, R., Johnson, C. ve Duvall, W. (1971). *Blasting vibrations and their effects on structures, Bulletin 656*, United States Department of the Interior Bureau of Mines.

Nigam, S. P. and Malik, M. (1987). A study on vibratory model of human body, *Journal of Biomechanical Engineering*, 109 (2), 148–153.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), (1998). Criteria for A recommended standard; occupational noise exposure. Publication No. 98-126. Cincinnati, Ohio.

Nitromak (2004), *Nitromak eğitim yayınları*, Ankara

Nunnaly, J. (1978). *Psychometric theory*, New York: McGraw-Hill.

Oğur, R. ve Tekbaş, Ö. F. (2003). Anket Nasıl Hazırlanır? *Sürekli Tıp eğitimi Dergisi (STED)*, 12 (9), 336-340.

Olofsson, S. O. (1988). *Applied explosive technology for constructions and mining*, 2nd edition, Sweden: Applex, ISBN 91-7970-634-7

Oriard, L. L. ve Emmert, M. W. (1980). Short-delay blasting at Anaconda’s Berkeley open-pit mine, *Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers (AIME)*, Las Vegas, 60-80.

Öngen, T. ve Konak, G. (2018). The influence of gender on the perception of blast induced vibration, *4th International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), Kyiv, Ukraine, Book of Abstract*, ISBN 978-605-67955-2-7.

Öngen, T., Konak, G ve Karakuş D. (2018). Determination of the influence of gender on the perception of blast-induced vibration, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 7 (9), 1111-1117.

Özdamar, K. (2009), *Paket programlar ve istatistiksel veri analizi*, Eskişehir: Kaan Kitabevi.

Özgen, Ö. (2012). *Anket yöntemi ve anket hazırlama teknikleri*, Ders Notları.

Parsons, K. C., Whitham, E. M. ve Griffin, M. J. (1979). Six axis vehicle vibration and its effects on comfort. *Ergonomics*, 22 (2), 211-225.

Persson, P. A., Holmberg, R. ve Lee, J. (1994). *Rock blasting and explosives engineering*. USA: CRC Press.

Pitakwatchara, P. (2010). *Chapter 4: vibration of multi-DOF system*, Dynamics and Vibrations (ISE), lecturer note.

Rahlf, V. W., Schaaf, A. A. (1971). A Psychometric study of noisiness, *Acustica*, 24 (6), 340-346.

Raina, A. K., Haldar, A., Chakraborty, A. K., Choudhury, P. B., Ramulu, M. ve Bandyopadhyay, V. (2004). Human response to blast-induced vibration and air-overpressure and Indian scenario, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63 (3), 209-214.

Raina, A. K, Baheti, M., Haldar, A., Ramulu, M., Chakraborty, A. K., Sabu, P. B. ve Bandyopadhyay C. (2007). Impact of blast induced transitory vibration and air

- overpressure/noise on human brain- an experimental study, *International Journal of Environmental Health Research*, 14 (2), 143-149.
- Ratcliff, J., Sheehan, E. ve Carte, K. (2011). *Predictability of airblast at surface coal mines in West Virginia*, West Virginia Department Of Environmental Protection Office Of Explosives And Blasting.
- Rathbone, T. C. (1963). Human sensitivity to product vibration. *Power Plant Engineering*, 43, 721-724.
- Reiher H. ve Meister F.J. (1931). The effect of vibration on people. *Forsch Gebeite Ingenieurwes*, 2, 381-386.
- Rosenthal, M. F. ve Morlock, G. L. (1987). *OSMRE Blasting guidance manual, TGR-1, transmittial no 315*, Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, United State Department of the Interior
- Rorke, A. J. (2011). *Blasting Impact Assessment for the proposed New Largo Colliery based on New Largo mine plan 6*, AJR\_NL001\_2011 Rev 4
- Saidi, I., Haritos, N., Gad, E. F. ve Wilson, J. L. (2006). Floor vibrations due to human excitation – damping perspective, *Earthquake Engineering in Australia*, Canberra, 257-264.
- Savaşçın, M. Y. (1974). Batı anadolu andezit bazalt jenezi sorununa katkılar, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 17, 87-171.
- Shepard, R. J. (1968). Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regimen, *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie*, 26, 272-278.

- Siebert, H. L. (1985). Perceptions of the use of explosives in urban areas, *Proceedings of the 11th Conference on Explosives and Blasting Technique*, 111-123.
- Siegle D. (2018). *Instrument\_reliability*. 20 Nisan 2018, [https://researchbasics.education.uconn.edu/instrument\\_reliability](https://researchbasics.education.uconn.edu/instrument_reliability).
- Siskind, D. E., Crum, S. V. ve Plis, M.N. (1993). *Blast vibrations and other potential causes of damage in homes near a large surface coal mine in Indiana*. RI 9455. Bureau of Mines.
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W. ve Dowding, C.H. (1980, 1989). USBM RI 8507 *Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting*, Bureau of Mines, U.S.Department of Interior.
- Siskind, D. E., Stachura, V. J. ve Radcliffe. K. S. (1976). RI 8186 *Noise and vibrations in residential structures from quarry production blasting, measurements at six sites in Illinois*, Bureau of Mines, U.S.Department of Interior.
- Siskind, D. E., Stachura, V. J., Stagg, M. S. ve Kopp, J. W. (1980). *USBM RI 8485 Structure response and damage produced by airblast from surface mining*, Bureau of Mines, U.S. Department of Interior.
- Siskind, D. E. (2000). *Vibrations from blasting*. ISEE International Society of Explosives Engineers, Cleveland.
- Spathis, A. T. ve Brodbeck, A. (2005). Future Directions in Ground Vibration and Airblast Control Within Australian Regulatory. *Proceedings of the Thirty-First Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers.

SPSS 15.0 software for Windows



- Stiehr, J.F. (Ed.) (2011). *ISEE Blasters' handbook*, 18th edition, International Society of Explosives Engineers, ISBN 189239619X.
- Subashi, G. H. M. J., Matsumoto, Y. ve Griffin, M. J. (2008). Modelling resonances of the standing body exposed to vertical whole-body vibration: effects of posture. *Journal of Sound and Vibration*, 317, 400–418.
- Tavakol, M. ve Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha, *International Journal of Medical Education*, 2, 53-55.
- Teasdale, D. L., Kiker, J. L., Oriard, L. L., Dowding, C. H. ve Morrison, S. J. (2006). Response of test house to vibroseis vibrations and environmental forces, *Soil Dynamics Symposium*, 1-9.
- Tezcan, S. (1992). *Epidemiyoloji: tıbbi araştırmaların yöntem bilimi*, Hacettepe Halk Sağlığı Vakfı Yayın No: 92/1. Ankara.
- Türk, N. ve Koca, M. Y. (1994). Engineering geological problems of the first phase of the Izmir Metro, *Proceedings Sevent International Congress International Association of Engineering Geology*, Lisboa, Portugal, 4259-4264.
- U.S. Army Corps of Engineers, (1972) *CECW-EG Engineer manual, 1110-2-3800, systematic drilling and blasting for surface excavations*, Department of the Army, Washington, D.C.
- U.S. Army Corps of Engineers (1989), *Engineering and design blasting vibration damage and noise prediction and control*. ETL 1110-1-142, Department of the Army, Washington, D.C.
- Villani, A. (2011). *City of Los Angeles Forest Lawn Memorial Park – Hollywood Hills master plan, environmental impact analysis, noise*, SCH. No. 200811104, Los Angeles, USA.

- Wasserman, D. E. (1987). *Motion and vibration*, handbook of human factors. In G. Salvendy (Ed.), New York: John Wiley ve Sons.
- Widen, S., Bohlin, M. ve Johansson, I. (2011). Gender perspectives in psychometrics related to leisure time noise exposure and use of hearing protection, *Noise and Health International Journal*, 13 (55), 407-414.
- Wiss, J. F. (1981), Construction vibrations: state-of-the-art. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107 (2), 167–181.
- Wiss, J. ve Parmelee, R. A. (1974). Human perception of transient vibrations, *Journal of the Structural Division*, 100 (4), 773-787.
- Woodroof, M. F. ve Griffin, M. J. (1987). *Survey of the effect of railway-induced building vibration on the community*, Technical Report No.160 University of Southampton, Institute of Sound and Vibration Research.
- Woodson, W. E., Tillman, B. ve Tillman, P. (1992). *Human factors design handbook*, 2nd edition, New York: McGraw-Hill.
- Workman, L. J. ve Thompson J. (1991). *Blasting for abandoned mine land reclamation*, USBM, Contract J0289004 Calder ve Workman, Inc. Final Report.
- Zhank L., Xu D., Mohsen M. ve Lin F., (2000). Stiffness and viscous damping of the human leg, *The American Society of Biomechanics*, Annual Meeting, University of Illinois at Chicago, USA.
- Zimmer, K. ve Ellermeier W. (1999). Psychometric properties of four measures of noise sensitivity: a comparison, *Journal of Environmental Psychology*, 19, 295-302.