



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI ZEMİNLERİN YER TİTREŞİM
DALGALARININ YAYILIM MEKANİZMASI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dhikra GHİLOUFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2020
KONYA
Her Hakkı Saklı

TEZ KABUL VE ONAYI

Dhikra GHİLOUFİ tarafından hazırlanan “Farklı Zeminlerin Yer Titreşim Dalgalarının Yayılım Mekanizması Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 08/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Önder UYSAL

Danışman

Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ

Üye

Prof. Dr. Niyazi BİLİM

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Dhikra GHİLOUFİ
Tarih:

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FARKLI ZEMİNLERİN YER TİTREŞİM DALGALARININ YAYILIM
MEKANİZMASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dhikra GHİLOUFİ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ

2020, 111 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ
Prof. Dr. Önder UYSAL
Prof. Dr. Niyazi BİLİM

Bu çalışmada, farklı zeminlerde madencilik ve inşaat faaliyetlerinde sıklıkla uygulanan patlatma işlemlerinden kaynaklanan titreşim dalgalarının yayılma mekanizmaları incelenmektedir. Bu amaçla farklı arazi koşullarını modellemek için kum ve kil zeminler kullanılarak laboratuvar ölçekli altı ana zemin modeli hazırlanmıştır. Planlanan zemin modelleri bir tanka yerleştirilmiştir. Yapay zemin titreşim dalgaları oluşturmak için bilye bırakma mekanizmasına dayanan bir düzenek kullanılmış ve oluşan parçacık hızını ölçmek için incelenen modele bağlı olarak bir veya iki sismograf kullanılmıştır. Analiz edilen zemin modelleri; litolojinin, sıkıştırma derecesinin, suya doygunluğun, titreşim kaynağı konumunun ve kuma yerleştirilen kil tabakaların sayısının, konumunun, kalınlığının ve yönünün ölçülen parçacık hızı üzerindeki etkisinin araştırmasını sağlamıştır.

Yürütülen titreşim deneyleri, titreşim kaynağından uzaklık arttıkça, hem kuru hem de suya doygun gevşek kumda soğurulmanın ve gevşek kilde amplifikasyonun parçacık hızı üzerindeki etkisini göstermiştir. Üstelik sıkıştırmanın, suya doygunluğun ve titreşim kaynağı derinliğinin artırılması, kumda elde edilen parçacık hızının azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca bu çalışmada kuma yerleştirilen kil tabakaların sayısının, konumunun, kalınlığının ve yönünün oluşan parçacık hızları üzerindeki etkileri ile ilgili ön sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etkiler, Parçacık hızı, Patlatma, Zemin titreşimleri, Zeminler.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SOILS ON THE PROPAGATION MECHANISMS OF GROUND VIBRATION WAVES

Dhikra GHILOUFI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ

2020, 111 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ
Prof. Dr. Önder UYSAL
Prof. Dr. Niyazi BİLİM**

This study examines the propagation mechanisms of ground vibrations resulting from blasting operations frequently practiced in mining and construction activities in different soils. For this purpose, different field conditions were laboratory-scale simulated into six main models using sand and clay. The planned models were placed in a tank. A ball-releasing mechanism was used to create artificial ground vibrations and depending on the studied model one or two seismographs were used to measure the resulting particle velocity. The studied models allowed investigating the effect of the lithology, compaction degree, water-saturation, position of the vibrational source and the number, position, thickness and orientation of clay joints placed in sand on the measured particle velocity.

The conducted experimental study highlighted the absorbing effect of both dry and water saturated loose sand and the amplifying effect of loose clay on the resulting particle velocity as the distance from the vibration source increased. Moreover, compaction, water-saturation together with increasing the depth of the vibration source induced a decrease in the resulting particle velocity in sand. Furthermore, this study presents preliminary results on the influence of the number, position, thickness and orientation of clay joints placed in sand on the resulting particle velocities.

Keywords: Blasting, Environmental impacts, Ground vibrations, Particle velocity, Soils.

ÖNSÖZ

Madencilik, insanlığın tarım sonrası gerçekleştirdiği ikinci aktivite olarak bilinen eski bir faaliyettir. Günümüzde madencilik faaliyetleri, gerekli hammaddeleri sağladığından sayısız endüstri için son derece önemlidir. Bu sektörler arasında inşaat, sanayi, teknoloji, kozmetik, mücevher, tarım, kimya, tıbbi ekipmanların geliştirilmesi, güç ve enerji, taşıma ve nakliye ile uzay ve havacılık mühendisliği bulunmaktadır.

Madencilik faaliyetlerinde Delme-Patlatma yöntemi, verimliliği, hızı ve uygun maliyetleri nedeniyle kaya parçalanmasında en kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu yöntem kişisel tepkiler ve yapısal hasarlar yaratabilecek çeşitli çevresel etkilere neden olabilmektedir. Bu çevresel etkiler arasında zemin titreşimleri patlatmanın en önemli etkisi olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma patlatma sahalarına yakın bölgelerde bulunan zeminlerde yer sarsıntılarının yayılma mekanizmalarının önlenmesinde önemli bulgular sunmaktadır.

Bu çalışmanın yönlendirilmesinde ve sonuca ulaşmasında, bütün aşamalarda her türlü desteği sağlayan, bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana destek olan, tavsiyeleri ve deneyimleriyle yol gösteren Tez danışmanım Sayın Hocam Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca laboratuvar çalışmaları aşamasında bana verdiği destek ve bilimsel yardımından dolayı Sayın Hocam Dr. Öğretim Üyesi Atila DEMİRÖZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamı değerlendirerek büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Önder UYSAL'a ve Prof. Dr. Niyazi BİLİM'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sağladıkları bilimsel destek ve büyük katkılarından dolayı Maden Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü desteklerini esirgemeyen aileme özellikle annem Aziza AZİZİ'ye ve bu çalışmanın hazırlanması esnasında yardımını ve desteğini benden esirgemeyen sevgili eşim Ahmet DERESAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışması için sağladığı destekten dolayı Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Dhikra GHİLOUFİ
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. GENEL.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ	1
1.3. ÇALIŞMANIN İÇERİĞİ.....	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Patlatma ve Patlayıcı Maddeler.....	4
2.1.1. Genel	4
2.1.2. Tanımlar	4
2.1.3. Patlayıcı maddelerin önemi ve kullanım alanları.....	5
2.1.4. Patlatma mekanizması ve kaya parçalanma teorisi.....	6
2.1.5. Patlatma sonucunda oluşan çevresel etkiler ve kaynaklanan yapısal ve kişisel tepkiler.....	9
2.2. Patlatma Sonucunda Oluşan Zemin Titreşimleri	11
2.2.1. Tanımlar ve genel bilgiler	11
2.2.2. Patlatma işlemlerinde yer sarsıntısının değerlendirilmesinin önemi	11
2.2.3. Patlatma işlemlerinde yer sarsıntısının oluşum mekanizması.....	12
2.2.4. Sismik dalgalar.....	12
2.2.5. Sismik dalgalara ait temel büyüklükler.....	20
2.2.6. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı hasarının değerlendirme parametreleri.....	22
2.2.7. Yer sarsıntısının ölçümü ve izleme sistemi.....	26
2.2.8. Yer sarsıntılarının etkileri	27
2.2.9. Patlatma kaynaklı sismik dalgalar, arazi katmanları ve yapılar arasındaki etkileşimler	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
3.1. Genel	33
3.2. Çalışmada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Temini.....	33
3.3. Zeminlerin Muhafazası	33
3.4. Deney Tankı	34
3.5. Zemin Titreşim Dalgalarını Oluşturma Düzenegi	36
3.5.1. Yer üstünden kaynaklanan zemin titreşim dalgalarının oluşturulması.....	36
3.5.2. Yeraltından kaynaklanan zemin titreşim dalgalarının oluşturulması	37
3.6. Hidrolik Pres ve Yükleme Çerçevesi	38
3.7. Uygulanan Düşey Yüğü Dağıtmak için Kullanılan Tahta Plakalar	39

3.8. Yük Ölçümlerini Sağlayan Yük Hücresi, Veri Toplama Sistemi, Aygıt Geçidi ve TestLAB Yazılımı	40
3.9. Yer Sarsıntısı İzleme Sistemi	43
3.10. Zemin Modellerinin Oluşturulması	44
3.11. Sıkıştırma Derecelerinin Ayarlanması	55
3.12. Kumun Suya Doygunluğunun Ayarlanması	56
3.13. Zemin Titreşimlerinin Ölçümü	56
3.14. Ölçülen Zemin Titreşim Değerlerinin Aktarımı	58
 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	62
4.1. Gerçekleştirilen Zemin Titreşim Deneylerinin Sonuçları	62
4.1.1. Genel	62
4.1.2. Model 1: Kuru gevşek kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları	62
4.1.3. Model 2: Kuru gevşek kil üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları	64
4.1.4. Model 3: Sıkıştırılmış kuru kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları	66
4.1.5. Model 4: Suya doymuş kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları	68
4.1.6. Model 5: Kuru gevşek kumda farklı derinliklerden kaynaklanan zemin titreşim deneylerinin sonuçları	70
4.1.7. Model 6: Kil tabakaları içeren kuru gevşek kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları	71
4.2. Analiz ve Tartışma	81
4.2.1. Genel	81
4.2.2. Zemin litolojisinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi	81
4.2.3. Kuru kumun sıkıştırma derecesinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi	86
4.2.4. Gevşek kum zeminin suya doymuşluğunun yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi	89
4.2.5. Yapay zemin titreşim kaynağının konumunun (yer üstünde veya yeraltında) yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi	91
4.2.6. Kuru gevşek kum içerisine yerleştirilen kil tabakalarının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi	93
 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
 KAYNAKLAR	106
 ÖZGEÇMİŞ	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Yer sarsıntısının genliği (m)
λ	: Dalga boyu (m) veya (A^0)
f	: Frekans (Hz)
T	: Periyot (s)
v	: Hız (m/s)
ω	: Açısal frekans (radyan/saniye)
k	: Dalga sayısı
s	: Parçacık yer değiştirmesi-deplasman (mm)
a	: Parçacık ivmesi (mm/s^2) veya (g)
r	: kaynak alıcı uzaklık
PPV	: Maksimum Parçacık Hızı (mm/s)
PVS	: Bileşke Vektörel Toplamı (mm/s)
PVT	: Maksimum Enine titreşim değeri (mm/s)
PVV	: Maksimum Düşey titreşim değeri (mm/s)
PVL	: Maksimum Boyuna titreşim değeri (mm/s)

Kısaltmalar

BBDD	: Basınç Birim Deformasyon Dalgaları
ÇBDD	: Çekme Birim Deformasyon Dalgaları
USBM	: Birleşik Devletler Maden Bürosu
Ort. PVT	: Ortalama Enine titreşim değeri (mm/s)
Ort. PVV	: Ortalama Düşey titreşim değeri (mm/s)
Ort. PVL	: Ortalama Boyuna titreşim değeri (mm/s)
Ort. PVS	: Ortalama Bileşke Vektörel Toplamı (mm/s)
Maks. Ort. PVS	: Maksimum Ortalama PVS değeri (mm/s)

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte hammadde gereksinimi de artmaktadır. Artan hammadde ihtiyacı, önceden ekonomik olmayan veya yerleşim yerlerine yakın bölgelerde oluşum gösterdiği için değerlendirilmeyen maden sahalarında işletmeye açma gereği doğurmuştur. Maden sahalarında bilinen en ekonomik üretim yöntemi delme patlatma yöntemidir. Patlatma, hız ve ekonomik yönden, çok verimli bir yöntem olmasına rağmen, özellikle çalışma bölgesi yakınlarında çeşitli çevresel etkilere ve büyük hasarlara neden olabilmektedir. Böylece yerleşim yerleri, baraj, yol, tünel, boru hattı, sit alanları yakınlarında yapılacak olan üretim patlatmalarında özel tedbirler alınması zorunludur. Çünkü patlatma sonucunda oluşan enerjinin önemli bir kısmı çevresel etkilere neden olan faydasız enerji olarak karşımıza çıkabilmektedir. Patlatmanın neden olduğu temel çevresel sorunlar; titreşim (yer sarsıntısı), hava şoku, toz ve gaz oluşumu, gürültü ve kaya fırlamasıdır (kaya savrulması). Bu çevreye verilen olumsuz etkilerin en önemlisi zemin titreşimleridir. Oluşan bu sarsıntılar tıpkı deprem dalgaları gibi kayaç özelliklerine bağlı olarak çok uzaklara taşınabilme özelliğine sahiptir. Oluşan titreşimin şiddetine ve etki alanına göre hem maddi kayıplara hem de can kayıplarına sebebiyet vermektedir. Bu yüzden, zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmalarının ve etki alanlarının tespit edilmesi, oluşabilecek muhtemel etkilerin en aza indirilmesini ya da en iyi ihtimalle bertaraf edilmesini sağlayacaktır.

1.2. Çalışmanın Önemi

İnsan yapımı titreşim kaynakları, inşaat faaliyetlerinde ve madencilikte kullanılan patlayıcı maddeler, madencilik işlemleri, inşaat etkinlikleri (yıkım faaliyetleri, ağır ekipmanların işletilmesi), trafik, endüstriyel faaliyetler ve yeraltı nükleer testleri gibi faaliyetleri içermektedir. Bu kaynaklar arasında patlatma işlemleri en tehlikeli zemin titreşim kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Patlatma sırasında açığa çıkan enerjinin sadece % 20-30'unun parçalanma için kullanıldığı gösterilmiştir. Buna faydalı enerji olarak tanımlanmaktadır. Geri kalan enerji kısmı (faydasız enerji) toz, gaz, hava şoku, gürültü, kaya fırlaması ve sismik dalgalar aracılığıyla zemin titreşimine dönüşmektedir. Bu olumsuz çevresel etkilerin en önemlisi yer sarsıntısıdır. Çünkü diğer etkiler patlatma

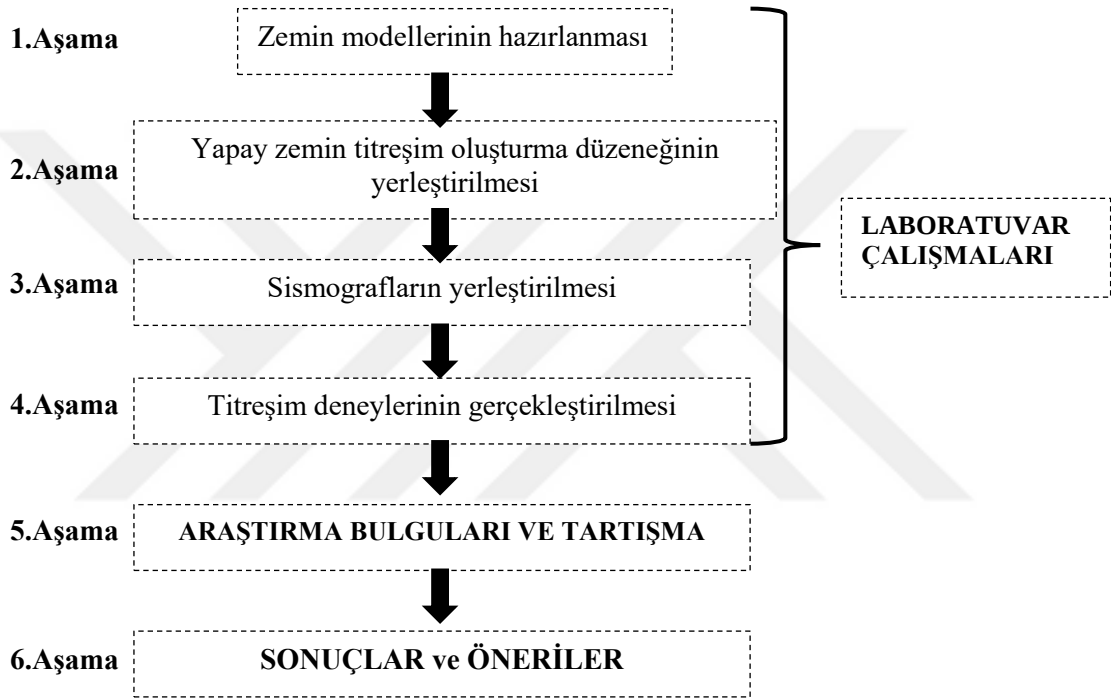
noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken zemin titreşimleri çok uzak bölgelerde algılanabilmektedir. Yer sarsıntısı insan rahatsızlığına, hassas ekipmanların arızalanmasına, yapısal hasarlara ve hatta can kayıplarına neden olabilmektedir. Bu sebeple, madencilik ve inşaat kazılarının temelini oluşturan patlatma faaliyetlerinin zemin titreşimlerinin özel olarak irdelenmesi gerekmektedir. Çünkü birçok bölgede insanlar, evlerinin patlatma kaynaklı yer sarsıntılarında dolayı hasar gördüğünü iddia etmekte ve bunu dava konusu yaparak işletmelerden tazminat talebinde bulunmaktadır. Bu iddiaların yersiz olduğu, çeşitli nedenlerden (zemin oturması, yaşlanma, heyelan) dolayı oluşan hasarların patlatma faaliyetlerine atıf edildiği sık karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının takip ve kontrol edilmesi ve hasar analizlerinin uzman kişilerce değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece, patlatma sırasında oluşan sismik dalgaların yayılım mekanizmasının incelenmesi büyük öneme sahiptir.

Sismik dalgaların yayılım mekanizmalarını etkileyen değişkenlerin anlaşılması ve bu değişkenlerin her birinin önemi ve etkisi, yer sarsıntılarının zararlı etkilerini en aza indirmek ve böylece insan rahatsızlığını ve yapısal hasarları önlemek için son derece önemlidir. Bu kapsamda yapılan araştırmaların çoğu kohezyonlu malzemelere (kayaçlar) odaklanmıştır. Kohezyonsuz malzemeler (zeminler) nadiren incelenmektedir. Bu çalışmada kum ve kil kullanılmış ve laboratuvarda arazi koşulları modellenerek farklı modeller oluşturulmuştur. Böylece farklı özelliklere sahip zeminlerde madencilik ve inşaat faaliyetlerindeki patlatma işlemlerinin sonucunda oluşan titreşim dalgalarının yayılım mekanizmaları irdelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yayılım olarak benzerlik gösteren deprem dalgalarının hasarlarını azaltmak için öneriler sunulmuştur.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışmada, farklı zeminlerde madencilik faaliyetlerindeki patlatma işlemlerinin sonucunda veya depremler sırasında oluşan zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmalarını irdelenmektedir. Bu amaçla kum ve kil zeminler kullanılarak laboratuvarda farklı arazi koşulları modellenmiştir. Kullanılan zeminlerin litolojisinin, suya doygunluğunun, sıkıştırma derecesinin, yer sarsıntısı kaynağının konumunun (yer üstünde veya yeraltında) ve bu zeminlere yerleştirilen yapay tabakaların sayısının, kalınlığının, konumunun ve yönünün, yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkileri yoğun olarak araştırılmıştır. Laboratuvar çalışmaları 6 ana zemin modeline ayrılmıştır. Model 1 ve Model 2 hariç diğer ana modeller yapay zemin titreşim sonuçlarının

analizlerini kolaylaştırmak için alt modellere ayrılmıştır. Bu zemin modelleri özel tasarlanan bir deney kasasına yerleştirilmiştir. Yapay zemin titreşimleri oluşturmak için özel bir düzeneğe kullanılmıştır. Oluşan maksimum parçacık hareketlerinin ölçümü ‘‘Instantel’’ firması tarafından geliştirilen ‘‘Minimate Plus’’ model 2 adet patlatma sismografi ile gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasının akış diyagramı Şekil 1.1’de özetlenmiştir.



Şekil 1.1. Çalışmanın akış diyagramı

Bu tezin birinci bölümünde çalışmanın önemi ve içeriği sunulmuştur. İkinci bölümde kaynak araştırmasına yer verilmiş ve hem patlatma ve patlayıcı maddeler, hem de patlatma sonucunda oluşan yer sarsıntıları ile ilgili bilgiler ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde laboratuvar çalışmalarında kullanılan materyal ve izlenen yöntem sunulmuştur. Dördüncü bölümde titreşim deneyleri sonucunda elde edilen araştırma bulguları ve elde edilen sonuçların analizi ve değerlendirilmesi sunulmuştur. Son olarak beşinci bölümde bu çalışmanın sonuçları ve önerileri bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Patlatma ve Patlayıcı Maddeler

2.1.1. Genel

Patlayıcı maddelerin keşfi öncelikle savaşları değiştirmiştir. Ardından, Avrupa’da ortaya çıkan sanayileşmenin bir sonucu olarak, bu yenilikçi malzemelerin bileşimleri ve özellikleri geliştirilmiş ve onların kullanım alanları da birçok askeri ve sivil uygulamayı kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu yeni kullanım alanları arasında, 1627’de Macaristan’daki bir yeraltı ocağında, verimliliği arttırarak, maliyeti optimize ederek ve kazı işlemi için gereken zamanı azaltarak patlayıcı maddelerin kullanılması madencilik endüstrisinde bir değişim yaratmıştır.

Günümüzde patlayıcılar birçok askeri ve sivil uygulamada büyük bir önem taşımakta ve inşaat, yıkım, tünel açma faaliyetleri ile madencilik sektörlerinde tartışılmaz bir unsur haline gelmiştir. Bu bölümde patlayıcı maddelerin tanımı, önemi ve kullanım alanları sunulmaktadır. Ayrıca patlatma mekanizması ve kaya parçalanma teorisi anlatılmaktadır.

2.1.2. Tanımlar

Patlayıcı maddeler, ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmadan çok hızlı bir şekilde ekzotermik reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler veren organik veya inorganik bileşimlerdir (Orica-Nitro, 2010).

Eğer reaksiyon alev alacak olursa ve ses hızının altında bir yayılma hızına sahipse buna yanma ya da deflagrasyon, reaksiyon bir sıkıştırma darbesi oluşturuyorsa ve yayılma hızı ses hızının üstünde ise buna patlama ya da detonasyon denir (Kahraman, 1997).

Reaksiyon hızları, patlayıcı maddelerin türünü tayin etmektedir. Reaksiyon hızı ses altı (subsonik) olursa “parlayıcı maddeler”, ses üstü (süpersonik) olursa “patlayıcı maddeler” olarak nitelendirilirler (Kekeç, 2010). Bu çalışma patlayıcı maddelere odaklanmaktadır, çünkü parlayıcı maddeler (kara barut gibi) düşük hızları ve duman kalitesinden dolayı artık madencilik patlatma işlemlerinde kullanılmamaktadır.

2.1.3. Patlayıcı maddelerin önemi ve kullanım alanları

Patlatma faaliyetleri birçok alanda yoğun bir şekilde uygulanan ve gün geçtikçe gerekliliği artan bir sektördür (Derin, t.y.). Günümüzde patlayıcı maddeler, madencilik, inşaat ve yıkım faaliyetleri, askeri amaçlar ve stratejik silahların yeraltı depolaması gibi birçok sektörde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, patlayıcılar enerji, petrol ve doğal gaz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve uzay bilimlerinde roket atmak için bile kullanılmaktadır. Dolayısıyla, patlayıcı maddeler birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır. Patlayıcı maddelerin bazı genel ve özel kullanım alanları aşağıda sunulmuştur (Kahriman, 2003):

- **Madencilik faaliyetleri:** Maden arama faaliyetleri (sismik aramalar, yarma, yol ve lokasyon hazırlığı, arama kuyusu ve galerilerdir), açık işletme faaliyetleri (genel hazırlık, gevşetme patlatmaları, basamak patlatması, yapı taşı üretimi ve taş ocaklarıdır), yeraltı işletme faaliyetleri (hazırlık işlemleri, üretim işleri ve tavan göçertme çalışmalarıdır) ve özel üretim yöntemleri (rezervin kütleli olarak gevşetilmesi, rezervin ve yan taşların kırılması ve çatlatılmasıdır).
- **Tünel açma faaliyetleri:** Kara yolu tünelleri, demir yolu tünelleri, toplu ulaşım (metro) tünel ve istasyonları, su ile kanalizasyon tünelleri ve derivasyon tünelleridir.
- **İnşaat sektörü:** Temel kazıları, kanal açma çalışmaları, yol yapımı, baraj ve gölet yapımı, kontrollü yıkımlar, bina ve beton yapılar, çelik konstrüksiyonlar, köprülerdir.
- **Petrol sektörü:** Sismik aramalar, rezervuarların gevşetilmesi ve boru hatlarının açılmasıdır.
- **Enerji sektörü:** Yeraltı güç santralleri, yeraltı petrol ve gaz depoları, yeraltı nükleer atık depoları ve yeraltı basınçlı hava depolarıdır.
- **Tarım ve ormancılık sektörü:** Tabakalara su geçirme özelliği sağlayarak çatlak oluşturma çalışmaları, ağaç köklerinin çıkartılması ve ağaç kesimidir.
- **Askeri faaliyetler:** Tahrip ve imha faaliyetleri, mevzilerin hazırlanması, stratejik füzeler için yeraltı üsleri, korunmaya yönelik yeraltı boşluk ve sığınaklarıdır.
- **Diğer faaliyetler:** Su altı atımları, buz ve buz altı çalışmaları, zemin stabilizasyon işlemleri, kuyu ve silo tıkanıklıklarının yıkılmasıdır.

Patlayıcı maddeler özellikle madencilik, tünel açma faaliyetleri, inşaat ve yıkım işlemlerinde olağanüstü avantajlar sağlamaktadır. Bu üstünlükler arasında:

- Eski kazı yöntemlerine (termik yöntemi gibi) ve hatta yeni mekanize kazı makinelerine kıyasla (kollu galeri açma makinesi, tam cephe tünel açma makineleri, sürekli kesici, dragline, ekskavatör, scraper, çarklı ekskavatör vs.) patlayıcı maddeler daha yüksek verimlilik ve randıman sağlamaktadır,
- Yukarıda sözü edilen kazı makinaları hasara maruz kalabilir. Her makina, belli jeolojik ve yapısal koşullarda kazıyı verimli hale getirecek şekilde üretilirken, patlatma belirli koşullarla sınırlandırılmayan basit ve esnek bir yöntemdir,
- Patlatma, kompleks görevlerin kısa bir sürede gerçekleştirilmesini sağlayan hızlı bir yöntemdir,
- Diğer kazı yöntemlerine kıyasla, patlatma optimize maliyetler sağlamaktadır,
- Patlayıcılar, özellikle daha az duyarlı patlayıcıların geliştirilmesiyle güvenlidir.
- Patlatma etkilerini kontrol altında tutmak için ve patlatmanın hedeflerine ulaşmak için, patlatma tasarımlarında patlatma parametreleri üzerinde gerekli modifikasyonun yapılması sağlanabilmektedir.

Verimliliği, hızı ve uygun maliyetleri nedeniyle günümüzde, patlatma kaya parçalamada kullanılan en yaygın yöntem olmuştur (Dağçimen, 2006). Madencilik işlemleri dünya çapında üretilen patlayıcıların %75'inden fazlasını tüketmektedir (Bhandari & Jain, 2014).

2.1.4. Patlatma mekanizması ve kaya parçalanma teorisi

Patlayıcı maddeler uygun bir şekilde ateşlendiğinde kendi kendine devam eden bir ekzotermik reaksiyonla yüksek sıcaklık, ısı enerjisi ve basınçla büyük gaz hacmi üretmektedir (Köse, 2015; Tatiya, 2005). Oluşan gazın sıcaklığı 3000-5000°C arasındadır ve patlamadan kaynaklanan delik basıncı, atmosferik basıncın 20.000-100.000 katına kadar ulaşarak sadece 5 milisaniyede patlatma deliğinin orijinal hacmi 10 katına kadar artar (Kekeç, 2010). Ardından yüksek hızla (5000 m/s'ye kadar) hareket eden bir stres dalgası oluşturarak kayaçların parçalanmasına neden olmaktadır. Kayaçların parçalanması üç aşamada gerçekleşmektedir.

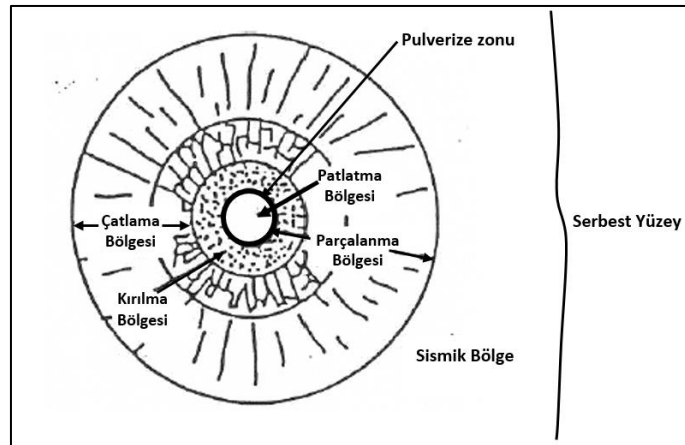
- **Birinci Aşama:**

Patlayıcı maddelerin detonasyonu patlatma deliğinde ani ve yüksek basınç oluşturmaktadır. Bu yüksek etki delik duvarlarının plastik deformasyonuna yol açmakta ve bir ila birkaç milimetre genişliğinde delik cidarı yoğrulmuş bir hamur gibi şekil değiştirmektedir. (Bayraktaroğlu, 2003). Bu mikronize boyutta kırılma ile karakterize edilen plastik deformasyon bölgesine “pulverize zonu” denilmektedir.

Plastik deformasyon bölgesinin sonu, kırılma ve çatlama bölgelerinden oluşan parçalanma bölgesinin başlangıcını işaretlemektedir. Patlatma neticesinde oluşan basınç birim deformasyon dalgalarının (BBDD) genliği kayacın dayanımlarından (dinamik basınç birim deformasyon limiti, plastik bölge) çok daha yüksek olduğundan dolayı, bu dalgalar patlatma deliğinin duvarlarını kırıp, kayaçları parçalayarak her yöne ilerlemektedir. İlk olarak kırılma bölgesi oluşur. Bu bölgenin genişliği delik çapının 2 katından daha küçük ve istisnai olarak delik çapının 7,5 katına kadar çıkabilmektedir. Kırılma bölgesindeki kayaçlar tamamen parçalanmaktadır. Ancak BBDD’nın şiddeti gittikçe azalır ve daha fazla kırılma oluşturamamaktadır. (Bayraktaroğlu, 2003).

- **İkinci Aşama:**

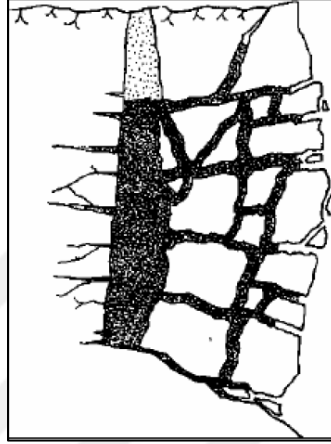
Oluşan basınç birim deformasyon dalgaları (BBDD) patlatma deliğinin yakınındaki serbest yüzeylere (süreksizlikler, eklemler, şev aynası, fay, tünel ve galeri aynası vb.) çarparak tekrar geri yansıtılır ve dinamik çekme birim deformasyon dalgaları (ÇBDD) oluşturur (Kekeç, 2010). Oluşan ÇBDD, kayacın dinamik çekme birim deformasyon limitinden daha yüksek ise ışınsal (radyal) ve teğet çatlaklara yol açmaktadır. Nitekim çatlama bölgesi oluşmaktadır. Şekil 2.1 patlatma sonucunda oluşan kaya parçalanmasının aşamalarını göstermektedir.



Şekil 2.1. Sonsuz Kayaç ortamı içindeki patlatma deliği çevresinde parçalanma olayı (Kahrıman, 2002)

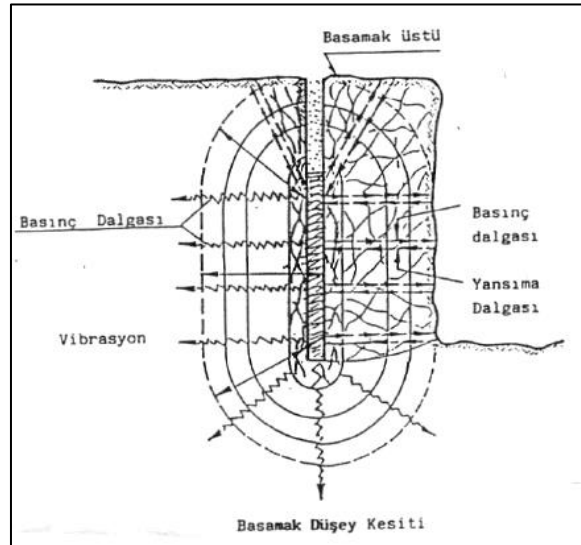
- **Üçüncü Aşama:**

Patlatma neticesinde kimyasal reaksiyon nedeniyle oluşan yüksek basınçtaki ve sıcaklıktaki gazlar, yukarıda açıklanan dalgaların yayılması nedeniyle doğal (fay, eklem, vb.) ve yeni oluşan çatlaklar ile süreksizler boyunca yayılarak bu süreksizleri genişletmekte ve kaya kütlelerini serbest yüzeye öteleyerek hareket ettirmektedir (Şekil 2.2). Böylece, kayacın parçalanmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.2. Kırılmış kayaç kütlelerinde gazın yayılması (üçüncü aşama) (Kekeç, 2010)

Yakında serbest yüzey olmadığı hallerde, genlik olarak kayacın dayanma sınırının altına düşen şok, sönümleninceye kadar sismik enerji (elastik titreşim dalgaları, yani zemin titreşim) olarak yayılmaya devam ederler (Şekil 2.3). Titreşimlerin olduğu bu bölge sismik bölge olarak tanımlanmaktadır. (Abdullahoğlu, 1993; Bayraktaroğlu, 2003).



Şekil 2.3. Basamak düşey kesitinde patlatma (Kahrıman, 2002)

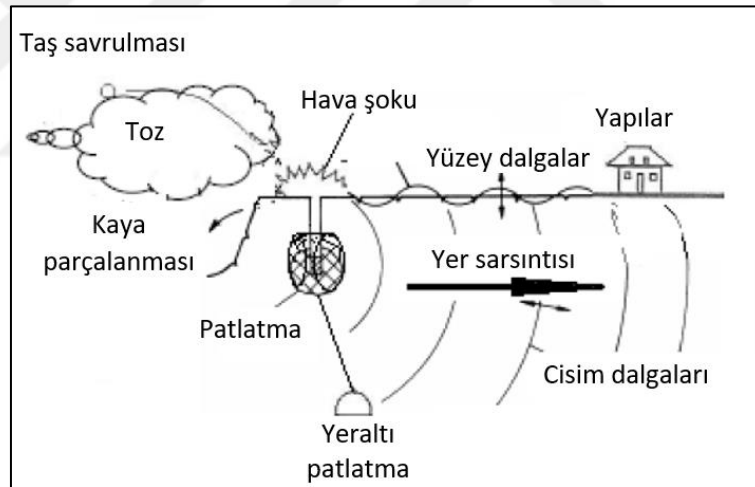
2.1.5. Patlatma sonucunda oluşan çevresel etkiler ve kaynaklanan yapısal ve kişisel tepkiler

Kaya parçalanmasında kullanılabilecek çeşitli yöntemlere rağmen, patlatma yöntemi kaya gevşetilmesinde en çok kullanılan ve uygulanan tekniktir. Fakat bu yöntem, hız, etkinlik ve ekonomik yönden, çok verimli bir yöntem olmasına rağmen, kişisel tepkiler ve yapısal hasarlar yaratabilecek çeşitli çevresel etkilere neden olabilmektedir.

Patlatma sırasında açığa çıkan enerji iki kategoriye ayrılmaktadır:

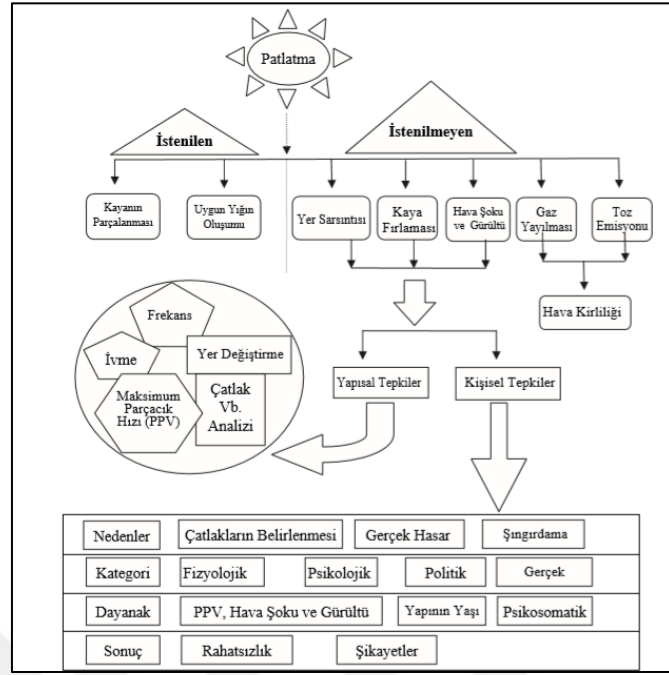
- Faydalı enerji,
- Faydasız enerji.

Faydalı enerji kayaların parçalanmasını ve gevşetilmesini sağlamaktadır. Ancak, kayaların kırılmasında etkisi olmayan enerji (faydasız veya verimsiz artık enerji) sismik dalgalar aracılığıyla yer sarsıntısı (*ground vibration*), hava şoku (*air blast*), taş savrulması (*flyrock*), gürültü, ısı, toz ve gaza (*blasting fumes*) dönüşmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Patlatmanın çevresel etkileri (Elevli & Arpaz, 2010)

Böylece, patlatma neticesinde oluşan çevresel etkiler tedbir alınmadığı takdirde hem çalışanlar, çevredeki sakinler, fauna ve bitkiler üzerinde olumsuz etkilere hem de binalar, üstyapılar, altyapılar, tarihi eserler, enerji hatları, yollar, yeraltındaki borular vb. üzerinde yapısal hasarlara neden olabilmektedir. Toz emisyonu ve gaz yayılması, hava kirliliğine neden olurken, taş fırlaması, gürültü, yer sarsıntısı ve hava şoku Şekil 2.5'te gösterildiği gibi birçok yapısal ve kişisel tepkilere, can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir.



Şekil 2.5. Patlatma ile ilgili kişisel tepkilerin kavramsal diyagramı (Hamza, 2008)

Bahsedilen patlatma neticesinde oluşan etkilerin en önemlisi yer sarsıntısıdır. Çünkü taş savrulması, hava şoku ve gürültü, ısı, toz ve gaz oluşumu patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken zemin titreşimleri uzak bölgelerde bile algılanabilmektedir ve çeşitli kişisel tepkiler ile yapısal hasarlara sebep olmaktadır. Bu nedenle patlatma sonucunda oluşan zemin titreşimi, mühendisler, patlatma tasarımcıları ve çevreciler için yoğun olarak incelenen bir konudur. Madencilikte, yer sarsıntısı nedeni ile yapılan şikayetler 3 ana grupta toplanmaktadır (Hamza, 2008):

- Gerçek hasara bağlı şikayetler,
- Endişe, korku ve bilgisizlikten kaynaklanan şikayetler,
- Çıkar sağlamaya yönelik şikayetler.

Bu sebeple, patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının seviyesinin incelenmesi, analiz edilmesi, tahmin edilmesi ve kontrol edilmesi bir kat daha önem kazanmaktadır. Bu nedenle, yıllar geçtikçe, zemin titreşiminden kaynaklanan kişisel ve yapısal hasarlara odaklanan çalışmalar artmaktadır. Bu çalışma, patlatma neticesinde oluşan yer sarsıntılarının farklı zeminlerdeki yayılım mekanizmalarını incelemektedir.

2.2. Patlatma Sonucunda Oluşan Zemin Titreşimleri

2.2.1. Tanımlar ve genel bilgiler

Yer sarsıntısı, suya düşen taş çarpmalarından dolayı dışa doğru yayılan dalgacıklar gibi patlama noktasından dışarı doğru yayılan bir dalga hareketidir (Elevli & Arpaz, 2010). Bazı referanslar, doğal afetler (depremler, fırtınalar) veya insan kaynaklı (patlatma, inşaat faaliyetleri, trafik, kazılar, nükleer testler ve ulaşım araçları gibi) bir sonuç olarak zemin titreşimini tanımlasa da (Duarte, Misael, & Filho, 2002), genel olarak, herhangi bir doğal fenomen hariç insan kaynaklı faaliyetler tartışılırken zemin titreşimi veya yer sarsıntısı terimi kullanılmaktadır (Srbulov, 2008).

İnsanların rahatsızlığına, hassas ekipmanların arızalanmasına ve yapısal hasarlara neden olabilecek insan yapımı zemin titreşim kaynakları; patlatma, madencilik işlemleri, inşaat faaliyetleri, trafik, petrol arama faaliyetleri, makinelerin çalışması ve nükleer testler gibi aktivitelerden kaynaklıdır. Patlatma etkisiyle oluşan zemin titreşimi diğer insan yapımı kaynaklara kıyasla daha kısa sürmektedir. Ayrıca patlatma sonucunda oluşan zemin titreşimleri daha geniş bir frekans bandı (1-300 Hz) ve daha yüksek parçacık ivmesiyle (0,02-50 m/s²) karakterize edilmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Bazı insan kaynaklı zemin titreşimlerinin özellikleri, ISO 4866 (International Organisation for Standardisation, 2010)

Titreşim kaynağı	Frekans bandı (Hz)	Parçacık hız aralığı (mm/s)	Parçacık ivme aralığı (m/s ²)
Trafik (yol ve demiryolu)	1-100	0,2-50	0,02-1
Patlatma	1-300	0,2-100	0,02-50
Kazı	1-100	0,2-100	0,02-2
Makinalar	1-100	0,2-100	0,02-1

2.2.2. Patlatma işlemlerinde yer sarsıntısının değerlendirilmesinin önemi

İnsan yapımı titreşim kaynakları incelendiğinde çeşitli alanlarda ve özellikle madencilik faaliyetlerinde yoğun olarak kullanılan patlayıcı maddeler ana endişe kaynağıdır. Patlatma işlemleri, en tehlikeli zemin titreşim kaynağıdır ve dolayısıyla insan rahatsızlıkları ile esaslı hasarların ardındaki sayısız şikâyetlerin ana sebebi olarak öne çıkmaktadır. Böylece, kişisel ve yapısal etkileri önlemek için patlatma sonucunda oluşan

yer sarsıntısının değerlendirilmesi, şev stabilitesi, gaz ve petrol boru hatlarının güvenliği, anıtlar ve tarihi binalar, barajlar, köprüler, nükleer yapılar ve yeraltı depoları gibi birçok tasarımın korunmasında önemlidir. Bunun sebebi, yer sarsıntılarının, patlatmadan kaynaklanan diğer etkilere nazaran çok daha uzak mesafelere ulaşabilmesi, yani daha büyük bir bölgeyi etkilemesidir. Ayrıca patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının, deprem dalgaları ile benzer hareket etmeleri yapılar üzerindeki hasar etkilerini arttırmaktadır.

2.2.3. Patlatma işlemlerinde yer sarsıntısının oluşum mekanizması

Patlatma neticesinde açığa çıkan enerjinin sadece %20 ila %30'u, kayanın parçalanmasını sağladığından faydalı enerji olarak adlandırılmaktadır. Geri kalan enerji kaya fırlaması, hava şoku ve yer sarsıntısı gibi çevresel etkilere dönüşmektedir. Faydalı enerji, kayacın parçalanma seviyesi kayacın dayanımından daha az olana kadar sağlanmaktadır (Kuzu, 2008). Bu sebeple, bu enerji kayacın dayanımı altında kalıcı bir deformasyona neden olmaz.

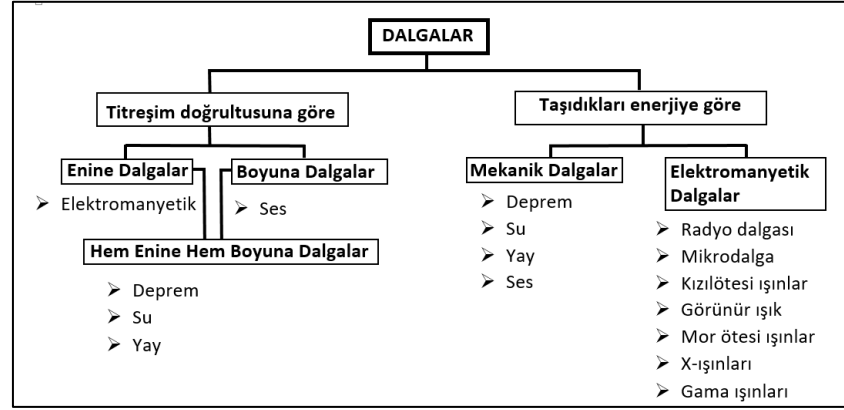
Patlatma neticesinde oluşan basınç birim deformasyon dalgalarının (BBDD) genliği kayacın dayanımlarından daha yüksek olduğunda, bu dalgalar kayaçları parçalayarak her yöne ilerlemektedir. Ardından oluşan basınç birim deformasyon dalgaları (BBDD) patlatma deliğinin yakınındaki serbest yüzeylere çarparak tekrar geri yansıtılır ve dinamik çekme birim deformasyon dalgaları (ÇBDD) oluşturulur (Kekeç, 2010). Oluşan ÇBDD kayacın dinamik çekme birim deformasyon limitinden daha yüksek ise ışınsal (radyal) ve teğet çatlaklara yol açmaktadır. Yakında serbest yüzey olmadığı hallerde, genlik olarak kayacın dayanma sınırının altına düşen şok, sönümleninceye kadar sismik dalgalar aracılığıyla yayılmaya devam eder.

2.2.4. Sismik dalgalar

2.2.4.1. Dalgaların tanımı ve sınıflandırılması

Titreşim hareketiyle madde aktarımı olmadan ritmik olarak enerjiyi bir yerden başka bir yere (boşlukta ve madde içinde) ileten şekil değişikliklerine dalga denir (Kılıçkaya, 1996; Yılmaz, 2016). Dalgaların yayılması için ortam esnek olmalıdır. Enerji aktarımı partiküllerin birbirine çarpmasıyla oluşmaktadır. Böylece, dalga hareketinde ortam boyunca herhangi bir madde aktarımı, yer değiştirme veya ortam ilerlemesi

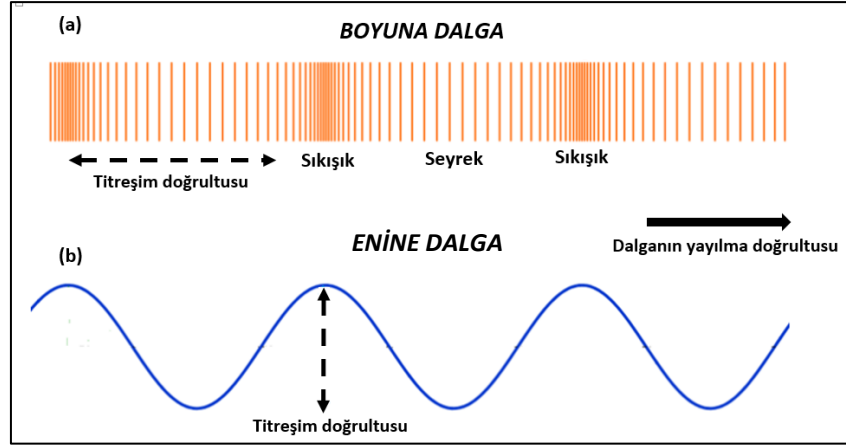
olmamasını vurgulamak önemlidir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi, dalgalar titreşim doğrultusuna veya taşıdıkları enerjiye göre sınıflandırılmaktadır.



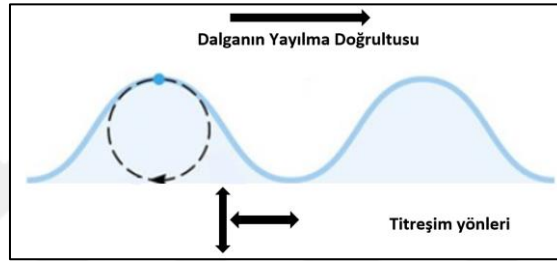
Şekil 2.6. Dalgaların sınıflandırılması (Yılmaz, 2016)

Titreşim doğrultusuna göre, dalgalar üç ana kategoriye ayrılmaktadır:

- **Boyuna dalgalar** (*longitudinal waves*): Parçacıkların titreşim doğrultusu, dalga yayılma doğrultusuna paraleldir. Boyuna dalgalar, Şekil 2.7’de gösterildiği gibi periyodik olarak değişmekte olan sıkışık (*compression*) ve seyrek (*rarefaction/expansion*) bölgelerden oluşmaktadır. Ses dalgaları bu tür dalgalara örnek olarak verilebilmektedir.
- **Enine dalgalar** (*transverse waves*): Parçacıkların titreşim doğrultusu, dalga yayılma doğrultusuna diktir (Şekil 2.7). Elektromanyetik dalgalar bu tür dalgalara örnek olarak verilebilmektedir.
- **Hem enine hem boyuna dalgalar**: Bazı dalgalar geçerken parçacıkların titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna hem paralel hem de dik olarak gerçekleşir. Örneğin deprem, su ve yay dalgaları. Şekil 2.8’de su dalgaları hem enine hem de boyuna dalgaların bir örneği olarak gösterilmektedir. Bu dalgaların parçacık hareketi saat yönünde hem yatay hem de düşey bileşenlerde çemberler şeklinde bir hareket göstermektedir.



Şekil 2.7. Boyuna ve Enine dalgaların parçacık hareketi



Şekil 2.8. Hem boyuna hem enine dalgalar: Su dalgaları (Hancher, 2015)

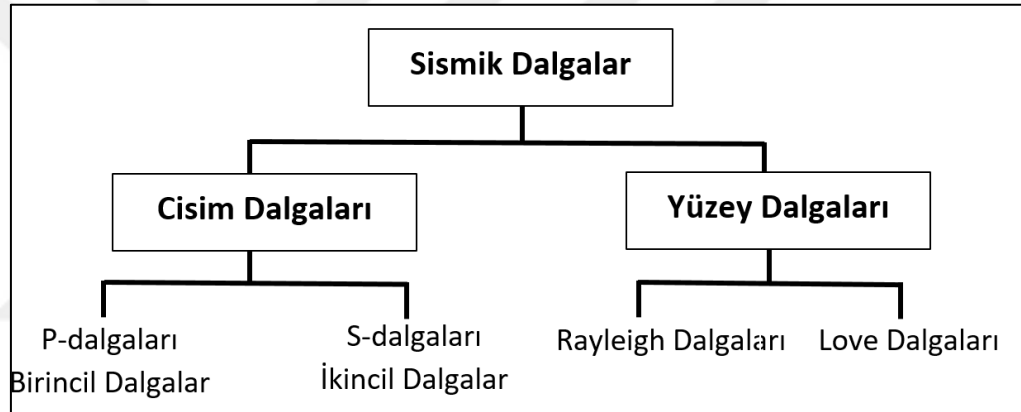
Bunun haricinde, dalgalar taşıdıkları enerjiye göre de sınıflandırılabilir:

- **Mekanik dalgalar** (*Mechanical waves*): Mekanik dalgaların yayılması için maddesel bir ortam gerekmektedir. Bu dalgalar boşlukta (uzay gibi) yayılamazlar. Su, ses, deprem ve yay dalgaları mekanik dalgalardır. Mekanik dalgalar enine veya boyuna dalgalar olabilmektedir.
- **Elektromanyetik dalgalar** (*Elektromagnetik waves*): Elektromanyetik dalgaların yayılması için maddesel bir ortama ihtiyaç yoktur ve hem maddesel ortamlarda hem de boşlukta (*vaccum of space*) ilerleyebilirler. Bu dalgalar elektrik ve manyetik alanlarda oluşur ve boşlukta ışık hızıyla ilerler (Tatar Yıldırım, t.y.). Bu dalga grubu radyo, görünür ışık, radar dalgalar, mikrodalgalar, televizyon dalgaları, X ışınları, morötesi ışınlar, gama ışınları, kızılötesi ışınlar gibi dalgaları kapsamaktadır. Bütün elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Mekanik dalgalara kıyasla elektromanyetik dalgalar daha yüksek hızlara sahiptir ve daha uzun mesafelere ulaşmaktadır.

2.2.4.2. Sismik dalgaların özellikleri ve sınıflandırılması

Depremeler gibi doğal veya patlatma, trafik faaliyetleri, kazılar ile nükleer testler gibi insan kaynaklı sismik kaynaklardan üretilen enerji (zemin titreşimi), deprem dalgaları aracılığıyla ortamda yayılmaktadır. Sismik dalgalar olarak daha yaygın olarak adlandırılan bu deprem dalgaları mekanik dalgalardır ve sadece maddesel ortamlarda hareket edebilmektedir.

Elastik dalgalar olarak da bilinen bu sismik dalgalar yeryüzünün katmanlarında cisim dalgaları (*body waves*) olarak yayılabilir veya yüzey boyunca yüzey dalgaları (*surface waves*) olarak ilerleyebilir. Cisim dalgaları Birincil (P) ve İkincil (S) dalgaları kapsamaktadır. Yüzey dalgaları ise Rayleigh (R) ve Love (L) dalgalarına ayrılmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Sismik dalgaların sınıflandırılması

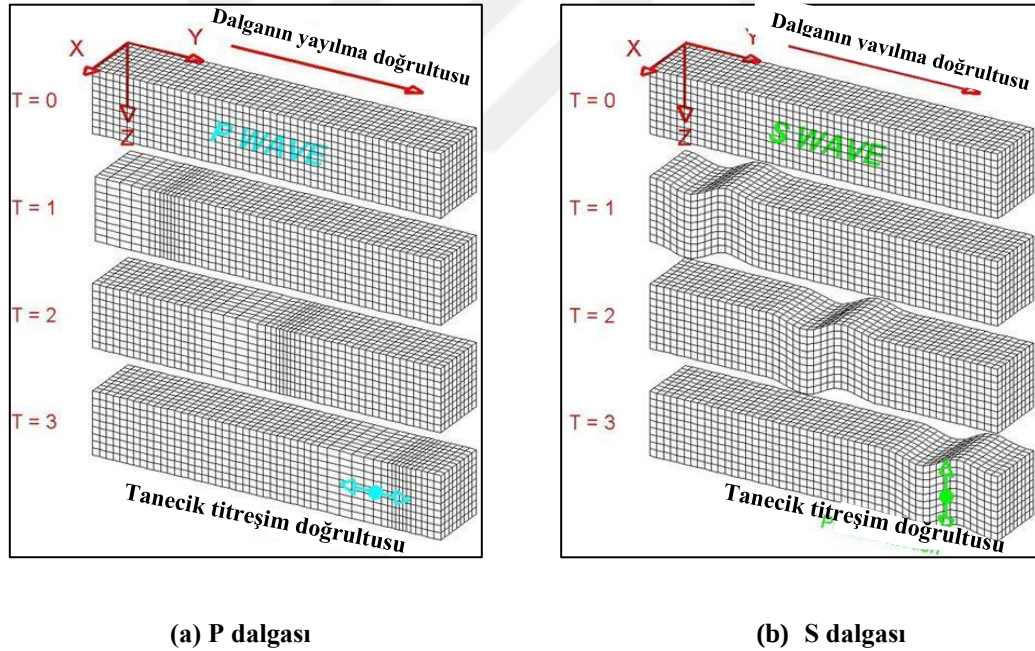
2.2.4.2.1. Cisim dalgaları

Cisim dalgaları (*body waves*) küresel bir yayılma sergileyerek yer içerisinde yayılmaktadır. Bu dalgalar, yüzey dalgalarından daha yüksek hızlara ve daha yüksek frekanslara sahiptir. Birincil veya P dalgalarının geçişi maddenin hacim değişikliğine neden olurken ikincil veya S dalgalarının geçişi maddenin şeklini modifiye etmektedir.

- **Birincil (P) Dalgalar (*Longitudinal, Compressional, Primary or Pressure waves*):** Birincil, sıkışma veya boyuna dalgalar olarak da bilinen P dalgaları sismik dalgaların en hızlı türüdür. Katı ortamlarda 14 km/s'ye ulaşabilen P dalgaları, sismik kayıt enstrümanları tarafından ilk kaydedilenlerdir. Birincil dalgalar ikincil ve yüzey dalgalarından daha yüksek frekanslar sergilemektedir. P dalgalarının

geçişi ile taneciklerin titreşim doğrultusu, dalganın yayılma doğrultusuna paralel olarak ardışık sıkışık (*compression*) ve seyrekleşme (*rarefaction /expansion /dilatation*) bölgelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.10). P dalgalarının geçişinden kaynaklanan itme-çekme hareketi ortamın şeklini değiştirmeden hacminin değişmesine neden olmaktadır.

- **İkincil (S) Dalgalar (*Transverse, Secondary or Shear waves*):** İkincil, enine veya kesme dalgalar olarak da bilinen S dalgaları, P dalgalarından 1,7-1,8 kat daha yavaştır, fakat yüzey dalgalarından daha hızlıdır ve 8 km/s'ye ulaşabilmektedir. S dalgalarının geçişi ile taneciklerin titreşim doğrultusu, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi dalga yayılma doğrultusuna dik olarak gerçekleşir. Sıvılar ve gazlarda kesme dayanımı (*shear strength*) olmaması, S dalgalarının bu ortamlarda yayılmasını önler ve böylece S dalgaları sadece katı maddelerde hareket edebilir. S dalgaları P dalgalarından daha büyük genliğe yani daha yıkıcı bir karaktere sahiptir. Ancak, yüzey dalgalarıyla karşılaştırıldığında cisim dalgaları daha az tehlikelidir.



Şekil 2.10. Cisim dalgalarının parçacık hareketi (Braile, 2006)

Cisim dalgalarının yayılma hızı büyük oranda karşılaşılan malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerine bağlıdır. Çizelge 2.2'de, farklı litolojilerde P ve S dalgalarının yayılma hızı gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Farklı litolojilerde tipik P ve S dalgalarının hızları (Bourbie, Coussy, & Zinszner, 1987)

Jeoloji	P dalga hızı (m/s)	S dalga hızı (m/s)	Yoğunluk (g/cm ³)
Kuru kum	400-1200	100-500	1,5-1,7
Islak kum	1500-2000	400-600	1,9-2,1
Marn	2000-3000	750-1500	2,1-2,6
Kalker	3500-6000	2000-3300	2,4-2,7
Kireçtaşı	2300-2600	1100-1300	1,8-3,1
Kaya tuzu	4500-5500	2500-3100	2,1-2,3
Anhidrit	4000-5500	2200-3100	2,9-3,0
Dolomi	3500-6500	1900-3600	2,5-2,9
Granit	4500-6000	2500-3300	2,5-2,7
Bazalt	5000-6000	2800-3400	2,7-3,1
Gnays	4400-5200	2700-3200	2,5-2,7
Kömür	2200-2700	1000-1400	1,3-1,8
Su	1450-1500	-	1

2.2.4.2.2. Yüzey dalgaları

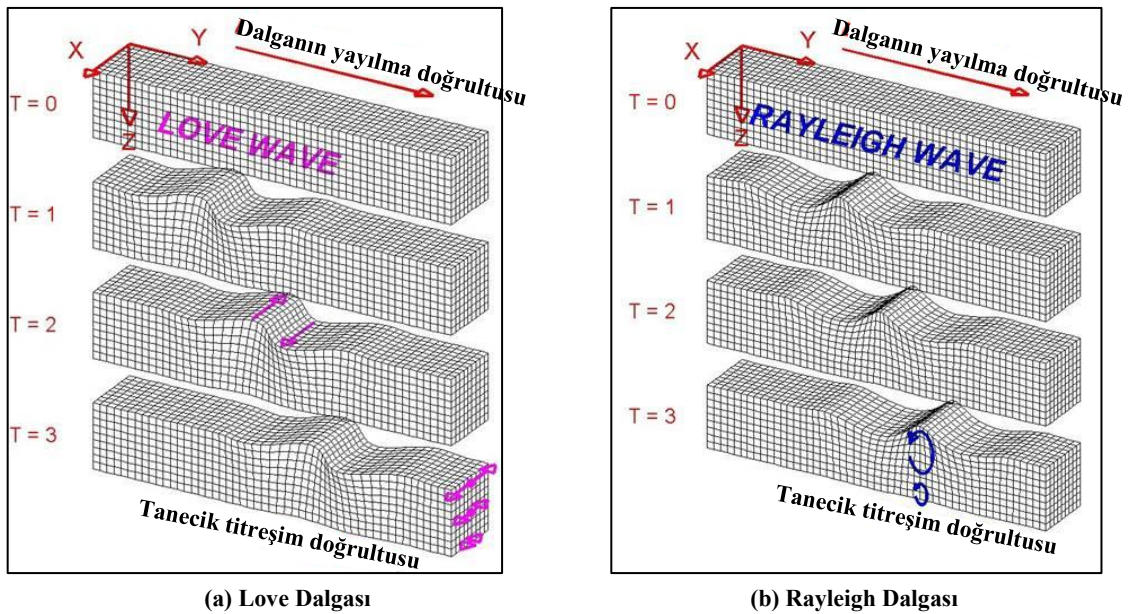
Yüzey dalgaları (*surface waves*), yerkürenin yüzeyi boyunca veya yer yüzeyinin hemen altında hareket etmekte ve dairesel bir yayılma sergilemektedir. Bu dalgalar sadece serbest bir yüzey boyunca veya iki farklı katı ortam arasındaki sınır boyunca hareket etmektedir. Cisim dalgalarına kıyasla yüzey dalgaları, daha düşük frekanslara ve yayılma hızlarına ayrıca daha büyük genliklere ve daha uzun sürelerle sahiptir. Bundan başka, yüzey dalgaları daha fazla yer hareketi üretmekte, daha ileri mesafelere yayılabilmekte ve mesafe gittikçe cisim dalgalarına kıyasla daha az sönümlenmektedir (*the damping effect*). Yüzey dalgalarının hızları frekanslarına bağlıdır (*disruptive waves*): Düşük frekans, daha yüksek hızla ve daha fazla derinliklere yayılmayı belirtmektedir. Ancak derinlikle bu dalgaların genlikleri azalmaktadır.

Cisim dalgalarına kıyasla yüzey dalgaları daha tehlikeli ve daha fazla hasarlara neden olmaktadır. Cisim dalgaları serbest bir yüzeye çarptığında veya yer yüzeyinin dengesi aniden bozulduğunda yüzey dalgaları oluşur (Taqieddin, 1986). Ayrıca yüzey dalgaları toplam titreşim enerjisinin 2/3'ünden fazlasını içerir (Nateghi, 2012). Yüzey dalgaları Love ve Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılmaktadır:

- **Love (L) Dalgaları (*Love waves*):** Love dalgaları, adını 1911'de varlığını keşfeden bir İngiliz matematikçi olan Augustus Edward Hough Love'dan almıştır. Bu dalgalar, Rayleigh dalgalarından daha hızlıdır ve yaklaşık 4 km/s hızla

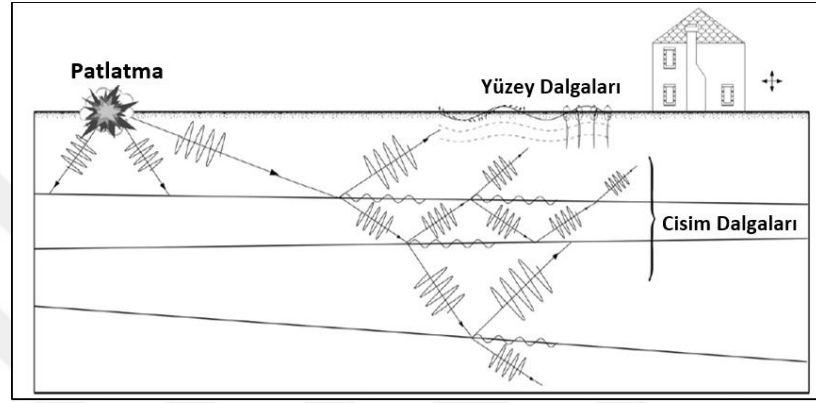
yayılmaktadır. Ancak Love ve Rayleigh dalgalarının arasındaki hız farkı sismogram üzerinde ayırt edilmeyecek kadar küçüktür. Love dalgaları geçişi ile etkilenen parçacıkların titreşim doğrultusu dalga yayılma doğrultusuna yatay düzlemde dik olarak hareket etmektedir (Şekil 2.11). Bu dalgalar maddenin şeklini değiştirir, tanecikleri bir yandan diğer yana hareket ettirir ve genellikle yapıların temellerine zarar verirler. Love dalgalarının oluşması için serbest yüzeyin altında en az bir tabaka olması gerekmektedir ve derinlikle doğru orantılı bir hız artışı sağlayan ortamlarda yayılabilmektedir.

- **Rayleigh Dalgaları (Rayleigh waves):** Rayleigh dalgaları, 1885'te varlığını matematiksel olarak tahmin eden John William Strutt 3. Baron Rayleigh tarafından adlandırılmıştır. Bu dalgalar, yüzeydeki P ve S dalgalarının etkileşiminin bir sonucudur. Yaklaşık 3 km/s hızla hareket eden bu dalgalardan etkilenen taneciklerin titreşim doğrultusu, bir yuvarlanma hareketini içermektedir (okyanus üzerinde ilerleyen su dalgası gibi): Dalga yayılımının doğrultusunda yatay ve dikey bir hareket bileşenidir (dikey düzlemde bir retrograd eliptik harekettir) (Şekil 2.11). Bu ters eliptik hareket, Rayleigh dalgasını özellikle binaların temelleri için en tehlikeli dalga türü yapmaktadır. Bu dalganın geçişi malzemelerde hacim değişikliğine neden olmaktadır. Sismograflarda Rayleigh dalgası uzun bir dalga süresi oluşturur. Ayrıca Love dalgalarına kıyasla daha büyük bir genliğe sahiptir.



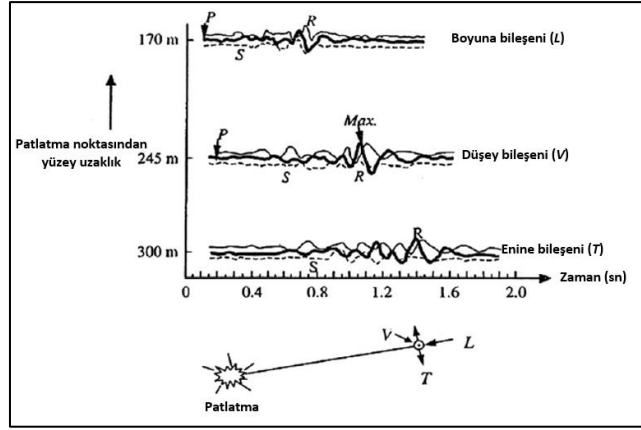
Şekil 2.11. Yüzey dalgalarının parçacık hareketi (Braile, 2006)

Cisim ve yüzey dalgaların özellikleri, yayılma hızları ve mekanizmaları, karşılaşılan tabakaların dinamik ve fiziko-mekanik özelliklerine bağlıdır (litoloji, kalınlık, yoğunluk, gözeneklilik, sıkışma derecesi, süreksizlikler, fay varlığı, su içeriği vb.). Ayrıca, yeryüzünün heterojen yapısı ile yansıma (*reflection*), kırılma (*refraction*), ile kırınım (*diffraction*) gibi çeşitli durumlar, bu dalgaların yayılımının karmaşıklığına neden olmaktadır. Şekil 2.12’de patlatma neticesinde oluşan cisim ve yüzey dalgalarının bir yayılma örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Patlatma neticesinde oluşan cisim ve yüzey dalgalarının kompleks yayılma mekanizmaları (Ainalis et al., 2018)

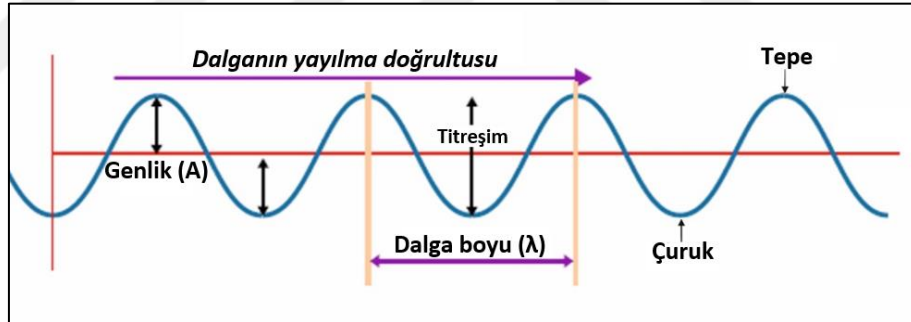
Şekil 2.13’te bir patlatma sonucunda sismograf yardımıyla elde edilen yer sarsıntısının bir kayıt örneği sunulmaktadır. Madencilik faaliyetlerindeki patlatma işlemlerinde, yukarıda belirtilen faktörlere ek olarak, kullanılan gecikmeler nedeniyle her bir dalga tipinin tanımlanması zor hale gelmektedir. Bu kapsamda patlatma neticesinde oluşan zemin titreşiminden gelen hasarın değerlendirilmesi, dalga tipini belirlemeye değil, yer sarsıntısının frekansı ve parçacık hızı gibi başka parametrelere dayanmaktadır. Madencilik faaliyetlerinde, patlatmalar yüzeye yakın olduğu için, üretilen dalgaların çoğunlukla tehlikeli etkileriyle bilinen yüzey dalgaları olduğunun belirlenmesi önemlidir.



Şekil 2.13. Patlatma sonucunda sismograf yardımıyla elde edilen yer sarsıntısının bir kayıt örneği (Pal Roy, 2005)

2.2.5. Sismik dalgalara ait temel büyüklükler

Sismik dalgaların temel büyüklükleri şunlardır: Tepe, çukur, genlik (A), dalga boyu (λ), frekans (f), periyot (T), hız (v) ve açısal frekans (ω) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Sismik dalgaların temel büyüklükleri (Enine Dalgalar için)

➤ **Tepe (Crest) ve çukur (Trough)** : Enine dalgalar için tepe noktası maksimum pozitif titreşimi gösteren nokta (en üst nokta) ve çukur noktası maksimum negatif titreşimi gösteren noktadır (en alt nokta). Boyuna dalgalar için tepe noktası, sıkışık bölgelere denk gelir ancak çukur noktası seyrek bölgeye karşılık gelmektedir.

➤ **Genlik (A) (Amplitude)**: Genlik, dalganın taşıdığı enerji miktarının bir göstergesidir. Böylece, daha yüksek bir genlik daha yüksek taşınan enerji anlamına gelmektedir ve aynı şekilde düşük genlik, düşük taşınan enerjiyi göstermektedir. Enine dalgalar için genlik, denge pozisyonundan tepe veya çukur noktasına dik mesafedir yani

maksimum uzaklıktır. Ancak, boyuna dalgalar için sıkışık ve seyrek bölgeler arasındaki farktır. Boyuna dalgalar için, sıkışma yoğunluğu arttıkça genlik artmaktadır.

➤ **Dalga boyu (λ)** (*Wavelength*): Lambda (λ) ile gösterilen ve metre ya da Angström ($\text{\AA}$) cinsinden ifade edilen dalga boyu, enine dalgalar için, iki ardışık tepe veya iki ardışık çukur arasındaki uzaklıktır. Ancak, boyuna dalgalar için, dalga boyu iki ardışık sıkışık veya iki ardışık seyrek bölge arasındaki uzaklıktır.

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \quad (2.1)$$

➤ **Frekans (f)** (*Frequency*): Hertz (Hz) cinsinden ifade edilen frekans, bir noktadan geçen saniyedeki dalga sayısını temsil etmektedir. Dalga boyu uzadıkça, frekans azalmaktadır.

$$1 \text{ cps (cycle per second)} = 1 \text{ Hz (cps: saniye başına döngü)} \quad (2.2)$$

➤ **Periyot (T)** (*Period*): (T) ile gösterilen ve (s) ile ifade edilen periyot, ortamda bir parçacık tarafından tam bir dalganın tamamlanması için gereken süredir.

➤ **Hız (v)** (*Velocity*): Dalganın ilerleme hızı, dalga boyuna ve ortamın fiziksel özelliklerine bağlıdır. (m/s) cinsinden ifade edilen dalganın hızı aşağıda belirtilen formül kullanılarak hesaplanır:

$$v \text{ (m/s)} = f \text{ (Hz)} \times \lambda \text{ (m)} \quad (2.3)$$

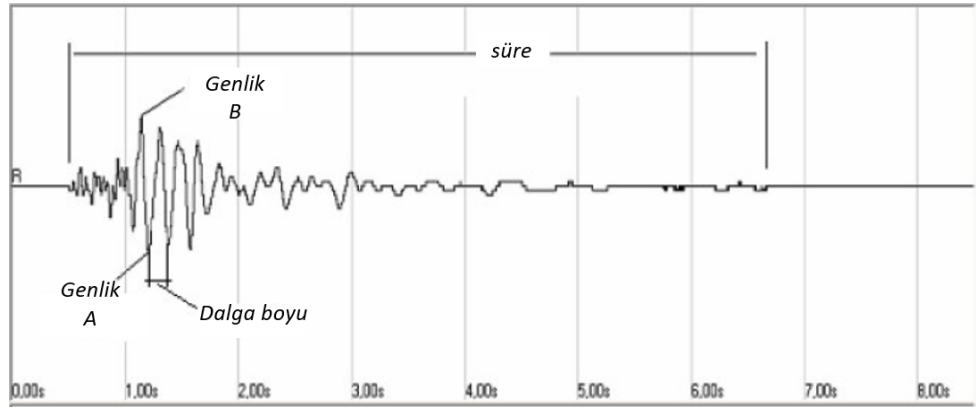
➤ **Açısal frekans (ω)** (*Angular frequency*): Açısal frekans radyan/saniye birimi ile ifade edilen frekanstır.

Çizelge 2.3'te sismik dalgaların büyüklüklerinin arasındaki ilişkileri sunulmaktadır.

Çizelge 2.3. Dalga parametreleri arasındaki ilişkiler (Bormann, 2012)

Parametre	Simge	İlişkiler
Periyot	T	$T = 1/f = 2\pi/\omega = \lambda/v$
Frekans	f	$f = 1/T = \omega/2\pi = v/\lambda$
Açısal frekans	ω	$\omega = 2\pi f = 2\pi/T = v \cdot k$
Hız	v	$v = \lambda/f = f\lambda = \omega/k$
Dalga boyu	λ	$\lambda = v/f = v \cdot T = 2\pi/k$
Dalga sayısı	k	$k = \omega/v = 2\pi/\lambda = 2\pi f/v$

Şekil 2.15 bir zaman tanım aralığında patlatma neticesinde oluşan tipik yer sarsıntısının bir örneğini göstermektedir.



Şekil 2.15. Bir zaman tanım aralığında patlatma neticesinde oluşan tipik yer sarsıntısı (Dowding, 1985)

2.2.6. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı hasarının değerlendirme parametreleri

Madencilik faaliyetlerinde patlatma neticesinde oluşan yer sarsıntısının neden olduğu etkileri ve hasarları değerlendirmek için iki ana parametre kullanılmaktadır:

- Bir kinematik tanımlayıcı (*kinematic descriptor*): Titreşim şiddetlerini belirlemek için birkaç kinematik tanımlayıcı vardır:
 - ✓ Parçacık hızı: Maksimum Parçacık Hızı PPV (*Peak Particle Velocity*) veya Bileşke Vektörel Toplamı PVS (*Peak Vector Sum*),
 - ✓ Parçacık yer değiştirmesi-deplasman (s) (*Peak displacement*),
 - ✓ Parçacık ivmesi (a) (*acceleration*),
- Frekans (f): Baskın frekans (*dominant frequency*).

Bu parametrelerin aralığı Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

Çizelge 2.4. Patlatma parametrelerinin değer aralığı (Nicholson, 2005)

Parametre	Değer Aralığı
Parçacık yer değiştirmesi (deplasman)	0,0001 – 10 mm
Parçacık hızı	0,001 – 1000 mm/s
Parçacık ivmesi	10 – 100000 mm/s ²
Kayıt süresi	0,5 – 3 s
Dalga boyu	30 – 1500 m
Frekans	0,5 – 200 Hz

2.2.6.1. Kinematik tanımlayıcılar

Titreşim şiddetlerini tanımlamak için parçacık hızı (Maksimum Parçacık Hızı PPV veya Bileşke Vektörel Toplamı PVS), yer değiştirmesi-deplasman (s) veya parçacık ivmesi (a) kullanılır. Bu parametreler bir sismograf tarafından otomatik olarak belirlenebilmektedir.

2.2.6.1.1. Parçacık hızı: PPV ve PVS

Parçacık hızı, titreşim nedeniyle ortamdaki bir taneciğin birim zamandaki yer değiştirmesini (deplasman) temsil eder ve mm/s cinsinden ifade edilir. Parçacık hızını belirlemek için Maksimum Parçacık Hızı PPV (*Peak Particle Velocity*) veya Bileşke Vektörel Toplamı PVS (*Peak Vector Sum*) kullanılmaktadır.

Maksimum Parçacık hızı (PPV), bir patlatma sonucunda oluşan parçacık titreşiminin (enine, düşey ve boyuna) üç bileşenini simultane olarak ölçerek ve maksimum değeri alınarak belirlenir. Ancak, Bileşke Vektörel Toplamı (PVS) enine, düşey ve boyuna düzlemler boyunca oluşan maksimum parçacık hızlarının karelerinin toplamının kareköküdür ve aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$PVS = \sqrt{T_p^2 + V_p^2 + L_p^2} \quad (2.4)$$

Burada; T_p , V_p ve L_p sırasıyla enine, düşey ve boyuna düzlemler boyunca maksimum parçacık hızıdır.

Her ikisi de parçacık hızını temsil etse de, PPV ve PVS oldukça farklıdır. PPV vektörel bir büyüklük, yani bir değere ve bir yöne sahiptir. Ancak, PVS skaler bir büyüklüktür çünkü sadece bir değere sahiptir. Ayrıca, aynı patlatma projesi için, zemin titreşim hasarları değerlendirilirken PVS değerleri PPV değerlerinden genellikle daha büyüktür. Bu nedenle bazı çalışmalar, (Torres et al., 2018) titreşim hasarlarının incelemesinde PVS'nin daha güvenli bir parametre olduğunu savunmaktadır. Aynı zamanda PVS, PPV tarafından göz ardı edilen diğer iki bileşenin etkilerini dikkate almaktadır. Ancak, bazı araştırmacılar titreşim hasarlarını değerlendirmek için PPV'yi en iyi gösterge olarak tanımlar çünkü parçacık ivmesi ve deplasman gibi yer hareket parametreleri ile iyi bir korelasyon göstermektedir.

2.2.6.1.2. Parçacık yer değıştirmesi-deplasman

Parçacık yer değıştirmesi (*particle displacement s*), zemin titreşimine maruz kalan bir parçacığın başlangıç noktasına (referans konumu) olan mesafesidir (Çağlar, 2008). Bu parametre (s) olarak tanımlanır ve (mm) cinsinden ifade edilir. Parçacık deplasmanı, hızın zaman ile çarpılmasıyla elde edilir.

2.2.6.1.3. Parçacık İvmesi (*acceleration a*)

Parçacık ivmesi (*acceleration, a*) birim zamanda parçacığın hız değışim oranını belirtmektedir ve (mm/s²) veya (g) cinsinden ifade edilir. Bu parametre, hızdaki farkı zamandaki farka bölerek sismograf tarafından hesaplanabilir. Aynı zamanda parçacık ivmesi maksimum parçacık hızı (PPV) ve frekans (f) kullanılarak aşağıdaki belirtilen denklemlerle de hesaplanabilmektedir:

$$a = 2 \pi v f \quad (2.5)$$

a: parçacık ivmesi (mm.s⁻²), v: PPV (mm.s⁻¹) ve f: frekans (Hz) (Avellan, Belopotocanova, & Puurunen, 2017)

Ancak hesaplanan değerler, genellikle titreşim dalgası mükemmel bir sinüzoidal dalga olmadığı için ölçülenlerden daha düşüktür. Bazı referanslar, potansiyel olarak hasara neden olabilecek parçacık ivmesinin değerini 0,159g (g yerçekimi ivmesidir, g= 9.81 m/s²) olarak belirtmektedir.

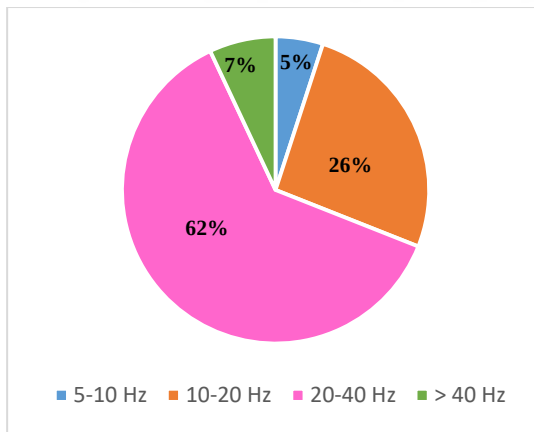
2.2.6.2. Frekans

Frekans, bir saniyedeki titreşim dalga sayısı olarak tanımlanmaktadır ve (Hz) cinsinden ifade edilir. Patlatma neticesinde oluşan yer sarsıntılarının yapısal hasarlarını ve potansiyel şikayetleri önlemek için, oluşan frekansların dağılımını incelemek en önemli unsurlardan biridir.

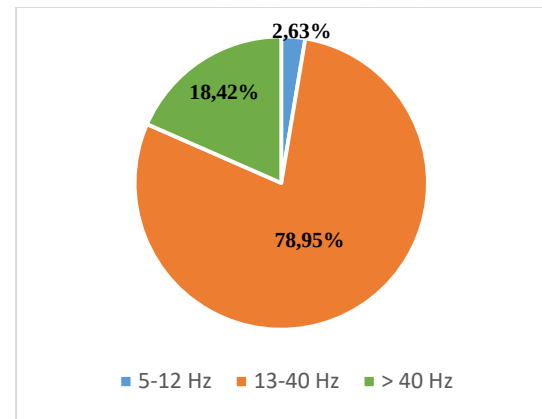
Patlatma faaliyetlerinden oluşan zemin titreşim frekanslarının çoğu 40 Hz'in altındadır. Şekil 2.16'da iki farklı açık ocakta patlatmalar neticesinde yayılan zemin titreşim frekanslarının dağılımı sunulmaktadır.

Birleşik devletler maden bürosu (USBM), frekansları düşük ve yüksek frekanslar olarak sınıflandırır ve düşük frekansları (<40Hz) daha zarar verici olarak tanımlamaktadır. Düşük frekanslar, yüksek frekanslardan daha az sönümlene etkisine maruz kaldıklarından dolayı daha ileri mesafelere gidebilmektedirler (Siskind, Stagg, Kopp, & Dowding, 1980). Ayrıca, 10 Hz değerinin altındaki frekanslar hasar olasılığını artırmaktadır (Siskind et al., 1980). Patlatmalar sonucunda oluşan yer sarsıntısının düşük frekansları, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekanslarıyla (Erçikdi et al., 2004) etkileşime girebilir ve eğer bu frekanslar binanın özyapısal frekanslarına eşit veya biraz daha yüksek ise rezonans etkisine sebep olmaktadır. Böylece hasar eşik değerine ulaşıldığında yapısal hasarlara, eşik değere ulaşılmazsa bile insan rahatsızlığına neden olabilirler.

İnsanlar düşük frekansları kolayca algılayabilir ancak yüksek frekansları neredeyse hiç algılayamaz. Bu düşük frekanslar (<40Hz) zarar verici etkilere sahip olmasına rağmen, insanlar tarafından kolay algılandığı için yapılara sürekli zarar verdiği izlenimi oluşur. Bu nedenle patlatma neticesinde oluşan hasarlar analiz edildiğinde, uluslararası standartların belirlediği hasar verme eşik seviyelerinden az olsa bile yüksek şikayet sayısına neden olabilmektedir.



(a) Açık ocak (Siskind et al., 1980)



(b) Araklı-Taşönü kireçtaşı ocağı (Erçikdi et al., 2004)

Şekil 2.16. Farklı iki açık ocakta patlatma sonucunda oluşan yer sarsıntısının frekans dağılımı

2.2.7. Yer sarsıntısının ölçümü ve izleme sistemi

İlk zemin titreşim ölçüm cihazlarının ortaya çıkışı 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Patlatma sonucunda oluşan yer sarsıntısının ilk ölçümleri 1919'da Rockwell tarafından yapılmıştır (Taqieddin, 1986). Bu ölçümlerin sonuçları Rockwell tarafından 1927'de bildirilmiştir. Ardından bu cihazlar gelişmeye devam etmiştir.

Günümüzde hem jeofon ve mikrofon hem de izleme sistemleri ve yazılımları kullanarak hava şoku ve zemin titreşimi ölçmeyi ve kontrol etmeyi sağlayan gelişmiş sismograflar mevcuttur. Bu tez çalışmasında kullanılan, Instantel tarafından geliştirilen Minimate Plus, insan kaynaklı titreşimleri (hava şoku ve yer sarsıntısı) izlemek ve kontrol etmek için en çok kullanılan sismograflardan biridir (Şekil 2.17).

Zemin titreşimleri kapsamında, sismograflar her bir patlatma olayı için zaman esaslı olarak parçacık hızı bileşenlerini (enine, düşey ve boyuna), frekans, maksimum parçacık hızı (*Peak Particle Velocity PPV*), bileşke Vektörel Toplamı (*Peak Vector Sum PVS*), maksimum deplasman ve maksimum parçacık ivmesini kaydetmektedir. Bu tez kapsamında titreşim seviyelerini ölçmek ve kaydetmek için Instantel Minimate Plus cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerin hassas ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için cihaza bağlanan jeofon ve mikrofon her türlü zeminde hareket etmeden (sabit) kalacak şekilde kurulmaktadır (T. Yılmaz, 2017).



Şekil 2.17. Instantel Minimate Plus (Instantel)

2.2.8. Yer sarsıntılarının etkileri

Bu başlık altında, insanların patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına tepkileri ve yer sarsıntısının yapılar üzerinde oluşturduğu hasarlar anlatılmaktadır.

2.2.8.1. İnsanların patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına tepkileri

2.2.8.1.1. Zemin titreşimlerinin insanlar üzerindeki olumsuz etkileri

Zemin titreşimlerinin insanlar üzerindeki olumsuz etkileri psikolojik ve fizyolojik etki olarak ikiye ayrılmaktadır. Patlatma neticesinde oluşan yer sarsıntısının insanlar üzerinde psikolojik etkisinin değerlendirilmesi önemlidir. Ancak bu öznel bir konudur çünkü yer sarsıntısının psikolojik etkisi patlatma anında insanın konumu, etkinliği (ayakta, oturmada, uyanık, uykuda) ve hatta ruh haline bağlıdır. Yüksek titreşim algıları nedeniyle insanlar, herhangi bir zemin titreşiminin zarar verdiğini düşünürken, bu zemin titreşimlerinin çoğu hasar eşiğinin altındadır.

İnsan algısı, titreşimin frekansına ve şiddetine bağlıdır. İnsan vücudu, özellikle 1 ila 100 Hz arasındaki düşük frekans aralığında zemin titreşimlerine karşı son derece hassastır (Transport and Road Research Laboratory Department of Transport, 1986).

Literatürde zemin titreşimine bağlı olarak insan algısı ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Çizelge 2.5'te kısa süreli zemin titreşimlerinin insanlar üzerindeki etkileri vurgulanmaktadır (Oriard & Emmert, 1980). Çizelge 2.6'da ise hem titreşimin frekansını hem de PPV'yi dikkate alarak patlatma sonucunda oluşan zemin titreşimin insan üzerindeki tepkisini değerlendirmek için yeni bir kriter sunmaktadır (Peng et al., 2017).

Çizelge 2.5. Kısa süreli zemin titreşimlerinin insanlar üzerindeki etkileri (Oriard & Emmert, 1980)

İnsanlar üzerindeki etkileri		PPV seviyeleri (mm/s)
Fizyolojik hasar	Tehlike	101,6 - 254
	Risk	50,8 - 101,6
Şiddetli / tolerans eşiği		30,5 - 50,8
Rahatsızlık	Çok rahatsız edici	25,4 - 30,5
	Rahatsız edici	10,2 - 25,4
Fark edilebilir	Şiddetle algılanabilir	2,5 - 10,2
	Kesinlikle algılanabilir	1,5 - 2,5
	Ancak algılanabilir	0,25 - 1,5

Çizelge 2.6. Zemin titreşimlerinin insanlar üzerindeki etkileri (Peng et al., 2017)

İnsanlar üzerindeki etkileri	PPV (mm/s)		
	< 10 Hz	10-50 Hz	> 50 Hz
Fizyolojik hasar	50,9 - 78	78 - 95,5	95,5 - 119,4
Şiddetli / tolerans eşiği	15,9 - 23,9	23,9 - 27,9	27,9 - 39,8
Rahatsızlık/ rahatsız edici	1,59 - 2,39	2,39 - 6,37	6,37 - 7,96
Fark edilebilir/ algılanabilir	0,03 - 0,08	0,08 - 0,11	0,11 - 0,16

Farklı çalışmalar tarafından geliştiren yer sarsıntılarında insan algısıyla ilgili kriterlere rağmen, bu konuya birçok parametre etki ettiği için karmaşık ve öznel bir konudur. Etkili bu parametreler, kişinin olay sırasında yapının içindeki veya dışındaki bulunduğu yeri (çünkü içerdeki insanlar zemin titreşimini dışarıdakilerden daha çok algılar), yaptığı aktiviteyi, kişiliğini, ruh halini ve yerel topluluğun patlatma projesine karşı sosyal tutumunu (çünkü bir proje bir topluluk tarafından memnuniyetle karşılanmadığında, patlatma faaliyetleri istenmez) (Society of Explosives Engineers, t.y.) kapsamaktadır. Ayrıca, zemin titreşiminin süresi ve zamanı (gündüz veya gece, çalışma saatleri içinde veya dışında), patlatmaların sıklığı, yerel topluluğun önceden bilgilendirilmesi, alandaki önceki patlatma işlemlerinin gerçekleşmesi ile kişilerin sağlık durumu, mizacı ve yaşı önemli bir rol oynamaktadır (Transport and Road Research Laboratory Department of Transport, 1986). ANSI S3.29-1983, ANSI tarafından geliştirilen bir standarttır. Bu standart 1 saniyeden daha kısa süren titreşimler için gündüz gerçekleştirilen patlatma olay sayısına, zamana (gece veya gündüz) ve lokasyona (konut, ofis) bağlı olarak binadaki insanlar tarafından tolere edilen PPV değerlerini belirtmektedir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Binalarda insanlar tarafından tolere edilen PPV değerleri (American National Standards Institute (ANSI), 1983)

Günlük olay sayısı	1	12	26
Mesken, gece	0,2 mm/s	0,09 mm/s	0,07 mm/s
Mesken, gündüz	12,70 mm/s	6,35 mm/s	4,30 mm/s
Ofis ve iş yerleri	18 mm/s	8,90 mm/s	6,10 mm/s

2.2.8.1.2. İnsan algısı ile yapısal hasar arasındaki ilişki

Çoğu uluslararası hasar kriterleri, PPV değerinin eşiğinin 5 ila 50 mm/s arasında olmasını belirtmektedir. Ancak, insanlar titreşimlere karşı son derece hassastır ve yapısal hasarlara neden olabilecek PPV değerlerinin çok altındaki seviyeleri algılayabilirler. PPV

değeri olarak insandaki titreşim algısı 0,02 mm /s'den, fizyolojik hasar 50 mm/s'den ve yapısal hasar 5 mm/s'den başlamaktadır. İnsanlar, herhangi bir titreşimin (en düşük seviyelerde olsa bile), yaralanmalara ve yapısal hasarlara yol açacağını varsaydıklarından, korku ve endişe yaşamaktadırlar. Sonuç olarak bu durum şikayetlere neden olmaktadır. Aslında, bir patlama sonucunda algılanan herhangi bir zemin titreşimi, sakinlerin yapılarında hasar korkusu ile çatlaklar aramasına ve çoğu zaman önceden var olan, ancak görmemiş ya da hatırlamadığı çatlaklar buldukça, patlatmayı suçlayıp şikayet etmelerine neden olmaktadır (Transport and Road Research Laboratory Department of Transport, 1986).

2.2.8.2. Yer sarsıntısının yapılar üzerinde oluşturduğu hasarlar

Yer sarsıntılarının neden olduğu yapısal hasarlar 3 ana kategoriye ayrılmaktadır (Işık & Kuruşcu, 2018; Orica Nitro):

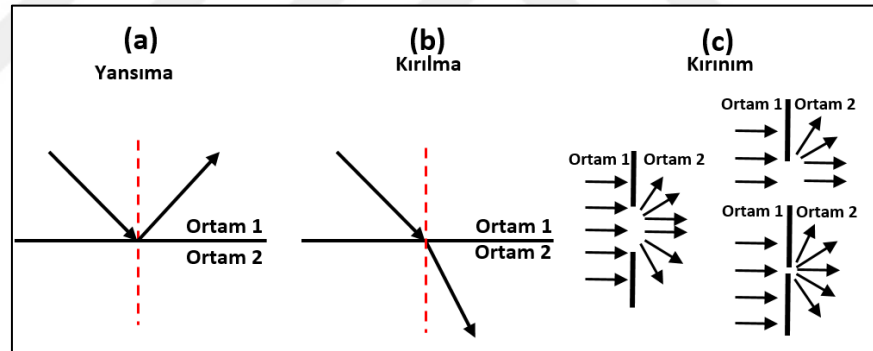
- **Küçük hasar:** Kozmetik veya eşik hasar olarak da bilinen küçük hasar, bölme duvarda, sıvada, boyada ve blok malzeme derzlerinde saç teli kalınlığında küçük (kılcal) çatlakların oluşumuna neden olmaktadır. Bu hasar türü sadece yapının görünümünü etkilemektedir.
- **Orta hasar:** Hafif hasar olarak da bilinen orta hasar, duvarlarda, kirişlerde geniş (10 mm) çatlakların oluşması ve tavan sıvalarının dökülmesine neden olmaktadır. Ancak bu hasar tipi yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez.
- **Büyük hasar:** Esaslı hasar olarak bilinen büyük hasar, kolon ve kirişlerde çok geniş (25 mm) çatlakların oluşmasına, bağlantıların gevşemesi, duvar ve bacalardan taş, tuğla düşmesi ve yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturarak yapı elemanlarının bozulmasına neden olmaktadır. Bu hasar tipi binanın yük taşıma kabiliyetini etkilemektedir.

Aynı titreşim seviyesine maruz kalan binalar aynı şekilde etkilenmemektedir. Bir binanın titreşim seviyesine gösterdiği hasar tipini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler, bölgenin litolojisini, yapının yüksekliğini ve karakteristiklerini (kat sayısı), tabakalarının anizotropisini, binanın teknik özelliklerini, bölgenin fiziko-mekanik özelliklerini, titreşim kaynağının türünü, titreşimin sıklığını, patlatmanın süresini ve patlatma sırasında oluşan sismik dalgalar ile arazi ve yapılar arasındaki etkileşimlerini kapsamaktadır.

2.2.9. Patlatma kaynaklı sismik dalgalar, arazi katmanları ve yapılar arasındaki etkileşimler

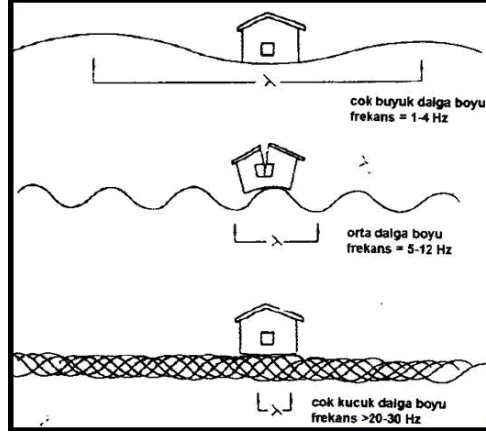
Arazi katmanları, titreşim dalgaları ve yapılar arasındaki etkileşimler şunlardır:

- **Doğrudan/direkt etkileşim:** Yer sarsıntısının şiddeti ve frekansı hasar eşiğinin üzerindeyse hasar meydana gelmektedir.
- **Yansım (Reflection):** Yansım 2 farklı katman arasındaki sınırdaki meydana gelir ve sınırdaki sismik dalganın birinci ortama kısmen veya tamamen sıçramasına (*bouncing*) neden olmaktadır (Şekil 2.18a).
- **Kırılma (Refraction):** Bu durum 2 ortam arasındaki sınırdaki meydana gelir ve birinci ortamdan ikinci ortama geçerken hız değişiminin neden olduğu bir dalganın eğilmesine neden olmaktadır (Şekil 2.18b).
- **Kırınım ya da difraksiyon (diffraction):** Ortamda bir objenin (bariyer veya küçük açıklık) varlığı, sismik dalgaların kırınımına neden olmaktadır (Şekil 2.18c).



Şekil 2.18. Yansım, kırılma ve kırınım fenomenleri

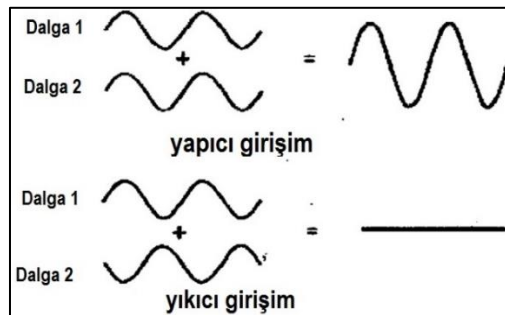
- **Rezonans etkisi:** Zemin titreşim dalgalarının frekansları ve yapının doğal (özyapısal) frekansları ile örtüşmesi daha büyük bir titreşime neden olabilmektedir. Buna rezonans etkisi (*Resonance effect*) denir. Rezonans etkisi patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının frekans değerleri yapının özyapısal frekans değerlerine yakın olduğunda (genellikle 5-12 Hz aralığında) meydana gelmektedir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Farklı frekanslı dalgaların binalar üzerindeki etkileri (Alpaydın et al., 2004)

Patlatma sonucunda oluşan zemin titreşim dalgalarının rezonansa neden olma riski yüksektir, çünkü:

- Genel olarak, bu zemin titreşimleri düşük frekanslar (40 Hz'in altında) sergilemektedir.
 - Sismik dalgalar yayılırken yüksek frekanslarını kaybeder.
 - Düşük frekanslı dalgalar daha uzun mesafelere ilerler, bu nedenle daha fazla yapıları etkilemektedir.
- **Yorulma hasarı (Fatigue):** Rezonans etkileri uzun bir süre boyunca tekrarlanınca yapının bozulmasına yol açabilmektedir. Buna yorulma hasarı denir.
- **Girişim (Interference):** Girişim, aynı ortamda aynı anda hareket eden benzer frekansa sahip 2 veya daha fazla dalga'nın örtüşmesinin sonucudur. Böylece yeni bir dalga oluşturmaktadır. Girişimler daha büyük bir yer sarsıntısı oluşturan yapıcı girişimler (*Constructive interferences*) veya daha küçük yer sarsıntısı oluşturan yıkıcı girişimler (*Destructive interferences*) olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Yapıcı ve yıkıcı girişimler

- **Sönümlleme etkisi** (*the damping effect*): Birçok faktör, yer sarsıntısının sönümlenmesini etkilemektedir. Örneğin, kayalar ve yapılar gibi sert malzemeler yüksek oranda aktarıcıdır, yani sönümlleme etkileri yumuşak zeminlere kıyasla daha düşüktür. Yumuşak zeminlerde sönümlleme etkisi litoloji, kohezyon ve nem seviyesi gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin, kumların sönümlleme etkileri killerden daha yüksektir. Mesafe arttıkça, yüzey dalgaları cisim dalgalarına nazaran daha az sönümlenir. Yüzey dalgalarının genliği uzaklığa bağlı olarak $1/\sqrt{r}$ (r kaynak alıcı uzaklık) ile azalır. Oysa cisim dalgaları için genlikteki azalım ise $1/r$ 'dir (Kaypak, 2019)



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel

Bu çalışma, farklı zeminlerde madencilik faaliyetlerindeki patlatma işlemlerinin sonucunda veya depremler sırasında oluşan titreşim dalgalarının yayılım mekanizmalarını irdelemektedir. Bu amaçla kum ve kil zeminler kullanılarak laboratuvarda farklı arazi koşulları modellenmiştir. Kullanılan zeminlerin litolojisinin, suya doygunluğunun, sıkıştırma derecesinin, yer sarsıntısı kaynağının konumunun (yer üstünde ve farklı derinliklerde) ve bu zeminlerde yerleştirilmiş yapay tabakaların sayısının, kalınlığının, konumunun ve yönünün, yer sarsıntısının yayılımı üzerindeki etkileri yoğun olarak araştırılmıştır. Laboratuvar çalışmaları 6 ana zemin modelinden oluşmuştur. Bu bölümde, kullanılan zemin malzemelerinin temini ve muhafazası ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Ayrıca laboratuvar çalışmalarında kullanılan materyal ve izlenen yöntem sunulmuştur.

3.2. Çalışmada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Temini

Bu çalışmada kullanılan kum malzeme Konya Ankara Yolu üzerinde faaliyet gösteren bir kum ocağından elde edilen 0-4 mm yıkanmış kumdan elde edilmiştir. Çalışmaların diğer bir malzemesi olan kil numuneleri ise Konya İli Doğanhisar ilçesinde Faaliyet gösteren bir kil işletmesinden elde edilmiştir.

3.3. Zeminlerin Muhafazası

Laboratuvar çalışmalarında kullanılan kum ve kil Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir (Şekil 3.1). Bu çalışmaya model oluşturacak zeminler için kullanılacak olan kil ve kum malzemelerinin nemini gidermek için malzemeler açık havada güneş altında kurutulmuştur (Şekil 3.2). Ardından, deney süreci boyunca numunelerin hem su ile temasını önlemek için hem de zemin titreşim deneylerinin sonuçlarını etkileyebilecek laboratuvardaki diğer malzemelerle herhangi bir etkileşimi önlemek için kullanılacak kum ve kil ayrı ayrı varillerde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere temin edilen kum ve kil



Şekil 3.2. Kum ve kilin açık havada kurutulma süreci



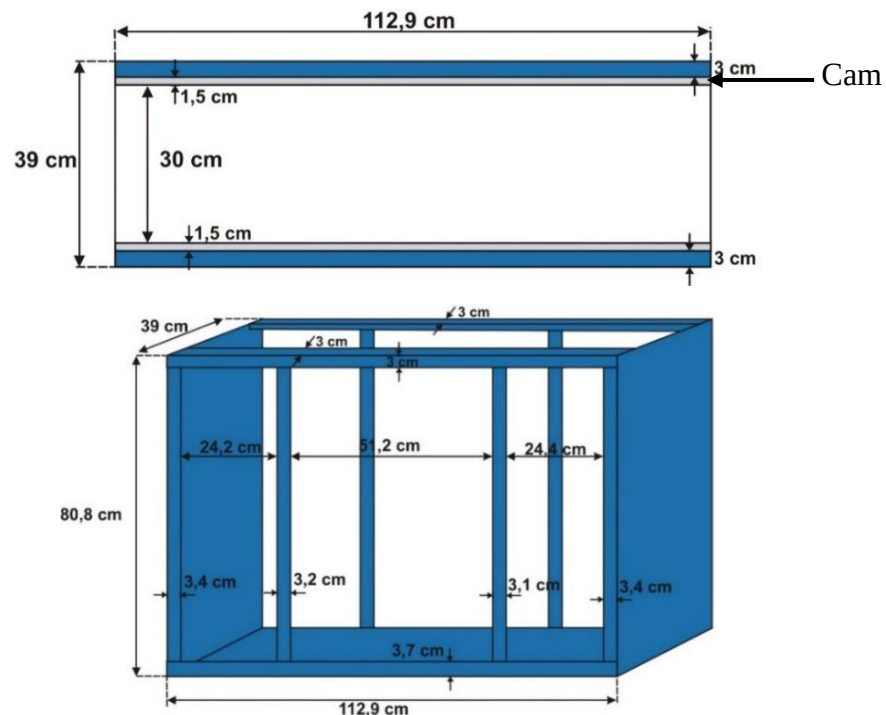
Şekil 3.3. Varillerde muhafaza edilen kum ve kil

3.4. Deney Tankı

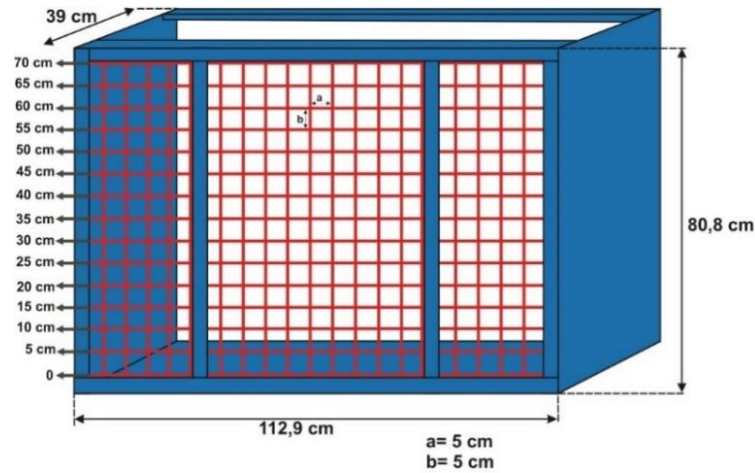
Arazi koşullarını modellemek amacıyla kum ve/veya kil içeren 6 ana zemin modeli oluşturulmuştur. Bu zemin modelleri bir dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanan

Tankın kapasitesi $273\,669.6\text{ cm}^3$ ($112.9\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 80.8\text{ cm}$) yani $0,2736696\text{ m}^3$ 'tür. Deney tankının kapasite hesaplamalarında tankın üst yüzeyinin genişliği 30 cm olarak kabul edilmiştir. Çünkü tankın ön ve arka yüzeyine yerleştirilen camın genişliği (1.5 cm) ile birlikte bu camların metalik destekleyicilerinin genişliği (3 cm), her bir taraf için 4.5 cm olarak hesaplanmıştır. Böylece kapasite hesaplamalarında ilk başta 39 cm genişliğine sahip üst yüzey, cam ve metal destekleyicinin her iki tarafındaki genişliği çıkarıldıktan sonra 30 cm olarak tanımlanmıştır.

Deney kasasının üst yüzeyi



35



Şekil 3.5. Deney kasasının ön yüzüne yapıştırılan 5cm x 5cm karelaj

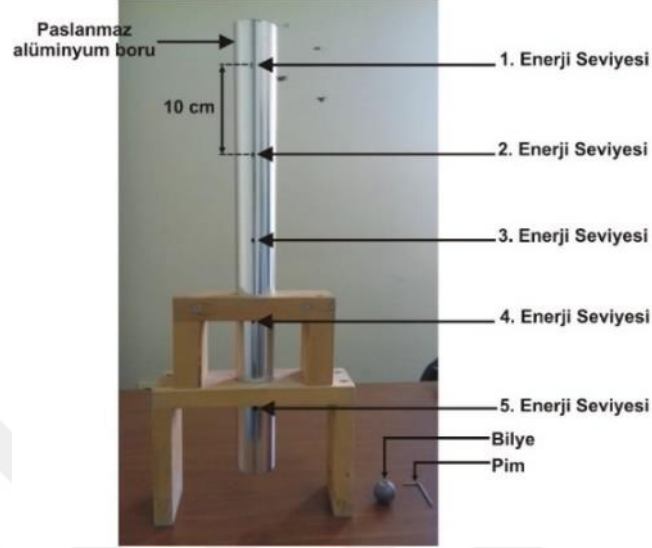
3.5. Zemin Titreşim Dalgalarını Oluşturma Düzenegi

3.5.1. Yer üstünden kaynaklanan zemin titreşim dalgalarının oluşturulması

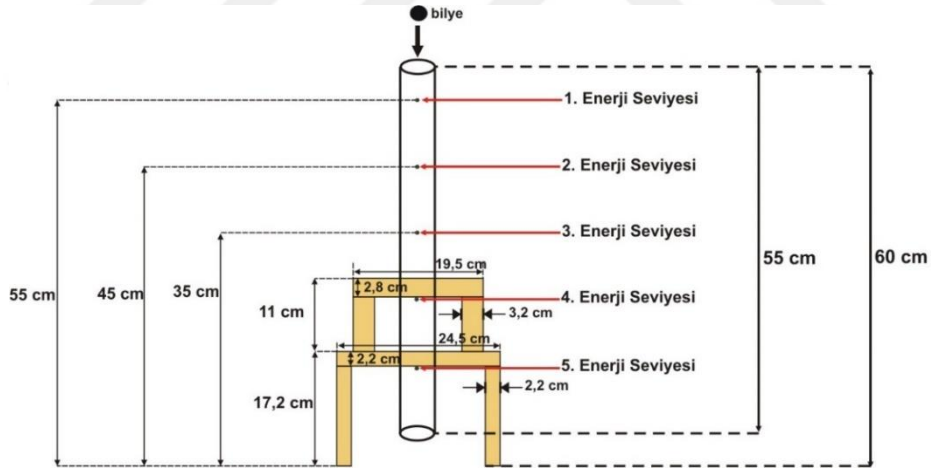
Amaçlanan zemin modeline göre deney tankı 60 cm yüksekliğe kadar doldurulup tankın üst yüzeyine yerleştirilen bir darbe düzeneği ile zemin titreşim dalgalarının oluşturulması sağlanmıştır. 60 cm yüksekliğinde ve 24.5 cm genişliğinde yapay titreşim kaynağı olarak kabul edilen bu düzenek, tahtadan yapılmış bir sehpanın içine sabitlenmiş 55 cm uzunluğunda ve 5 cm çapında paslanmaz alüminyum bir borudan oluşmaktadır. Yapay zemin titreşim dalgaları bir bilyenin serbest düşmesine olanak sağlayan bir düzenek sayesinde sağlanmıştır. Bilyenin serbest sağlayan düzenek zemin üst yüzeyinden 55 cm, 45 cm, 35 cm, 25 cm ve 15 cm yükseklikte 5 bilye bırakma seviyesine sahiptir, dolayısıyla 5 farklı enerji seviyesi sağlayabilmektedir. Her enerji seviyesi, alüminyum borunun üstünde özel bir pimin girebileceği bir delik ile işaretlenmiştir. Her iki delik arasındaki mesafe 10 cm'dir. Pim, amaçlanan enerji seviyesinde borunun içine atılan bir bilyeyi tutma görevini üstlenmektedir. Bu çalışmada yürütülen laboratuvar titreşim testlerinde düzeneğin ikinci enerji seviyesi değerlendirilmiştir (zemin modelinin üst yüzeyinden 45 cm yükseklikte bulunan enerji seviyesi). Deneylerde kullanılan çelik bilye 102,8 gr ağırlığındadır.

Kullanıcı tarafından pimin çekilmesi ile bilye zemin modelinin üst yüzeyine düşmekte ve bir darbe ile yapay titreşim dalgalarını oluşturmaktadır. Bu mekanizma sayesinde belirli ağırlıktaki bir bilye istenilen noktaya her zaman aynı enerji seviyesiyle

düşürülebilmektedir (Kekeç, 2010). Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 sırasıyla yer üstünden zemin titreşim kaynaklarını modellemek amacıyla kullanılan düzeneği ve bu düzeneğin ölçülerini göstermektedir.



Şekil 3.6. Yapay titreşim dalgaları oluşturmak için kullanılan düzeneğin



Şekil 3.7. Yapay titreşim oluşturan düzeneğin ölçüleri (cm cinsinden)

3.5.2. Yeraltından kaynaklanan zemin titreşim dalgalarının oluşturulması

Yeraltından kaynaklanan zemin titreşimlerini modellemek için deney tankı doldurulurken tankın içerisine, modellenecek titreşim kaynağının derinliğine göre 5cm çapında plastik bir PVC boru yerleştirilmiştir. Ardından yüzeysel titreşim dalgaları oluşturmak için kullanılan bilye düşürme düzeneği tam PVC borunun üstüne gelecek

şekilde yerleştirilmiştir. Böylece zemin titreşim dalgaları oluştururken zemin modelinin üst yüzeyinden 45 cm yükseklikte bulunan enerji seviyesinden pimi çıkarınca, bilye zemin modelinin üst yüzeyine düşmek yerine, istenilen derinlikte yeraltı yapay titreşim dalgaları oluşturacak şekilde PVC tüpün içine düşmektedir (Şekil 3.8). Ardından bir mıknatıs kullanılarak PVC borunun içerisine düşen bilye tekrar geri çekilmektedir.



Şekil 3.8. Yerealtından kaynaklanan titreşim dalgalarını modellemek için kullanılan PVC borunun yerleştirilmesi

3.6. Hidrolik Pres ve Yükleme Çerçevesi

Deney tankı presin yükleme çerçevesinin içine yerleştirilerek, “Tekno dinamik” firması tarafından üretilen 200 ton kapasiteli hidrolik pres yardımıyla düşey yükün yapay zemin yüzeyine aktarılması sağlanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Düşey yük uygulamasında kullanılan hidrolik pres ve yükleme çerçevesi

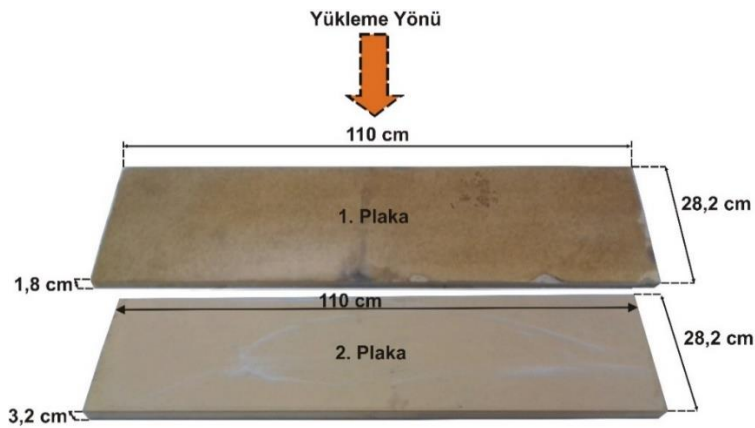
Dijital servo kontrol ünitesi hidrolik presin yükleme hızının manuel veya otomatik (bilgisayar yardımıyla) olarak ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada yükleme hızı manuel olarak 240 kgf/s ayarlanmıştır (Şekil 3.10). Hidrolik krik o hem çekme hem de basınç sağlayacak şekilde iki yönde çalışabilmektedir. Çalışma yönü de servo kontrol ünitesinden ayarlanmaktadır. Bu çalışmada sadece düşey yükleme (basınç) uygulanmıştır.



Şekil 3.10. Hidrolik presin servo kontrol ünitesi

3.7. Uygulanan Düşey Yüğü Dağıtmak için Kullanılan Tahta Plakalar

Yükleme deneyleri sırasında tankın tüm üst yüzeyinde düşey yüğü homojen bir şekilde dağıtmak için tahtadan yapılan 1.8 ve 3.2 cm kalınlığında 2 plaka kullanılmıştır. Bu plakaların ölçüleri, tankın yüzeyine tam uyacak şekilde kesilmiştir. Her iki plaka da 110 cm uzunluğunda ve 28.2 cm genişliğindedir. Şekil 3.11’de gösterildiğı gibi bu plakalar 1. plaka ve 2. plaka olarak tanımlanmıştır. Birinci plakanın ağırlığı 3.535 kg, ikinci plakanın ağırlığı ise 7.045 kg’dır.



Şekil 3.11. Uygulanan düşey yüğü dağıtmak için kullanılan tahta plakalar

3.8. Yük Ölçümlerini Sağlayan Yük Hücresi, Veri Toplama Sistemi, Aygıt Geçidi ve TestLAB Yazılımı

İstenilen düşey yük değerini uygulamak için servo kontrol ünitesi kullanılarak hidrolik kriko indirilmekte ve belirlenen yükleme hızında hidrolik pres çalıştırılmaktadır. Düşey yükleme sırasında, hidrolik pres ile temas halindeki yük hücresinde (*load cell*) ölçülen basınç değerlerinin, TDG Ai8b veri toplama sistemi ve TDG USB aygıt geçidi aracılığıyla bilgisayarda bir veri toplama yazılımına aktarılması sağlanmıştır (Şekil 3.12).

Bu çalışmada veri toplama yazılımı olarak TestLAB yazılımı kullanılmıştır. Hidrolik pres düşey yükü uygularken, TestLAB yazılımı sayesinde yük değeri bilgisayar ekranında anında okunarak ve takip edilebilmiştir. İstenilen basınç seviyesine ulaşıldığında hidrolik pres servo kontrol ünitesinden durdurulup, hidrolik kriko yukarıya çekilir ve yük hücresi ile kullanılan plakalar kaldırılarak model üzerinde titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Yüklemenin uygulanmasını ve izlenmesini sağlayan sistem

Yük hücresi (*load cell*) bir sensör görevi görmekte ve hidrolik pres tarafından uygulanan yük değişikliklerini tespit etmektedir (Şekil 3.13). Bu basınç değerlerinin ani değişimlerini TestLAB yazılımına aktarmak ve okunabilecek değerlere dönüştürmek için, yük hücresi bir TDG Ai8b veri toplama sistemine bağlıdır.



Şekil 3.13. Kullanılan yük hücresi

“Teknik Destek Grubu” firması tarafından üretilen TDG Ai8b veri toplama sisteminde 8 adet sensör bağlantı konektörü bulunmaktadır (Şekil 3.14). Bu çalışmada yük hücresi, veri toplama sistemindeki 8. konektöre bağlanmıştır. TDG Ai8b veri toplama sisteminin çalışma prensibi, zamana bağlı olarak sensörlerde oluşan statik çıkış voltajının değişimini ölçmeye dayanmaktadır. Böylece bu cihaz sıcaklık, deplasman, yük ve basınç gibi birçok fiziksel parametreyi ölçebilmektedir (Aryan, 2014). Bu çalışmada veri toplama sistemi, yük hücresinde oluşan voltaj değişimini algılamaktadır. Ölçülen verilerin bilgisayara aktarımı bir TDG USB aygıt geçidi ile gerçekleşmektedir (Şekil 3.15).



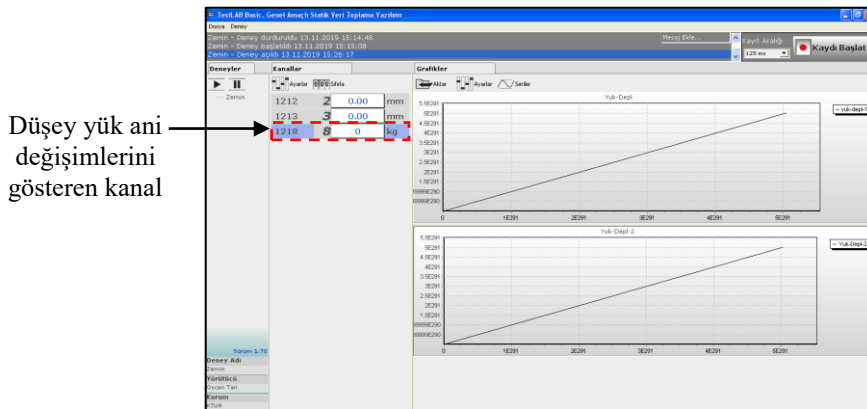
Şekil 3.14. TDG Ai8b veri toplama sistemi



Şekil 3.15. TDG USB aygıt geçidi

Uygulanan düşey yük değerlerinin ani değişimlerini gözlemek ve takip etmek için Teknik Destek Grubu TDG tarafından geliştirilen TestLAB yazılımı değerlendirilmiştir. Yükleme işlemleri başlamadan önce *TestLAB Basic configuration* kullanılarak TDG Ai8b veri toplama sistemine bağlanacak olan yük hücresi kalibre edilmiş, yük gerilimlerinin değişimini incelemek için veri toplama sisteminde kullanılacak kanal seçilmiş (8. Kanal) ve etkinleştirilmiştir. TestLAB yazılımı, matematiksel ifadelerin oluşturulmasını ve gerektiğinde grafik ekleyerek grafiğin adı, tipi, aralığı ile lejantını ayarlamayı da sağlayabilmektedir. Bu çalışmada ise bu yazılım sadece yük değerlerinin ani değişikliklerini takip etmek için kullanılmıştır. Yazılımın grafik oluşturma özelliği kullanılmamıştır.

Sekizinci kanal sıfırlandıktan sonra hidrolik presin servo kontrol ünitesinden düşey yükleme deneyi başlatılmıştır. TestLAB yazılımı kullanılarak bilgisayar ekranında oluşan yük değeri izlenerek ve takip edilmektedir (Şekil 3.16). İstenilen düşey yük seviyesine ulaşıldığında hidrolik pres durdurularak, yapay titreşim oluşturma düzeneği ile sismograflar yerleştirilir ve titreşim deneyleri başlatılabilir.



Şekil 3.16. TestLAB ekranından düşey yükün ani değişimlerinin takip edilmesi

3.9. Yer Sarsıntısı İzleme Sistemi

Oluşan zemin titreşimlerini ölçmek için “Instantel” firması tarafından üretilen 2 adet “Minimate Plus” sismograf cihazı kullanılmıştır. Her sismograf, bir kayıt ünitesine bağlı olacak şekilde bir jeofon ve bir mikrofondan oluşmaktadır. Jeofon, deney tankında modellenen zemin üzerinde oluşan titreşim seviyelerinin izlenmesini sağlamaktadır. Mikrofon ise hava şoku seviyelerinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Kayıt ünitesi, oluşan tüm titreşim olaylarının özelliklerini (Olayın saati ve tarihi, Maks. Enine Titreşim Değeri PVT, Maks. Düşey Titreşim Değeri PVV, Maks. Boyuna Titreşim Değeri PVL, Bileşke Vektörel Toplamı PVS, Frekans, deplasman, tetikleme ve parçacık ivmesi) ölçerek kaydedebilmektedir.

Bir kablo yardımıyla kayıt ünitesi tarafından kaydedilen titreşimlerin özellikleri bilgisayara aktarılmaktadır. “Instantel Minimate Plus” titreşim ölçüm cihazı içerisinde kayıt olan test sonuçları “Blastware 8.0” yazılımı yardımıyla PC ortamına aktarılmaktadır. Bu yazılım, kayıt ünitesinden aktarılan verilerin analiz edilmesini ve değerlendirilmesini sağlamaktadır. Mikrofon ve jeofon incelenecek kayaç/zemin ile sıkıca ve doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilmelidir. Bu sebeple yumuşak zeminlerde jeofon ve mikrofonun sabitlenmelerini sağlayan vida ayakları mevcuttur. Şekil 3.17’de “Instantel Minimate Plus” cihazının farklı elemanları gösterilmektedir. Ayrıca cihazın bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.17. Instantel Minimate Plus'ın elemanları

Çizelge 3.1. Instantel Minimate Plus'ın bazı teknik özellikleri (Kekeç, 2010)

Sismik	Ölçüm aralığı	0,125 - 254 mm/s
	Hassasiyet	0,5 mm/s veya $\pm$ %5
	Tetiklenme seviyesi	0,5 mm/s veya $\pm$ %5
	Frekans Aralığı	2 – 250 Hz
	Maks. Kablo Uzunluğu	75 m
	Frekans analizi	Tüm ülkelerin ulusal ve bölgesel standartları için
Hava şoku (Lineer)	Ölçüm aralığı	88 – 148 dB
	Hassasiyet	$\pm$ %10 veya $\pm$ 1dB
	Frekans analizleri	Hava şoku standardında frekans
Kayıt	Kayıt Modları	Manuel, Tek atım, sürekli
	Sabit Kayıt süresi	1 - 100 s
	Otomatik kayıt süresi	1-9 s
Fiziksel Özellikler	Boyutlar	81 x 91 x 160 mm
	Ağırlık	1,4 Kg
	Batarya	Şarj edilebilir 6 V
	PC Bağlantısı	RS 232

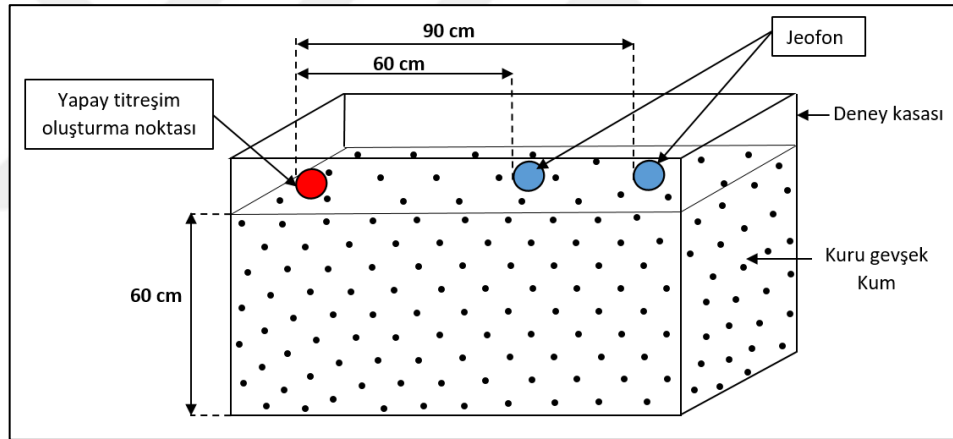
Mikrofon, madencilik faaliyetlerindeki patlatma işlemlerinde oluşan hava şoku seviyelerinin izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada patlatma neticesinde yayılan titreşim dalgaları bir bilye bırakma mekanizması aracılığıyla yapay olarak modellendiği için hava şoku oluşturulmamıştır. Bu nedenle titreşim deneylerinde mikrofon kullanılmamıştır ve 2 jeofon kullanılarak sadece yer sarsıntısının seviyeleri irdelenmiştir.

3.10. Zemin Modellerinin Oluşturulması

Laboratuvar çalışmaları 6 ana zemin modelinden oluşmuştur (Model 1, Model 2, Model 3, Model 4, Model 5 ve Model 6). Bu 6 model kapsamında toplam olarak 315 titreşim testi ile 360 zemin titreşim ölçümü gerçekleştirilmiştir. Model 1, Model 2 ve Model 4 hariç diğer ana modeller yapay zemin titreşim sonuçlarının analizlerini kolaylaştırmak için alt modellere ayrılmıştır. Model 1, Model 2 ve Model 4'te yürütülen zemin titreşim ölçümlerinde deney kasasına 60 cm ve 90 cm uzaklıkta iki adet jeofon yerleştirilmiştir. Diğer modellerde (Model 3, Model 5 ve Model 6) 60 cm veya 90 cm uzaklıkta 1 adet jeofon yerleştirilerek ölçüm noktaları oluşturulmuştur. Yapay titreşim deneylerinin gerçekleştirilmesinde modele göre kullanılan bir veya iki jeofon belli mesafelerde ve belli konumlarda kullanılmıştır.

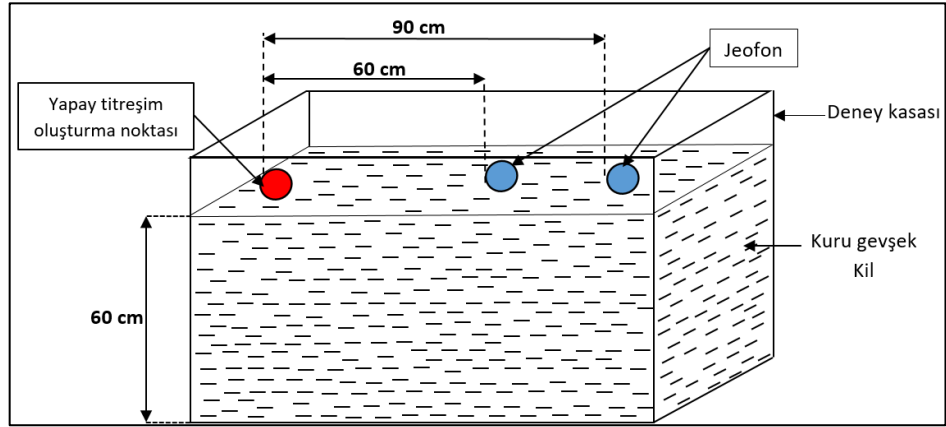
Oluşturulan titreşim seviyelerinin izlenmesi, ölçülmesi ve kaydedilmesi her jeofona bağlanan bir “Instanetel Minimate Plus” sismografi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Titreşim deneyleri için kullanılan 6 ana zemin modeli şunlardır:

- **Model 1:** Model 1’de deney tankı kuru gevşek kum ile doldurulmuştur. Ardından titreşim ölçümlerini sağlamak için 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilmiş ve aynı noktada çelik bilyenin belirli bir seviyeden serbest bırakılmasıyla 15 yapay zemin titreşim olayı gerçekleştirilmiştir. Yer üstünden kaynaklanan zemin titreşim dalgaları modellenip her sismograf tarafından 15 Maks. Enine titreşim değeri PVT (*Peak Particle Velocity Transverse*), 15 Maks Düşey titreşim değeri PVV (*Peak Particle Velocity Vertical*), 15 Maks. Boyuna titreşim değeri PVL (*Peak Particle Velocity Longitudinal*) ve 15 Bileşke Vektörel Toplamı PVS (*Peak Vector Sum*) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Model 1’in temsili resmi Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Model 1’in temsili resmi

- **Model 2:** Bu modelde deney tankı kuru gevşek kil ile doldurulmuştur ve Model 1’e benzer bir şekilde 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilip Model 1 ile aynı şartlarda 15 titreşim olayı gerçekleştirilmiştir. Model 2’de de yer üstünden kaynaklanan titreşim dalgaları modellenip her sismograf tarafından 15 PVT değeri, 15 PVV değeri, 15 PVL değeri ve 15 PVS değeri elde edilmiştir. Model 2’nin temsili resmi Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

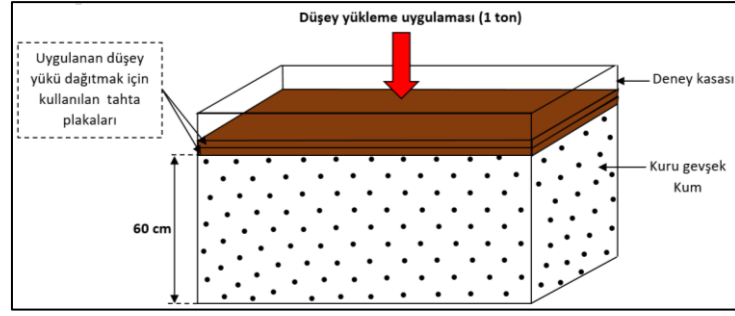


Şekil 3.19. Model 2'nin temsili resmi

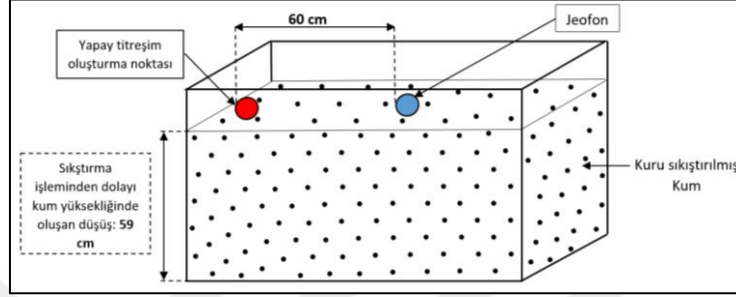
- *Model 3:* Model 3'te deney tankına yerleştirilen kuru kumda sıkıştırma derecesinin yer sarsıntısı dalgalarının yayılım mekanizması üzerindeki etkisi incelenmektedir. Bu amaçla kuru gevşek kum ile doldurulan tank üzerine sırayla 1, 2, 3, 4 ve 5 ton ağırlığında düşey yükler uygulanmıştır. Yer üstünden kaynaklanan titreşim dalgaları modellenerek, her düşey yüklemeden sonra, titreşim ölçümlerini sağlamak için titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 1 adet jeofon yerleştirilmiş ve 15 yapay zemin titreşim olayı gerçekleştirilmiştir. Bu modelden elde edilen verilerin analizini ve değerlendirilmesini kolaylaştırmak için, uygulanan düşey yük seviyesine göre Model 3 beş alt modele ayrılmıştır:

- ✓ Alt model 3a: Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır
- ✓ Alt model 3b: Uygulanan düşey yük seviyesi 2 ton olarak tanımlanmıştır
- ✓ Alt model 3c: Uygulanan düşey yük seviyesi 3 ton olarak tanımlanmıştır
- ✓ Alt model 3d: Uygulanan düşey yük seviyesi 4 ton olarak tanımlanmıştır
- ✓ Alt model 3e: Uygulanan düşey yük seviyesi 5 ton olarak tanımlanmıştır

Her alt modelde yapılan testler neticesinde 15 PVT değeri, 15 PVV değeri, 15 PVL değeri ve 15 PVS değeri elde edilmiştir. Alt model 3a'da uygulanan sıkıştırma işlemi ve ardından bu alt model üzerinde gerçekleştirilen zemin titreşim testlerinin temsili resimleri Şekil 3.20'de sunulmuştur.



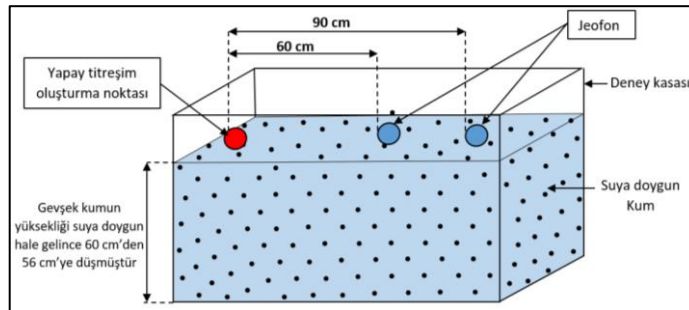
(a) Alt model 3a'nın hazırlanmasında uygulanan düşey yükleme işlemi



(b) Alt model 3a üzerinde gerçekleştirilen zemin titreşim testleri

Şekil 3.20. Alt model 3a'nın temsili resimleri

- *Model 4:* Model 4'te suya doymuş kum üzerinde zemin titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece suyun yer sarsıntısı dalgalarının yayılma mekanizması üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Titreşim ölçümlerini sağlamak için 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilmiş ve 15 yapay zemin titreşim olayı gerçekleştirilmiştir. Yer üstünden kaynaklanan zemin titreşim dalgaları modellenip sismograf tarafından 15 PVT değeri, 15 PVV değeri, 15 PVL değeri ve 15 PVS değeri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Model 4'ün temsili resmi Şekil 3.21'de verilmiştir.



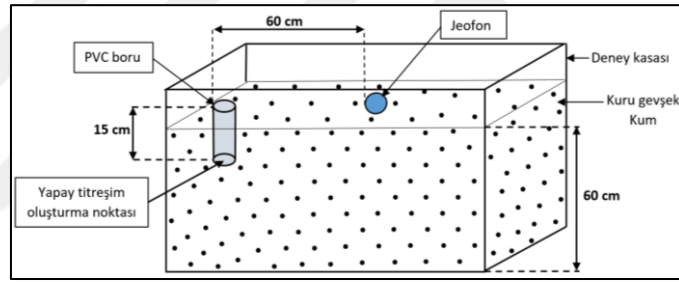
Şekil 3.21. Model 4'ün temsili resmi

- *Model 5:* Model 1'e benzer bir şekilde Model 5'te de kuru gevşek kum üzerine zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmalarını incelemektedir. Ancak

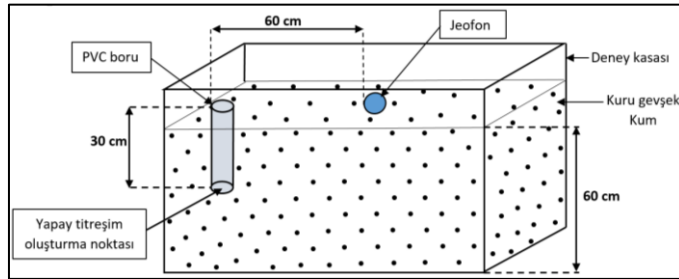
Model 5'in oluşturmasında deney kasasındaki bulunan kumun içine farklı derinliklerde bir PVC boru yerleştirilmiştir. Böylece yeraltından kaynaklanan zemin titreşimleri modellenmiştir. Başka bir deyişle titreşim dalgaları tankın derinliklerinde oluşturulmuştur. Elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesini kolaylaştırmak için PVC borunun yerleştirme derinliğine göre model 5 üç alt modele ayrılmıştır:

- ✓ Alt model 5a: Titreşim kaynağının derinliği 15 cm olarak modellenmiştir
- ✓ Alt model 5b: Titreşim kaynağının derinliği 30 cm olarak modellenmiştir
- ✓ Alt model 5c: Titreşim kaynağının derinliği 45 cm olarak modellenmiştir

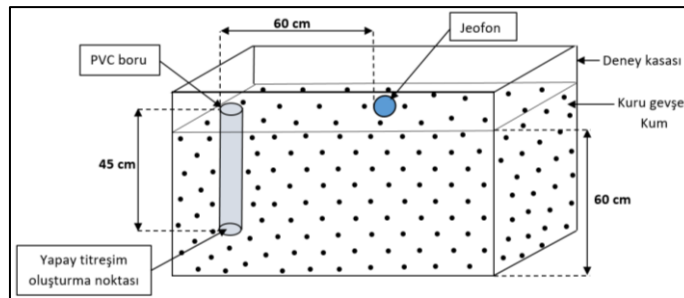
Titreşim ölçümlerini sağlamak için her alt modelde 60 cm uzaklıkta 1 adet jeofon yerleştirilmiştir ve 15 titreşim olayı gerçekteşirilmiştir. Her alt modelde 15 PVT değeri, 15 PVV değeri, 15 PVL değeri ve 15 PVS değeri elde edilmiştir. Model 5'te gerçekteştirilen alt modellerin temsili resimleri şekil 3.22'de gösterilmiştir.



(a) Alt model 5a



(b) Alt model 5b

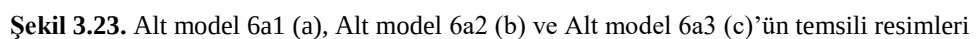


(c) Alt model 5c

şekil 3.22. Model 5'te gerçekteştirilen alt modellerin temsili resimleri

✓ 1. Alt Model grubu: Bu alt model grubu kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların sayısının, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmak için oluşturulmuştur. Bu amaçla 3 alt model hazırlanmıştır:

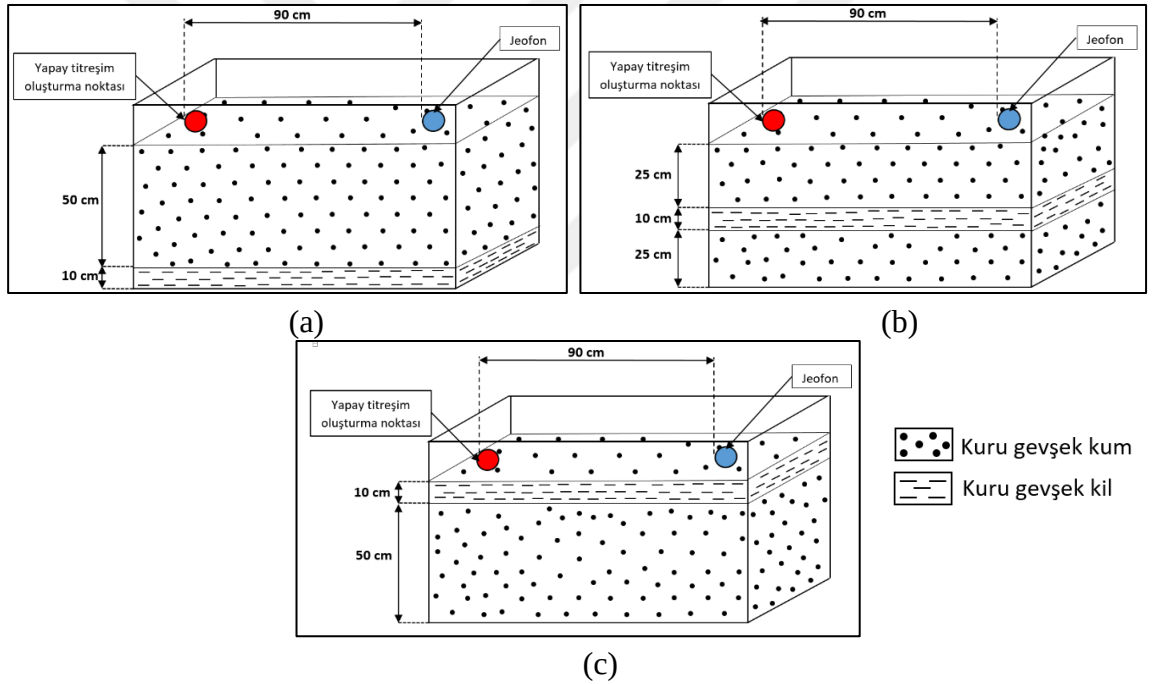
- Model 6'nın birinci alt model grubu kapsamında gerçekleştirilen alt modellerin temsili resimleri Şekil 3.23'te sunulmuştur.



- ✓ 2. Alt Model grubu: Bu alt model grubu kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların konumunun, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu amaçla 3 alt model incelenmiştir:

- Alt model 6b1: Deney tankına yerleştirilen kumun altına 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6b2: Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 10 cm kalınlığında yatay bir tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6b3: Deney tankına yerleştirilen kumun üstüne 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.

Model 6'nın ikinci alt model grubu kapsamında gerçekleştirilen alt modellerin temsili resimleri Şekil 3.24'te verilmiştir.



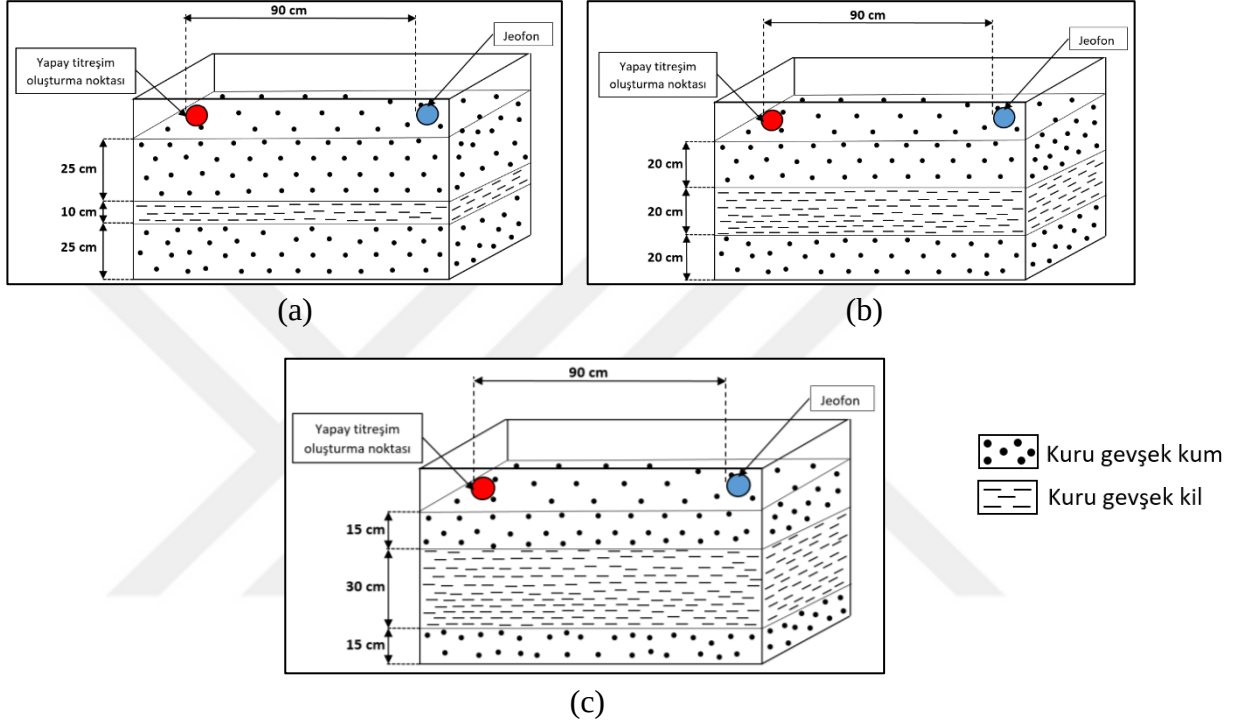
Şekil 3.24. Alt model 6b1 (a), Alt model 6b2 (b) ve Alt model 6b3 (c)'ün temsili resimleri

- ✓ 3. Alt Model grubu: Bu alt model grubu, kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların kalınlığının, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu amaçla 3 alt model hazırlanmıştır:

- Alt model 6c1: Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.

- Alt model 6c2: Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 20 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6c3: Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 30 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.

Model 6'nın üçüncü alt model grubu kapsamında gerçekleştirilen alt modellerin temsili resimleri Şekil 3.25'te verilmiştir.



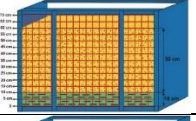
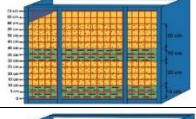
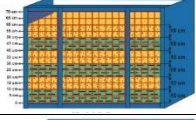
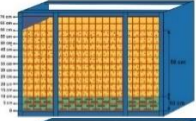
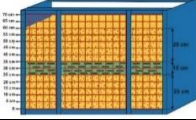
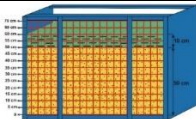
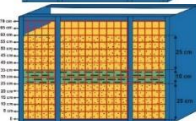
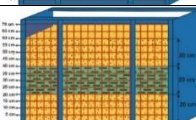
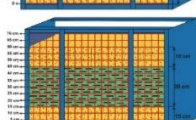
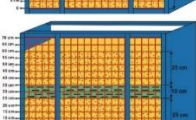
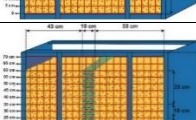
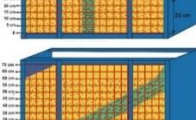
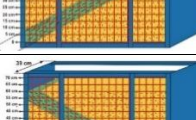
Şekil 3.25. Alt model 6c1 (a), Alt model 6c2 (b) ve Alt model 6c3 (c)'ün temsili resimleri

- ✓ 4. Alt Model grubu: Bu alt model grubu, kuru gevşek kumda kuru gevşek kildan yerleştirilen tabakaların yönünün, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu amaçla 4 alt model irdelenmiştir:
 - Alt model 6d1: Deney tankına yerleştirilen kuma paralel olarak 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
 - Alt Model 6d2: Deney tankına yerleştirilen kuma dik olarak 10 cm kalınlığında düşey bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
 - Alt model 6d3: Deney tankına yapay titreşim oluşturma noktasından 45° açılı 10 cm kalınlığında çapraz bir kil tabakası yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Model 1, Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5'in tanımları ve temsili şekilleri

Model	Tanım	Alt model	Tanım	Temsili Resim
Model 1	Kuru gevşek kum	-	-	
Model 2	Kuru gevşek kil	-	-	
Model 3	Sıkıştırılmış kuru kum	3a	Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır	
		3b	Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır	
		3c	Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır	
		3d	Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır	
		3e	Uygulanan düşey yük seviyesi 1 ton olarak tanımlanmıştır	
Model 4	Suya Doygun kum	-	-	
Model 5	Kuru gevşek kum	5a	Titreşim kaynağının derinliği 15 cm olarak modellenmiştir	
		5b	Titreşim kaynağının derinliği 30 cm olarak modellenmiştir	
		5c	Titreşim kaynağının derinliği 45 cm olarak modellenmiştir	

Çizelge 3.3. Model 6 kapsamında yürütülen alt modellerin tanımları ve temsili şekilleri

Alt model grubu	Alt model	Tanım	Temsili Resim
Birinci alt model grubu	6a1	Deney tankına yerleştirilen kumun altına 10 cm kalınlığında yatay 1 kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6a2	Deney tankına yerleştirilen kumda 10 cm kalınlığında 2 yatay kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6a3	Deney tankına yerleştirilen kumda 10 cm kalınlığında 3 yatay kil tabakası yerleştirilmiştir	
İkinci alt model grubu	6b1	Deney tankına yerleştirilen kumun altına 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6b2	Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 10 cm kalınlığında yatay bir tabakası yerleştirilmiştir	
	6b3	Deney tankına yerleştirilen kumun üstüne 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir	
Üçüncü alt model grubu	6c1	Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.	
	6c2	Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 20 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6c3	Deney tankına yerleştirilen kumun ortasına 30 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.	
Dördüncü alt model grubu	6d1	Deney tankına yerleştirilen kuma paralel olarak 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.	
	6d2	Deney tankına yerleştirilen kuma dik olarak 10 cm kalınlığında düşey bir kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6d3	Deney tankına yerleştirilen kumda yapay titreşim oluşturma noktasından 45° açılı 10 cm kalınlığında çapraz bir kil tabakası yerleştirilmiştir	
	6d4	Deney tankına yerleştirilen kumda Yapay titreşim oluşturma noktasının deney tankındaki karşı kenarından 45° açılı 10 cm kalınlığında çapraz bir kil tabakası yerleştirilmiştir.	

3.11. Sıkıştırma Derecelerinin Ayarlanması

Model 3'te sıkıştırılmış kuru kum üzerinde oluşturulan darbe kaynaklı titreşim dalgalarının yayılımının incelenmesi sağlanmıştır. Bu modelin hazırlama sürecinde deney tankı hidrolik pres çerçevesinin içine yerleştirilmiştir. Farklı sıkıştırma derecelerinin zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmaları üzerindeki etkisini araştırmak için gerçekleştirilen Model 3'ün hazırlanmasında Model 1 değerlendirilmiştir. Model 1'de tank kuru gevşek kum ile 60 cm seviyesine kadar doldurulmuştur. Model 1 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri tamamlandıktan sonra deney tankı hiç boşaltılmadan ve hiçbir değişiklik yapılmadan tankın üst yüzeyine yükleme düzeneği yerleştirilmiş ve alt modeller için belirlenen yükler uygulanmıştır. Model 3 beş alt modele ayrılır:

- ✓ Alt model 3a: Düşey yük seviyesi 1 ton olarak uygulanmıştır.
- ✓ Alt model 3b: Düşey yük seviyesi 2 ton olarak uygulanmıştır.
- ✓ Alt model 3c: Düşey yük seviyesi 3 ton olarak uygulanmıştır.
- ✓ Alt model 3d: Düşey yük seviyesi 4 ton olarak uygulanmıştır.
- ✓ Alt model 3e: Düşey yük seviyesi 5 ton olarak uygulanmıştır.

Model 3'te deney tankında bulunan kuru gevşek kum üzerinde yük ölçümünü sağlayan sistem yerleştirilmiştir ve sırasıyla 1 ton, 2 ton, 3 ton, 4 ton ve 5 ton düşey yük seviyeleri uygulanmıştır. İlk başta kuru gevşek kum üzerine 2 plaka yerleştirilmiştir. Plakalar uygulanan yükün eşit ve homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktadır. Plakalar yerleştirildikten sonra yük hücresi hidrolik krikoya temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve TDG Ai8b veri toplama sistemine bağlanmıştır. Bu veri toplama sistemi yük hücresi tarafından algılanan yük değişimlerini ölçmektedir. Ardından ölçülen yük değerlerinin aktarımı TestLAB yazılımından, kullanıcı tarafından takip edilebilecek şekilde TDG USB aygıt geçidi ile bilgisayara aktarılmıştır. Uygulanan yükün kontrol edilmesini sağlayan bütün bu cihazlar çalıştırılmış ve bunlar arasında gereken bağlantılar sağlanmıştır. Daha sonra dijital servo kontrol ünitesinden hidrolik presin çalışma yönü (düşey yön, basma) ve yükleme hızı manuel olarak ayarlanmış ve düşey yüklemeye başlanmıştır. Hidrolik pres basınç uygularken oluşan yük değerinin değişimi TestLAB yazılımı ile takip edilmiştir. Yük değeri 1 ton'a ulaştığında yükleme sistemi durdurulmuş ve bütün cihazlar ile plakalar kaldırılmıştır. Ardından yüzeyden yapay titreşim dalgaları oluşturan düzenek ile titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 1 adet jeofon yerleştirilmiş ve zemin titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece Model 3'ün birinci alt modeli (alt model

3a) tamamlanmıştır. Ardından alt model 3a'ya hiçbir değişiklik yapmadan yükleme düzeneği tekrar koyulmuştur. Alt model 3b hazırlanırken alt model 3a'ya 1 ton daha yük eklenerek toplamda 2 ton yüklenme yapılmıştır. Sonra yüklemede kullanılan plakalar ve cihazlar kaldırılmış ve titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar Model 3'ün 5 alt modeli tamamlanana kadar tekrarlanmıştır.

3.12. Kumun Suyu Doygunluğunun Ayarlanması

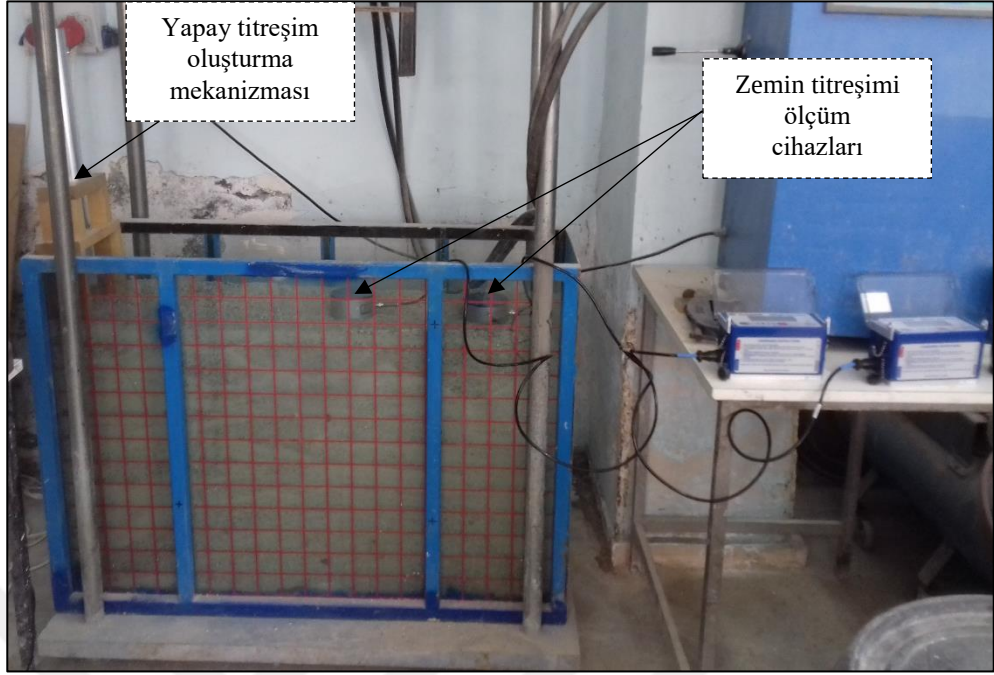
Model 4'te suya doygun gevşek kum üzerinde zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmaları irdelenmiştir. Bu amaçla 60 cm yüksekliğe kadar kuru gevşek kum ile doldurulmuş deney kasasına, kum suya doygun hale gelene kadar su ilave edilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Gevşek kumun suya doygun hale getirilmesi

3.13. Zemin Titreşimlerinin Ölçümü

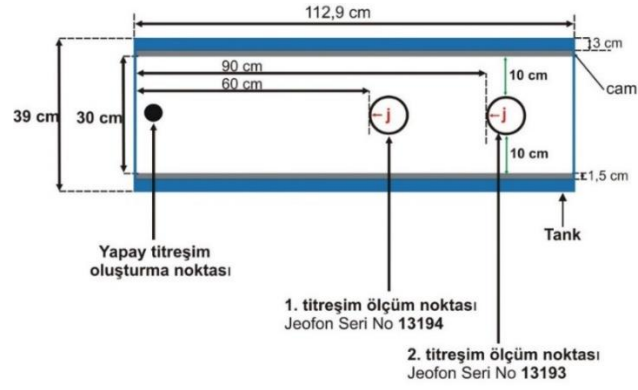
Farklı zeminlerde yer sarsıntısının yayılım mekanizmalarını incelemek için tasarlanan deney tankı kullanılarak farklı zemin modelleri ve alt modeller oluşturulmuştur. İzlenecek modele göre tankı doldurduktan sonra yapay titreşim oluşturan mekanizma ile “Instantel Minimate Plus” sismograf cihazları yerleştirilmiştir (Şekil 3.28).



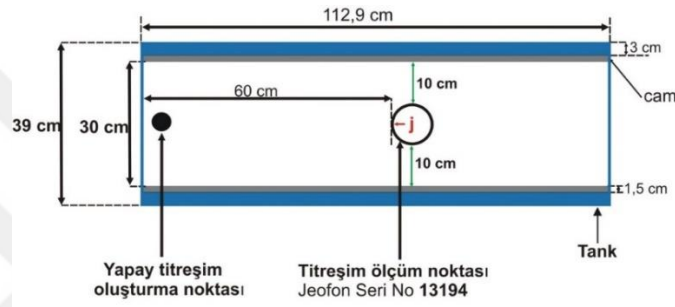
Şekil 3.28. Yapay zemin titreşimi oluşturan mekanizma ve ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi (Model 1)

Deney programında belirtildiği gibi kum ve kil zeminler kullanılarak arazi koşullarını modellemek için bir deney kasasında 6 ana zemin modeli hazırlanmıştır. Yapay titreşim dalgaları oluşturmak için bilye bırakma mekanizmasına dayanan özel bir düzenek kullanılmıştır. Bu yapay titreşim kaynağı titreşim dalgaları oluştururken, tankın üst yüzeyine yerleştirilen ve her biri bir kayıt ünitesine bağlanan bir veya 2 jeofon (izlenecek modele göre) zeminde oluşan titreşim hareketlerinin kaydedilmesini sağlamıştır. Daha önce açıklandığı gibi, her zemin modeli için, titreşim dalgalarının oluşturulmasında kullanılan bilye zemin modelinin yüzeyinden 45 cm yükseklikte bulunan enerji seviyesinden bırakılmıştır.

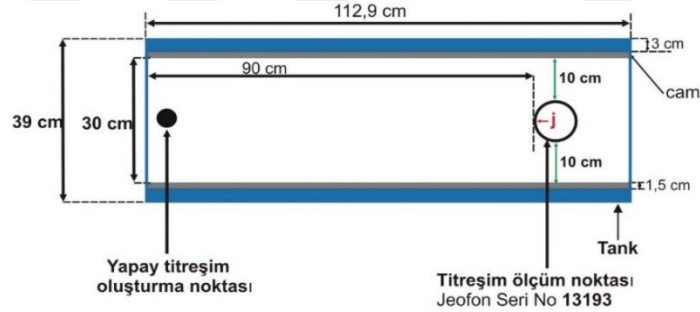
Modele göre kullanılacak olan jeofonların sayısı ve yerleştirme konumu belirtilmiştir. Model 1, Model 2 ve Model 4'te 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilmiştir (Şekil 3.29). Model 3, Model 5 ve Model 6'da ise oluşan titreşimin ölçülmesinde bir adet jeofon kullanılmıştır. Model 3 ve Model 5'te 60 cm uzaklıkta 1 adet jeofon kullanılmıştır (Şekil 3.30). Model 6'da ise titreşimin ölçülmesinde 90 cm uzaklıkta 1 adet jeofon kullanılmıştır (Şekil 3.31). Tüm modellerde jeofonlar zemin titreşim oluşturma noktasıyla aynı hatta yerleştirilmiştir. Jeofonlar üstündeki okların yönü her zaman zemin titreşim kaynağının yönüne doğru gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.29. Model 1, Model 2 ve Model 4'te kullanılan jeofonların yerleştirme konfigürasyonu



Şekil 3.30. Model 3 ve Model 5'te kullanılan jeofonun yerleştirilme konfigürasyonu



Şekil 3.31. Model 6'da kullanılan jeofonun yerleştirilme konfigürasyonu

3.14. Ölçülen Zemin Titreşim Değerlerinin Aktarımı

Her zemin model/alt modeline ait 15 adet zemin titreşim testi tamamladıktan sonra sismograf(lar) tarafından ölçülen tüm titreşim olaylarının özellikleri (titreşim olayının tarihi ve saati, tetikleme, PVL değeri, PVT değeri, PVV değeri, PVS değeri, frekans, deplasman, parçacık ivmesi vs.) bir kablo kullanılarak Blastware 8.0 yazılımı aracılığıyla kayıt ünitesinden bilgisayara aktarılmaktadır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Sismograf tarafından kayıt edilen titreşim değerlerinin bilgisayara aktarımı

Şekil 3.33'te Blastware 8.0 yazılımı ile jeofonlar tarafından algılanan ve sismografin kayıt ünitesi tarafından kaydedilen tüm titreşim olaylarının özellikleri gösterilmektedir. Her titreşim olayı için kayıt ünitesinin seri numarası, tetikleme, titreşim olayının tarihi ve saati ile mm/s cinsinden ifade edilen Maks. Enine titreşim değeri PVT, Maks. Düşey titreşim değeri PVV, Maks. Boyuna titreşim değerleri PVL ve Bileşke Vektörel Toplamı PVS gösterilmektedir. Bunun haricinde Blastware 8.0 yazılımı ile zemin titreşiminin frekansı ve oluşan deplasman ile parçacık ivmesi gibi başka titreşim özellikleri de takip edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada bu parametreler incelenmeyecektir.

Type	Serial No.	Date/Time	No.	Trigger	Chan	Type	Virt Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mts Peak (mm/s)	PVS (mm/s)	Description
W	0813184	Dec 12 11:58:00	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:01	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:02	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:03	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:04	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:05	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:06	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:07	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:08	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:09	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:10	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:11	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:12	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:13	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:14	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
W	0813184	Dec 12 11:58:15	4	Long	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70

Şekil 3.33. Blastware 8.0'a aktarılan titreşim değerlerinin bir ekran örneği

Blastware 8.0 yazılımına aktarıldıktan sonra, Excel programı kullanılarak her model/alt modele ait elde edilen 15 titreşim deneyinin sonuçları bir çizelgede organize edilmiştir. Bu işlem her jeofon için ayrı yapılmıştır. Yani bir model/alt modelde kullanılan jeofon sayısına göre bir veya iki çizelge elde edilmiştir. Bu çizelge her titreşim olayının tetikleme yönü, Maks. Enine titreşim değeri PVT, Maks. Düşey titreşim değeri PVV, Maks. Boyuna titreşim değeri PVL ve Bileşke Vektörel Toplamı PVS kapsayacak şekilde

hazırlanmıştır. Ardından titreşim olayları tetikleme yönüne göre sınıflandırılmış (enine, düşey veya boyuna) ve aynı tetikleme kaynağına sahip titreşim olayları aynı kategoride ele alınarak ve her kategoride elde edilen titreşim olayları analiz edilmiştir. Sonra en düşük ve en yüksek değerler elenerek her tetikleme yönü kategorisine ait Ortalama PVT, Ortalama PVV, Ortalama PVL ve Ortalama PVS hesaplanarak ve standart sapmaları belirlenmektedir.

Bu çalışmada Model 3'te hidrolik pres kullanılacağı için tasarlanan deney tankının ölçüleri pres çerçevesinin içine yerleştirilebilecek şekilde belirlenmiştir. Dikdörtgen prizma şeklindeki deney kasasının uzunluğu (112.9 cm) genişliğinden (39 cm) daha büyük olarak tasarlanmıştır. Enine ve boyuna ölçülerdeki farklıklar nedeniyle elde edilen titreşim olaylarının PVT, PVV, PVL ve PVS değerlerinde tetikleme yönüne bağlı olarak farklıklar gözlenmiştir. Bu sebeple istatistiki olarak daha kesin sonuçlar elde etmek için bu çalışmada tüm model/ alt modellerde her ölçüm noktasında elde edilen 15 titreşim olayı tetikleme yönlerine göre ayırt edilmiş ve her tetikleme yönüne ait Ort. PVV, Ort. PVL, Ort. PVT ve Ort. PVS değerleri ayrı hesaplanmıştır. Bu yöntemle, elde edilen standart sapmaların en aza indirilmesini sağlanmıştır. Böylece her model/alt modelde bir titreşim ölçüm noktası için 3 Ortalama PVS değeri elde edilmektedir. En tehlikeli olasılıkların gerçekleşme ihtimaline karşılık bu 3 değer arasında en yüksek değer dikkate alınarak gereken analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Çizelge 3.4'te bu işlemlerin bir örneği gösterilmektedir. Çizelgede, Model 2'de (kuru gevşek kil) titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklığa yerleştirilmiş jeofondan elde edilen sonuçların, bahsedilen adımlar uygulanarak Excel programında bir çizelge üzerinde düzenlenmiş hali sunulmaktadır.

Çizelge 3.4. Elde edilen zemin titreşim sonuçlarının Excel programında çizelge şeklinde düzenlenmesinin bir örneği

Zemin modeli		2			
Litoloji		Kuru gevşek kil			
Jeofonun titreşim oluşturma noktasına uzaklığı		60 cm			
Tetikleme yönü	Titreşim olay sayısı	PVT (mm/s)	PVV (mm/s)	PVL (mm/s)	PVS (mm/s)
Boyuna	8	1.92	~~1.64~~ *	2.78	3.4
		~~2.27~~ **	1.87	~~2.81~~ **	3.35
		1.92	1.86	2.76	3.35
		2.16	1.67	~~2.35~~ *	~~3.02~~ *
		2.1	1.97	2.67	3.2
		~~1.9~~ *	1.67	2.62	3.25
		1.97	~~2.14~~ **	2.6	3.43
		2.06	2.13	2.7	~~3.48~~ **
Ortalama Maks. Hız		2.02	1.86	2.69	3.33
Standart Sapma		0.1	0.18	0.07	0.09
Düşey	1	2.11	2.17	2.6	3.38
Ortalama Maks. Hız		2.02	1.86	2.69	3.33
Standart Sapma		-	-	-	-
Enine	6	1.86	~~2.3~~ **	2.91	~~3.68~~ **
		~~1.78~~ *	~~1.05~~ *	~~2.43~~ *	3.64
		~~2.16~~ **	1.54	2.67	~~3.11~~ *
		2.06	1.71	2.6	3.19
		2.14	1.9	~~2.92~~ **	3.58
		2.02	2.1	2.81	3.46
Ortalama Maks. Hız		2.02	1.81	2.75	3.47
Standart Sapma		0.12	0.24	0.14	0.2
Dikkate alınacak Maksimum Ortalama PVS değeri					3.47

*En düşük değer

**En yüksek değer

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Gerçekleştirilen Zemin Titreşim Deneylerinin Sonuçları

4.1.1. Genel

Bu bölümde materyal ve yöntem bölümünde bahsedilen 6 ana zemin modeli ve bu modeller kapsamında gerçekleştirilen alt modeller ayrıntılı bir şekilde sunulmuş ve bu modeller/alt modeller üzerine gerçekleştirilen zemin titreşim deneylerinin sonuçları detaylı olarak verilmiştir. Planlanan model/alt modele göre deney kasasına kum ve/veya kil yerleştirip varsa gerekli hazırlıklar yapılmıştır (su ilaveleri, düşey yük uygulaması, yeraltından kaynaklanan titreşimi modellemek için PVC borunun yerleştirilmesi vb.). Ardından bilyenin serbest düşmesine imkan tanıyan mekanizma ile her bir model ve alt model için 15 vuruş ile yapay zemin titreşim olayı oluşturulmuş ve modele göre bir veya iki sismograf yardımıyla oluşan zemin titreşim dalgalarının özellikleri kayıt edilerek Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Her jeofon tarafından (eğer 2 jeofon kullanıldıysa) kaydedilen 15 PVT değeri, 15 PVV değeri, 15 PVL değeri ve 15 Bileşke Vektörel Toplamı, PVS değeri Excel programı kullanılarak PVS tetikleme yönüne göre gruplandırılmıştır (enine, düşey veya boyuna). En düşük ile en yüksek değerler elenerek her tetikleme kategorisinin Ortalama Maksimum hızları ve standart sapmaları belirlenmiş ve Excel programında bir çizelgede haline getirilmiştir.

Bu bölümde, gerçekleştirilen titreşim deneylerinin ve yapılan hesaplama işlemlerinin sonucunda her model/alt modele ait Ortalama PVT, Ortalama PVV, Ortalama PVL, Ortalama PVS ve standart sapmaları da belirlenmiş ve sunulmuştur.

4.1.2. Model 1: Kuru gevşek kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları

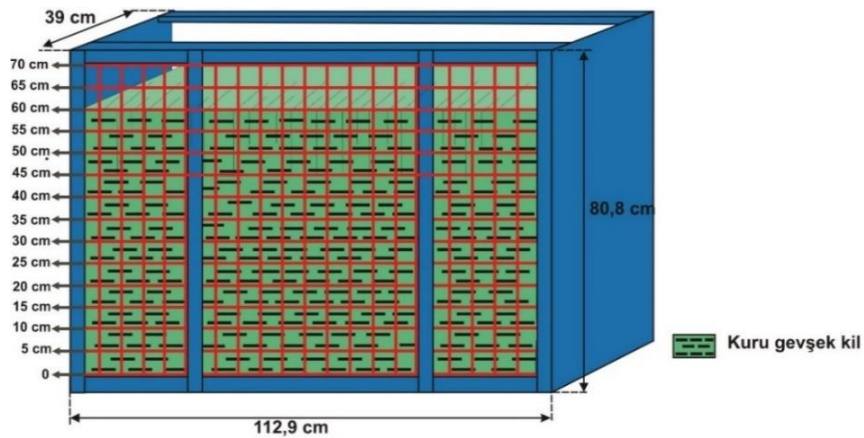
Model 1'in hazırlanmasında deney tankı 60 cm seviyesine kadar kuru gevşek kum ile doldurulmuştur. Bu modelde düşey yükleme uygulanmamıştır. Ayrıca su ilave edilmemiş ve yapay tabakalar koyulmamıştır. Tankı doldurmak için 370.32 kg kum kullanılmıştır. Deney tankı doldurulduktan sonra yer üstünden yapay titreşim dalgaları oluşturan düzenek ile titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet

Çizelge 4.1. Kuru gevşek kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Jeofonun titreşim oluşturma noktasına uzaklığı	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız/ Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
60 cm	Boyuna	14	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.85	2.35	5.63	6.4
			Standart Sapma	0.18	0.23	0.57	0.5
	Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Enine	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.79	2.38	5.65	6.61
			Standart Sapma	-	-	-	-
90 cm	Boyuna	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.76	2.53	4.5	5
			Standart Sapma	0.21	0.15	0.07	0.15
	Düşey	2	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.51	2.32	4.33	4.8
			Standart Sapma	0.19	0.34	0.44	0.64
	Enine	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.67	2.67	4.22	4.84
			Standart Sapma	0.18	0.2	0.33	0.42

4.1.3. Model 2: Kuru gevşek kil üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları

Model 2'nin hazırlanmasında deney tankı 60 cm seviyesine kadar kuru gevşek kil ile doldurulmuştur. Bu modelde düşey yükleme uygulanmamıştır. Ayrıca su ilave edilmemiş ve yapay tabakalar konulmamıştır. Deney kasası doldurulduktan sonra yer üstünden yapay titreşim dalgaları oluşturan düzenek ile titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilmiş ve zemin titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Model 2'nin şematik ve fotoğraf görünüşleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.3. Model 2'nin şematik görünüşü



Şekil 4.4. Model 2 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda yerleştirilen jeofonlar tarafından kaydedilen titreşim olaylarının özellikleri kayıt ünitelerinden (patlatma sismograflarından) Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Ardından Excel programında tetikleme yönüne göre bir çizelge hazırlanmış ve en düşük ile en yüksek değerler elenerek ortalama PVT, ortalama PVL, ortalama PVV, ortalama PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Kuru gevşek kil üzerinde gerçekleştirilen zemin titreşim deneylerinin sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

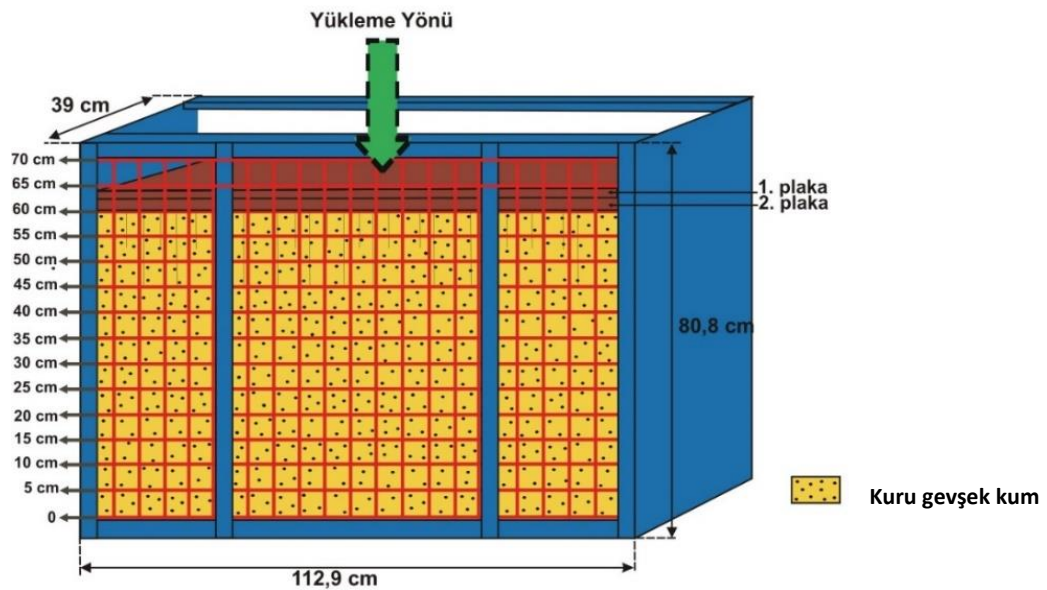
Çizelge 4.2. Kuru gevşek kil üzerinde gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Jeofonun titreşim oluşturma noktasına uzaklığı	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız/ Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
60 cm	Boyuna	8	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.02	1.86	2.69	3.33
			Standart Sapma	0.1	0.18	0.07	0.09
	Düşey	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.11	2.17	2.6	3.38
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Enine	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.02	1.81	2.75	3.47
			Standart Sapma	0.12	0.24	0.14	0.2
90 cm	Boyuna	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.67	3.78	2.6	3.85
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Enine	14	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.66	3.87	2.45	3.98
			Standart Sapma	0.14	0.14	0.14	0.13

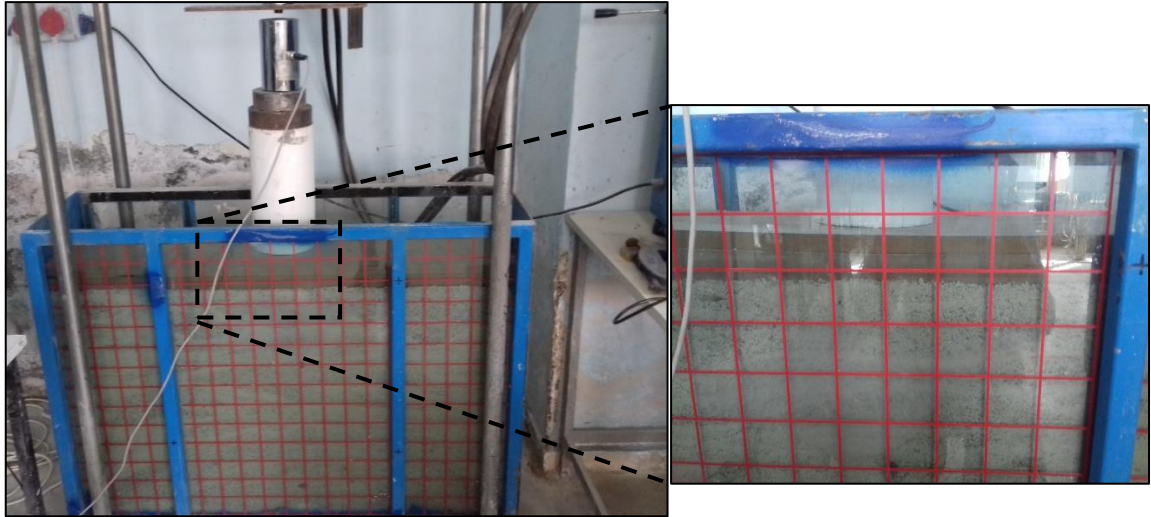
4.1.4. Model 3: Sıkıştırılmış kuru kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları

Model 3'te sıkıştırılmış kuru kum üzerinde oluşturulan darbe kaynaklı titreşim dalgalarının yayılımının incelenmesi sağlanmıştır. Model 3 beş alt modelden oluşturulmuştur. Bu alt modellerin gerçekleştirilmesinde deney tankının üst yüzeyine sırasıyla 1 ton, 2 ton, 3 ton, 4 ton ve 5 ton olmak üzere beş farklı düşey yük uygulanmıştır. Model 3'ün şematik görünüşü Şekil 4.5'te verilmiştir. Bu modelinin gerçekleşmesinde düşey yükleme çalışmaları Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Her alt modelde titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofon tarafından kaydedilen titreşim olaylarının özellikleri kayıt ünitelerinden Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Ardından her alt model için Excel programında bir çizelgede oluşturulmuş ve en düşük ile en yüksek değerler elenerek ortalama PVT, ortalama PVL, ortalama PVV, ortalama PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Farklı yük değerlerinde sıkıştırılmış kuru kum üzerinde gerçekleştirilen zemin titreşim deneylerin sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Düşey yük uygulamaları başlamadan önce deney tankındaki kuru gevşek kumun yüksekliği 60 cm olarak tespit edilmiştir. Model 3'ün gerçekleştirilmesinde her alt modelin düşey yükleme çalışmaları tamamlanıp titreşim deneylerine geçmeden önce sıkıştırılmış kum yüksekliğinin değişimleri ölçülmüştür. Kuru kumun yüksekliğinde oluşan değişimler Çizelge 4.4'te rapor edilmiştir.



Şekil 4.5. Model 3'ün şematik görünüşü



Şekil 4.6. Model 3'ün hazırlanmasında gerçekleştirilen düşey yükleme çalışmaları

Çizelge 4.3. Titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta sıkıştırılmış kuru kum üzerine gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

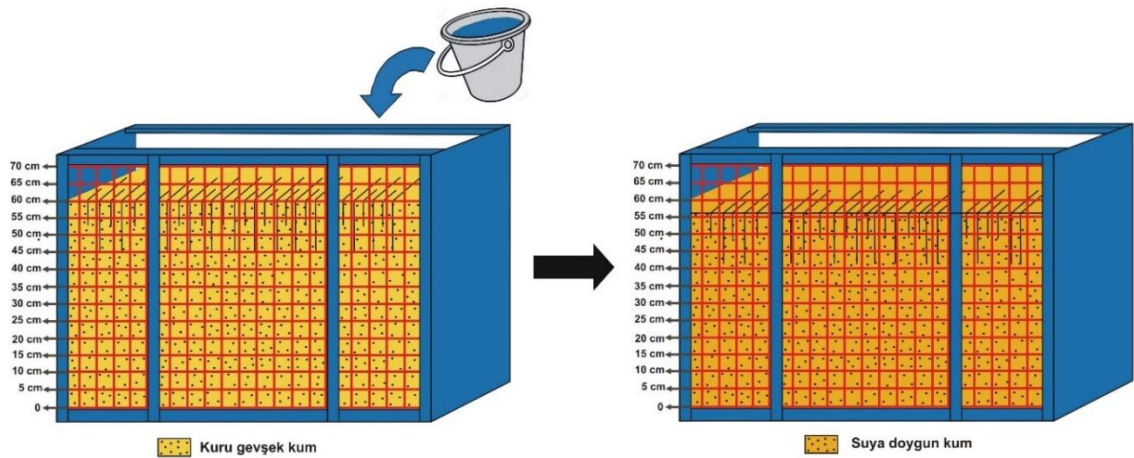
Alt model	Uygulanan Düşey Yük	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
3a	1 ton	Boyuna	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.44	2.72	3.88	4.29
				Standart Sapma	0.17	0.25	0.42	0.2
		Düşey	4	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.54	2.96	3.82	4.14
				Standart Sapma	0.04	0.06	0.1	0.04
		Enine	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.55	3	4.22	
				Standart Sapma	0.03	0.09	0.18	0.04
3b	2 ton	Boyuna	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.81	2.54	3.12	3.66
				Standart Sapma	0.18	0.26	0.06	0.06
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	9	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.58	2.3	3.06	3.56
				Standart Sapma	0.19	0.14	0.3	0.19
3c	3 ton	Boyuna	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.54	2.17	3.08	3.4
				Standart Sapma	0.05	0.17	0.15	0.1
		Düşey	4	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.29	2.2	2.92	3.43
				Standart Sapma	0.06	0.46	0	0.28
		Enine	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.38	1.94	2.94	3.25
				Standart Sapma	0.12	0.3	0.16	0.22
3d	4 ton	Boyuna	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.67	1.9	3.37	3.41
				Standart Sapma	0.2	0.34	0.18	0.18
		Düşey	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.59	2.01	3.15	3.31
				Standart Sapma	0.01	0.37	0.14	0.21
		Enine	9	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.61	1.92	3.26	3.35
				Standart Sapma	0.08	0.33	0.28	0.29
3e	5 ton	Boyuna	4	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.93	2.1	3.04	3.26
				Standart Sapma	0.06	0.1	0.13	0.06
		Düşey	2	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.66	1.99	3.09	3.31
				Standart Sapma	0.02	0.25	0.04	0.04
		Enine	9	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2	1.95	3.04	3.22
				Standart Sapma	0.15	0.12	0.12	0.12

Çizelge 4.4. Model 3'ün gerçekleştirilmesinde düşey yükleme sonucunda kuru kumun yüksekliğinde oluşan değişimler

Alt Model	Uygulanan düşey yük (ton)	Yüklemeden önce deney kasasındaki kumun yüksekliği (cm)	Yüklemeden sonra deney kasasındaki kumun yüksekliği (cm)	Kumun yüksekliğinde oluşan değişimi (cm)
3a	1	60	59	-1
3b	2	59	58.5	- 0.5
3c	3	58.5	58	- 0.5
3d	4	58	57.5	- 0.5
3e	5	57.5	57.2	- 0.3

4.1.5. Model 4: Suya doymun kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları

Model 4'te suya doymun gevşek kum üzerine zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmaları irdelenmiştir. Bu amaçla 60 cm yüksekliğine kadar kuru gevşek kum ile doldurulmuş deney tankına, kum suya doymun hale gelene kadar su ilave edilmiştir. Ardından zemin yüzeyinden yapay titreşim dalgaları oluşturan düzenek ile titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda 2 adet jeofon yerleştirilmiş ve zemin titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu zemin modelinin hazırlanmasında su ilave edilmeden önce deney kasası 60 cm seviyesine kadar kuru gevşek kum ile doldurulmuştur. Su ilave edilip kum suya doymun haline gelince kumun yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir. Suya doymun kumun yüksekliği 56 cm'ye düşmüştür. Böylece 4 cm'lik bir azalma olmuştur. Model 4'ün şematik ve fotoğraf görünüşleri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Model 4'ün şematik görünüşü



Şekil 4.8. Model 4'ün fotoğraf görünüşü

Titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda yerleştirilen jeofonlar tarafından kaydedilen titreşim test sonuçları kayıt ünitelerinden Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Elde edilen değerler, Excel programında tetikleme yönüne göre bir çizelgede toplanmış ve en düşük ile en yüksek değerler elenerek ortalama PVT, ortalama PVL, ortalama PVV, ortalama PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Suyu doymuş kum üzerinde gerçekleştirilen zemin titreşim deneylerinin sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

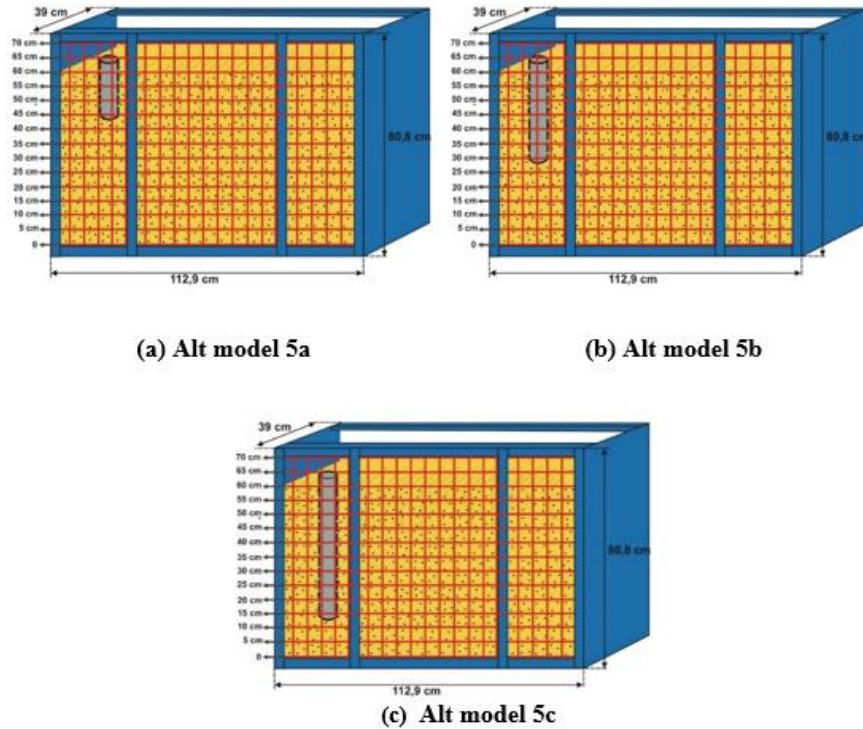
Çizelge 4.5. Suyu doymuş kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Jeofonun titreşim oluşturma noktasına uzaklığı	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
60 cm	Boyuna	9	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.21	1.47	3.66	3.72
			Standart Sapma	0.14	0.11	0.36	0.37
	Düşey	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	0.984	1.19	3.62	3.65
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Enine	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.08	1.3	3.61	3.69
			Standart Sapma	0.09	0.1	0.15	0.09
90 cm	Boyuna	4	Ort. Maks. Hız (mm/s)	0.89	1.76	2.68	2.91
			Standart Sapma	0.11	0.04	0.11	0.04
	Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
			Standart Sapma	-	-	-	-
	Enine	11	Ort. Maks. Hız (mm/s)	0.8	1.8	2.53	2.91
			Standart Sapma	0.09	0.14	0.27	0.27

4.1.6. Model 5: Kuru gevşek kumda farklı derinliklerden kaynaklanan zemin titreşim deneylerinin sonuçları

Model 5'in hazırlanmasında deney tankı kuru gevşek kum ile 60 cm seviyesine kadar doldururken kumun içine farklı derinliklerde bir PVC boru yerleştirilmiştir. Böylece yeraltından kaynaklanan zemin titreşimleri modellenmiştir. Model 5 üç alt modele ayrılmıştır: Alt model 5a, alt model 5b ve alt model 5c. Bu alt modellerde titreşim kaynağının derinliği sırasıyla 15 cm, 30 cm ve 45 cm olarak modellenmiştir. Model 5'in alt modellerinin şematik görünüşleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Ayrıca alt model 5c'nin hazırlanması Şekil 4.10'da gösterilmektedir.

Her alt modelde titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofon tarafından kaydedilen titreşim olaylarının özellikleri kayıt ünitelerinden Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Her alt model için elde edilen değerler Excel programında bir çizelgeye aktarılmış ve en düşük ile en yüksek değerler elenerek ortalama PVT, ortalama PVL, ortalama PVV, ortalama PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Kuru gevşek kumda farklı derinliklerden kaynaklanan zemin titreşim deneylerinin sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Alt model 5a (a), Alt model 5b (b) ve Alt model 5c (c)'nin şematik görünüşleri



Şekil 4.10. Alt model 5c'nin hazırlanması (alt model 5c)

Çizelge 4.6. Model 5 üzerine gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Alt model	PVC boru derinliği	Tetikleme yönü	Titreşim olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
5a	15 cm	Boyuna	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.88	4.01	2.99	4.54
				Standart Sapma	0.32	0.78	0.42	0.65
		Düşey	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.97	4.11	2.78	4.56
				Standart Sapma	0.29	0.37	0.37	0.34
		Enine	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.03	4.33	2.31	4.58
				Standart Sapma	0.45	0.68	0.14	0.66
5b	30 cm	Boyuna	12	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.75	3.46	2.7	3.99
				Standart Sapma	0.32	0.2	0.32	0.18
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.87	3.68	2.43	4.09
				Standart Sapma	0.1	0.48	0.19	0.33
5c	45 cm	Boyuna	10	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.66	1.79	1.67	2.35
				Standart Sapma	0.21	0.16	0.19	0.16
		Düşey	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.92	1.83	1.4	2.31
				Standart Sapma	0.29	0.02	0.08	0.01
		Enine	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-

4.1.7. Model 6: Kil tabakaları içeren kuru gevşek kum üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları

Model 6'da kuru gevşek kil tabakaları içeren kuru gevşek kum üzerinde titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu modelde kil tabakalarının sayısının, konumunun,

kalınlığının ve yönünün yüzeyden üretilen yapay titreşim dalgalarının yayılması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Birinci alt model grubu tabaka sayısının zemin titreşimlerinin yayılması üzerindeki etkisini, ikinci alt model grubu tabaka kalınlığının yer sarsıntısı üzerindeki etkisini araştırmaktadır ve üçüncü alt model grubu tabaka konumunun zemin titreşimlerinin yayılması üzerindeki etkisini irdelemektedir. Dördüncü alt model grubu ise tabaka yönünün yer sarsıntısı üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu bölümde bu alt modeller ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

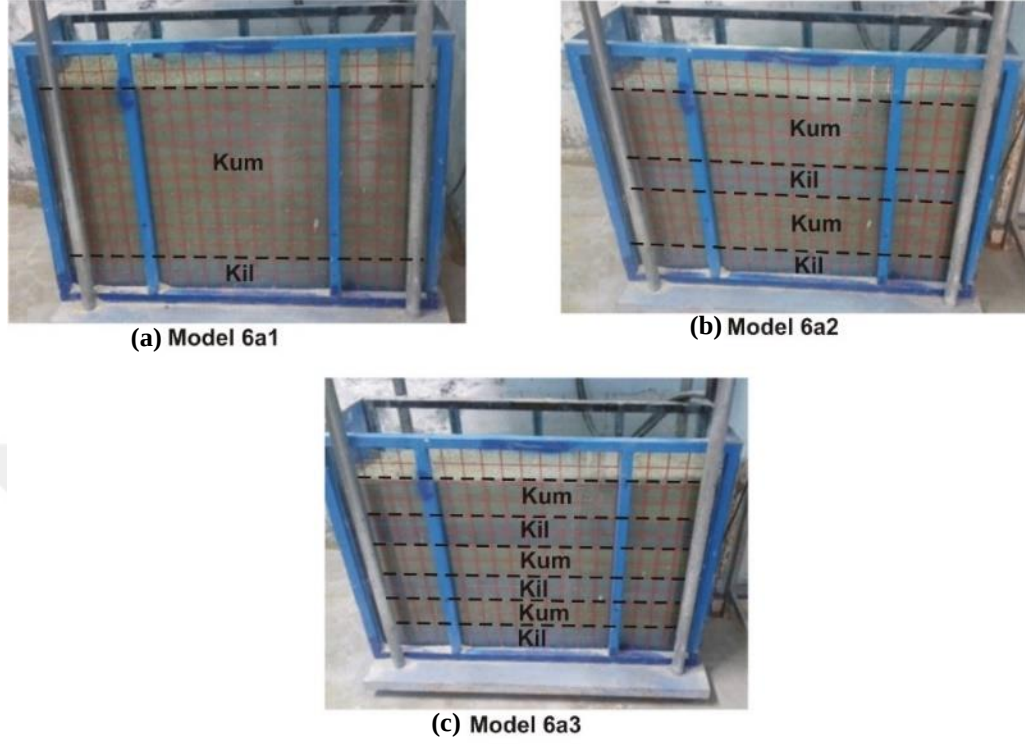
4.1.7.1. Birinci alt model grubu

Model 6'nın birinci alt model grubu, kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların sayısının, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu alt model grubu alt model 6a1, alt model 6a2 ve alt model 6a3 olmak üzere 3 alt modelinden ibarettir. Bu alt modellerde 10 cm kalınlığında sırasıyla 1, 2 ve 3 adet yatay kil tabakası yerleştirilmiştir:

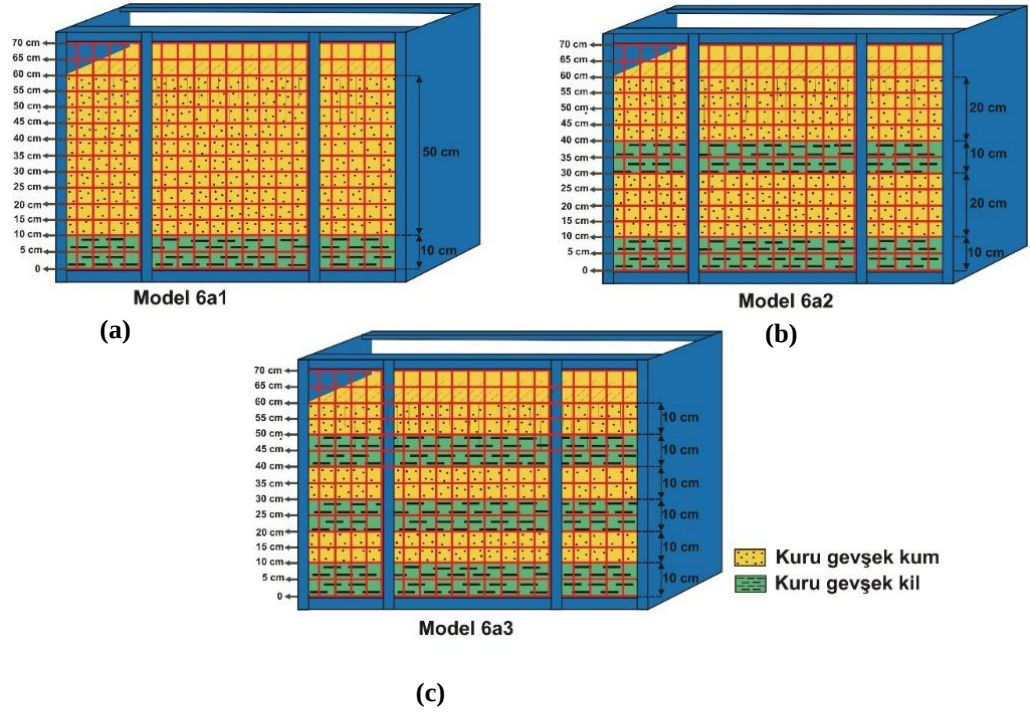
- Alt model 6a1: Deney kasasına 10 cm kalınlığında bir kil tabakası yerleştirilmiştir. Ardından tabakanın üstüne tankın 60 cm seviyesine kadar 50 cm kalınlığında kuru gevşek kum doldurularak oluşturulmuştur.
- Alt model 6a2: Deney kasasına 10 cm kalınlığında bir kil tabakası yerleştirilmiştir. Bu birinci tabakanın üstüne 20 cm kalınlığında kuru gevşek kum konulmuştur. Ardından 10 cm kalınlığında ikinci bir kil tabakası yerleştirilmiş ve tankı 60 cm seviyesine kadar doldurmak için tekrar 20 cm kalınlığında kum eklenmiştir.
- Alt model 6a3: Bu alt model 3 kil tabakası içermektedir. İlk başta 10 cm kalınlığında kil konulmuştur. Ardından 10 cm kalınlığında kum koyulmuştur. Bu işlemler 2 kez daha tekrarlanmıştır. Sonuç olarak bu alt modelde 10 cm kalınlığında kumla ayrılmış 10 cm kalınlığında 3 kil tabakası elde edilmiştir.

Alt model 6a1, 6a2 ve 6a3'ün şematik ve fotoğraf görüntüleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Her alt modelde titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofon tarafından kaydedilen titreşim testlerinin sonuçları kayıt ünitelerinden Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Her alt model için yapılan titreşim testlerinden elde edilen veriler Excel programında Çizelge haline getirilerek en düşük ile en yüksek değerler elendikten sonra Ort. PVT, Ort. PVL, Ort. PVV, Ort. PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden tabakaların sayısının titreşim

dalgaları üzerine etkisini incelemek için gerçekleştirilen titreşim deneylerin sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.11. Alt model 6a1 (a), Alt model 6a2 (b) ve Alt model 6a3 (c)’ün şematik görünüşleri



Şekil 4.12. Alt model 6a1 (a), Alt model 6a2 (b) ve Alt model 6a3 (c)’ün fotoğraf görünüşleri

Çizelge 4.7. Model 6'nın birinci alt model grubunda gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Alt model	Tabaka sayısı	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
6a1	1	Boyuna	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.7	2.98	3.84	4.16
				Standart Sapma	0.08	0.24	0.23	0.25
		Düşey	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.85	2.67	3.63	3.77
				Standart Sapma	0.05	0.03	0.1	0.12
		Enine	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.57	2.83	3.72	3.89
				Standart Sapma	0.08	0.09	0.11	0.08
6a2	2	Boyuna	8	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.83	1.95	4.65	4.88
				Standart Sapma	0.13	0.08	0.24	0.24
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.66	1.86	4.73	4.95
				Standart Sapma	0.11	0.08	0.17	0.17
6a3	3	Boyuna	11	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.59	2.3	4.67	4.78
				Standart Sapma	0.08	0.11	0.11	0.1
		Düşey	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.6	2.16	4.54	4.66
				Standart Sapma	0.09	0.26	0.14	0.15
		Enine	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.92	2.08	4.22	4.3
				Standart Sapma	-	-	-	-

4.1.7.2. İkinci alt model grubu

Model 6'nın ikinci alt model grubu, kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların konumunun, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu alt model grubu alt model 6b1, alt model 6b2 ve alt model 6b3 olmak üzere 3 alt modelden ibarettir. Bu alt modellerde, 10 cm kalınlığında sırasıyla deney tankındaki kumun altına, ortasına ve üstüne yatay bir kil tabakası konumlandırılmıştır:

- Alt model 6b1: Bu alt modelde deney tankının alt kısmına 10 cm kalınlığında kuru gevşek kilden yatay bir tabaka yerleştirilmiştir. Tanka 50 cm kalınlığında kum eklenerek 60 cm kalınlığa ulaşılmıştır.
- Alt model 6b2: Bu alt modelde tanka 25 cm kalınlığında kuru gevşek kum yerleştirilmiştir. Ardından 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası konulmuştur. Sonra deney kasasını 60 cm seviyesine kadar doldurmak için tekrar 25 cm kalınlığında kum yerleştirilmiştir.
- Alt model 6b3: Bu alt modelde deney kasası 50 cm seviyesine kadar kuru gevşek kum ile doldurulmuştur. Ardından 10 cm kalınlığında kuru gevşek kilden yatay bir tabaka yerleştirilmiştir.

(a) Model 6b1

(b) Model 6b2

(c) Model 6b3

75

Çizelge 4.8. Model 6'nın ikinci alt model grubunda gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

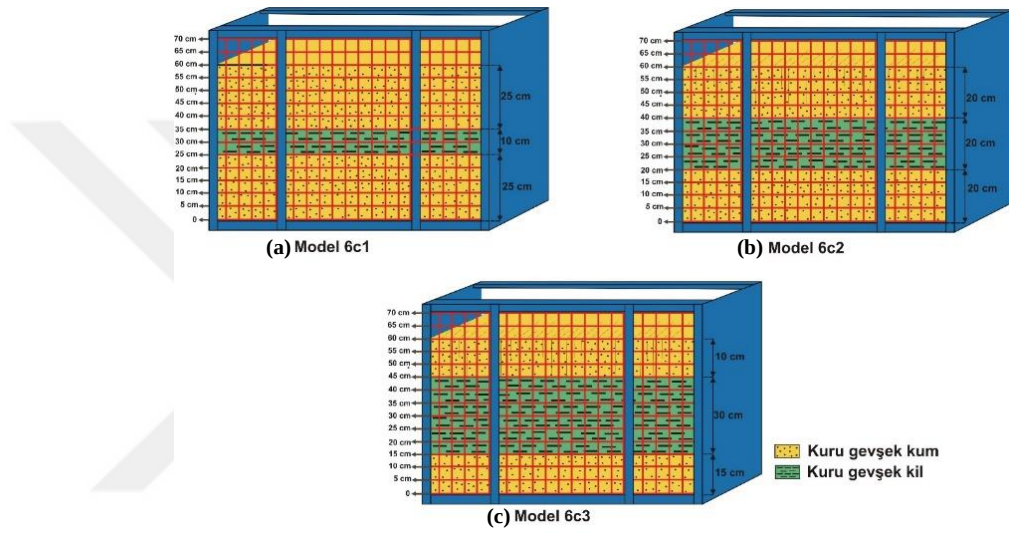
Alt model	Tabakanın konumu	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
6b1	Tabaka tankın en alt kısmında	Boyuna	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.7	2.98	3.84	4.16
				Standart Sapma	0.08	0.24	0.23	0.25
		Düşey	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.85	2.67	3.63	3.77
				Standart Sapma	0.05	0.03	0.1	0.12
		Enine	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.57	2.83	3.72	3.89
				Standart Sapma	0.08	0.09	0.11	0.08
6b2	Tabaka tankın ortasında	Boyuna	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.94	2.44	4.69	4.94
				Standart Sapma	0.04	0.04	0.28	0.26
		Düşey	2	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.68	4.87	5.21
				Standart Sapma	0.05	0.08	0.11	0.1
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.37	4.58	4.79
				Standart Sapma	0.1	0.07	0.38	0.38
6b3	Tabaka tankın en üst kısmında	Boyuna	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.21	2.9	3.63	4.1
				Standart Sapma	0.14	0.16	0.15	0.11
		Düşey	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.4	3.3	3.37	4.22
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.16	3.25	3.8	4.25
				Standart Sapma	0.16	0.12	0.05	0.1

4.1.7.3. Üçüncü alt model grubu

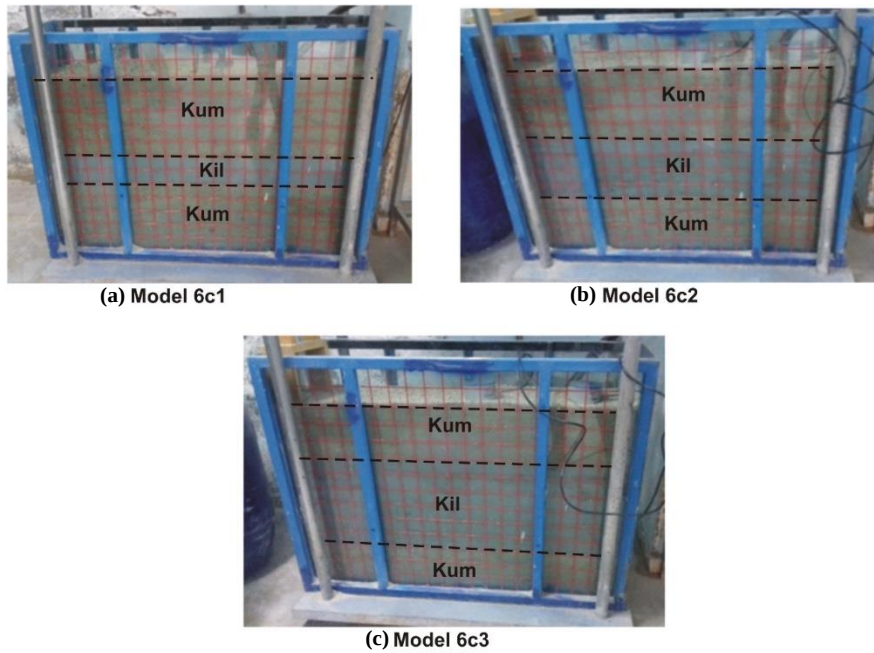
Model 6'nın üçüncü alt model grubu kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların kalınlığının, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu alt model grubu alt model 6c1, alt model 6c2 ve alt model 6c3 olmak üzere 3 alt modelden ibarettir. Bu alt modellerde kuru gevşek kuma, kuru gevşek kilden sırasıyla 10 cm, 20 cm ve 30 cm kalınlığında yatay bir tabaka yerleştirilmiştir. Bu alt modeller şu şekilde hazırlanmıştır:

- Alt model 6c1: Kuru gevşek kum ile doldurulan deney tankının ortasına 10 cm kalınlığında kuru gevşek kilden yatay bir tabaka yerleştirilmiştir. İlk başta 25 cm kum, sonra 10 cm kalınlığında kil sonra tekrar 25 cm kum konumlandırılmıştır.
- Alt model 6c2: Kuru gevşek kum ile doldurulan deney tankının ortasına 20 cm kalınlığında kuru gevşek kilden yatay bir tabaka yerleştirilmiştir. İlk başta 20 cm kalınlığında kum konulmuş ve sonra 20 cm kalınlığında bir kil tabakası yerleştirilmiş ve daha sonra tekrar 20 cm kalınlığında kuru gevşek kum yerleştirilmiştir.
- Alt model 6c3: Kuru gevşek kum ile doldurulan deney tankının ortasına 30 cm kalınlığında kuru gevşek kilden yatay bir tabaka yerleştirilmiştir. İlk başta 15 cm kum yerleştirilmiştir. Ardından 30 cm kalınlığında bir kil tabakası konulmuş ve sonra tekrar 15 cm kalınlığında kum yerleştirilmiştir.

Alt model 6c1, 6c2 ve 6c3'ün şematik ve fotoğraf görünüşleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Her alt modelde titreşim oluşturmak üzere konumlandırılan darbe noktasından 90 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofon aracılığıyla kaydedilen titreşim test sonuçları kayıt ünitelerinden Blastware 8.0 yazılımına aktarılmıştır. Elde edilen test verilerinden aynı prosedürler izlenerek Ort. PVT, Ort. PVL, Ort. PVV, Ort. PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden konumlandırılan tabakaların kalınlığının titreşim dalgaları üzerine etkisini incelemek için gerçekleştirilen titreşim deneylerin sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Alt model 6c1 (a), Alt model 6c2 (b) ve Alt model 6c3 (c)'ün şematik görünüşleri



Şekil 4.16. Alt model 6c1 (a), Alt model 6c2 (b) ve Alt model 6c3 (c)'ün fotoğraf görünüşleri

Çizelge 4.9. Model 6'nın üçüncü alt model grubunda gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Alt model	Tabaka kalınlığı	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
6c1	10 cm	Boyuna	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.94	2.44	4.69	4.94
				Standart Sapma	0.04	0.04		0.26
		Düşey	2	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.68	4.87	5.21
				Standart Sapma	0.05	0.08	0.11	0.1
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.37	4.58	4.79
				Standart Sapma	0.1	0.07	0.38	0.38
6c2	20 cm	Boyuna	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.81	2.43	4.78	4.87
				Standart Sapma	0.04	0.15	0.12	0.15
		Düşey	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.87	2.46	5.14	5.27
				Standart Sapma	0.11	0.26	0.31	0.28
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.77	2.24	4.74	4.9
				Standart Sapma	0.1	0.05	0.12	0.12
6c3	30 cm	Boyuna	8	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.09	2.32	4.44	4.84
				Standart Sapma	0.15	0.15	0.16	0.2
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.02	2.32	4.56	4.9
				Standart Sapma	0.1	0.15	0.08	0.12

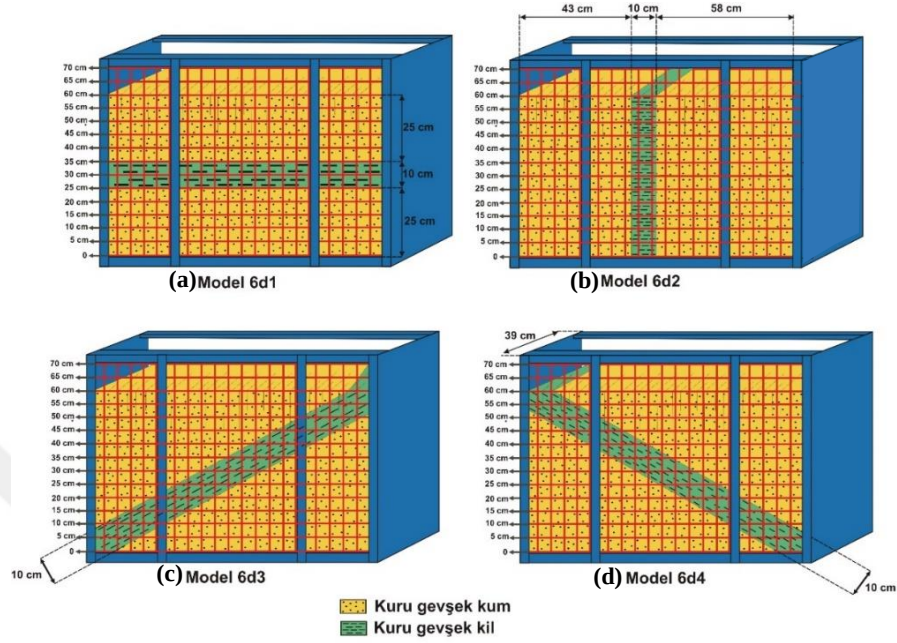
4.1.7.4. Dördüncü alt model grubu

Model 6'nın dördüncü alt model grubu kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden yerleştirilen tabakaların yönünün, zemin titreşimlerinin yayılım mekanizması üzerindeki etkisini araştırmak üzere oluşturulmuştur. Bu alt model grubu alt model 6d1, alt model 6d2, alt model 6d3 ve alt model 6d4 olmak üzere 4 alt modelden ibarettir. Bu alt modeller şu şekilde hazırlanmıştır:

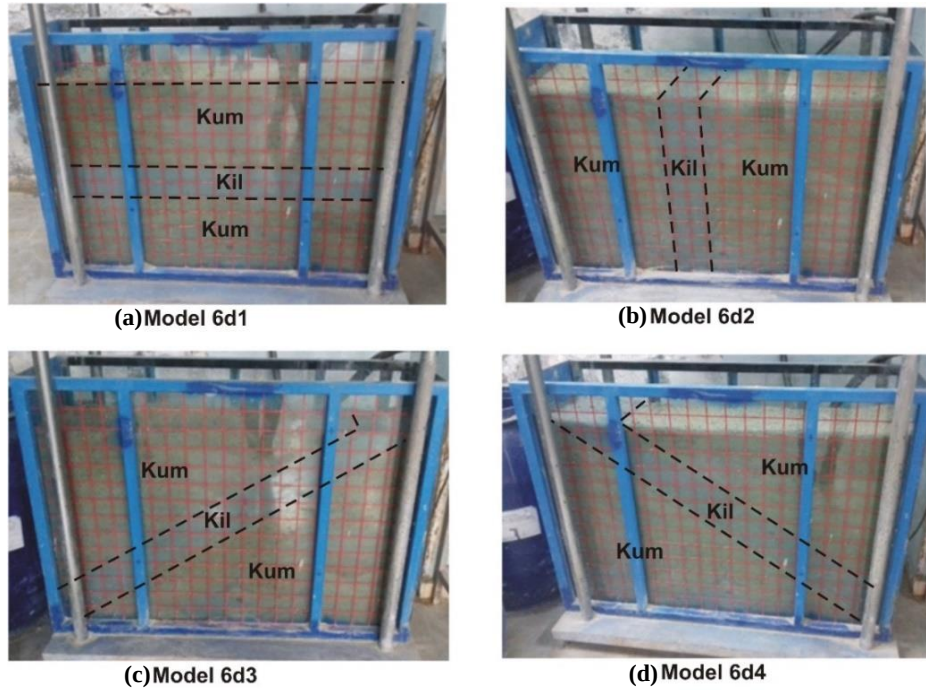
- Alt model 6d1: Deney kasasına yerleştirilen kumun ortasına zemine paralel olarak 10 cm kalınlığında yatay bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6d2: Deney kasasına yerleştirilen kum zemine dik olarak 10 cm kalınlığında düşey bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6d3: Yapay titreşim oluşturma noktasının deney kasasındaki karşı kenarından 45° açılı 10 cm kalınlığında çapraz bir kil tabakası yerleştirilmiştir.
- Alt model 6d4: Deney kasasına yapay titreşim oluşturma noktasından 45° açılı 10 cm kalınlığında çapraz bir kil tabakası yerleştirilmiştir.

Alt model 6d1, 6d2, 6d3 ve 6d4'ün şematik ve fotoğraf görüntüşleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Her alt modelde titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofon tarafından kaydedilen titreşim testleri kaydedilerek PC ortamına aktarılmıştır. Her alt model için Excel programında veriler değerlendirilerek Ort. PVT,

Ort. PVL, Ort. PVV, Ort. PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Kuru gevşek kumda kuru gevşek kilden tabakaların yönünün titreşim dalgaları üzerine etkisini incelemek için gerçekleştirilen titreşim deneylerin sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.17. Alt model 6d1 (a), Alt model 6d2 (b), Alt model 6d3 (c) ve Alt model 6d4 (d)’nin şematik görünüşleri



Şekil 4.18. Alt model 6d1 (a), Alt model 6d2 (b), Alt model 6d3 (c) ve Alt model 6d4’ün fotoğraf görünüşleri

Çizelge 4.10. Model 6'nın üçüncü alt model grubunda gerçekleştirilen titreşim testlerinin sonuçları

Alt model	Tabaka yönü	Tetikleme yönü	Titreşim Olay Sayısı	Ortalama Maks. Hız /Standart Sapma	Ort. PVT (mm/s)	Ort. PVV (mm/s)	Ort. PVL (mm/s)	Ort. PVS (mm/s)
6d1	Yatay	Boyuna	6	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.94	2.44	4.69	4.94
				Standart Sapma	0.04	0.04		0.26
		Düşey	2	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.68	4.87	5.21
				Standart Sapma	0.05	0.08	0.11	0.1
		Enine	7	Ort. Maks. Hız (mm/s)	1.99	2.37	4.58	4.79
				Standart Sapma	0.1	0.07	0.38	0.38
6d2	Düşey	Boyuna	5	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.28	2.15	4.38	4.49
				Standart Sapma	0.11	0.17	0.13	0.14
		Düşey	1	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.35	1.79	4.37	4.53
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	9	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.36	2.1	4.48	4.57
				Standart Sapma	0.12	0.1	0.29	0.25
6d3	Titreşim oluşturma noktasının deney kasasındaki karşı kenarından 45° açılı	Boyuna	4	Ort. Maks. Hız (mm/s)	3.51	3.39	4.37	5.28
				Standart Sapma	0.19	0.01	0.06	0.11
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	11	Ort. Maks. Hız (mm/s)	3.48	2.91	4.2	4.81
				Standart Sapma	0.17	0.3	0.2	0.29
6d4	Titreşim oluşturma noktasından 45° açılı	Boyuna	3	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2	2.51	3.4	3.73
				Standart Sapma	0.44	0.32	0.18	0.21
		Düşey	-	Ort. Maks. Hız (mm/s)	-	-	-	-
				Standart Sapma	-	-	-	-
		Enine	11	Ort. Maks. Hız (mm/s)	2.18	2.85	3.47	3.77
				Standart Sapma	0.19	0.31	0.08	0.12

4.2. Analiz ve Tartışma

4.2.1. Genel

Oluşturulan altı zemin model üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları bu çalışmanın dördüncü bölümünde sunulmuştur. Her model/alt model de titreşim yayılım karakteristiğini belirlemek amacıyla 15'er zemin titreşim testi yapılmıştır. Bu testler sonucunda elde edilen ölçümler tetikleme yönü de dikkate alınarak gruplandırılmıştır. Elde edilen veriler Excel programı kullanılarak tablolar haline getirilmiş, en düşük ve en yüksek değerler elenerek Ort. PVT, Ort. PVL, Ort. PVV, Ort. PVS ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Böylece her alt modelde tetikleme yönünün de etkisine bağlı olarak en az 1 en fazla 3 Ort. PVT değeri, Ort. PVV değeri, Ort. PVL değeri ve Ort. PVS değeri elde edilmiştir.

Analiz ve tartışma bölümünde farklı zeminlerin litolojisinin, suya doygunluğunun, sıkıştırma derecesinin, yer sarsıntısı kaynağının konumunun (yer üstünde veya yeraltında) ve kuru gevşek kilden kuru gevşek kumda yerleştirilmiş yapay tabakaların sayısı, kalınlığı, konumu ve yönünün, Ortalama Bileşke Vektörel Toplamı PVS (mm/s) üzerindeki etkileri yoğun olarak araştırılmıştır. Yapılan titreşim deneyleri sonucunda her model/alt model için en az 1 en fazla 3 tane Ort. PVS (mm/s) değeri elde edilmiştir. En tehlikeli olasılıkları göz önüne almak için analiz ve tartışma bölümünde elde edilen bu Ort. PVS değerleri arasında en yüksek olanlar değerlendirilip ilgili model için Maks. Ort. PVS değeri olarak adlandırılmıştır.

4.2.2. Zemin litolojisinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

4.2.2.1. Genel

Zemin litolojisinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 1 ve Model 2 üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları analiz edilmiştir. Model 1'de kuru gevşek kum, Model 2'de ise kuru gevşek kil kullanılmıştır. Bu iki zemin modelinde titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve 90 cm uzaklıklarda iki ölçüm noktası yerleştirilmesinin sebebi, litolojinin zemin davranışı üzerindeki etkisini, özellikle yer hareketinin soğurulma (*attenuation*) ve amplifikasyon (*amplification*) olaylarını incelemektir.

4.2.2.2. Kuru gevşek kumda zemin titreşim dalgalarının yayılması

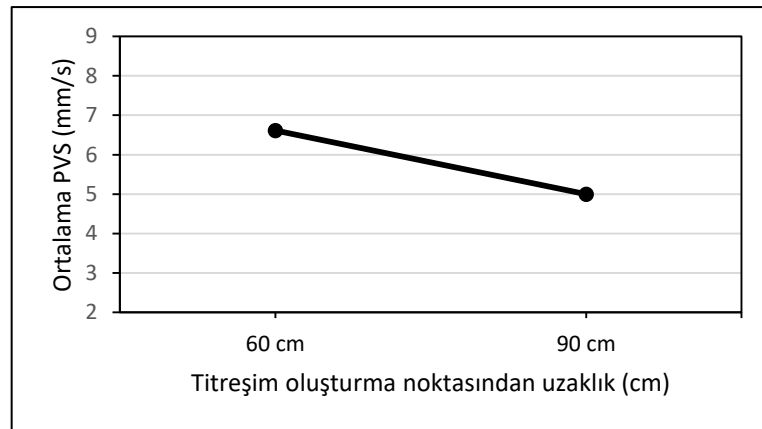
Model 1 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Kuru gevşek kumdaki yapay titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm uzaklıklarda elde edilen Maks. Ort. PVS değerinin değişimi Çizelge 4.11’de sunulmuştur. Şekil 4.20 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerindeki değişimi ifade etmektedir.



Şekil 4.19. Model 1 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Çizelge 4.11. Kuru gevşek kumda zemin titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm mesafelerde Maks. Ort. PVS değerinin değişimi

Zemin Modeli	Litoloji	60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Azalma (%)
1	Kuru gevşek Kum	6.61	5	24.36



Şekil 4.20. Kuru gevşek kumda mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin gelişimi

Elde edilen sonuçlara dayanarak, kuru gevşek kumda mesafe arttıkça Maks. Ort. PVS değerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu zemin modelinde titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 6.61 mm/s olarak kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri, 90 cm uzaklıkta 5 mm/s'ye düşmüştür. Böylece mesafeye bağlı değerler arasında % 24.36 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın sebebi kuru gevşek kumda oluşan sismik enerjinin soğurulmasıdır (*attenuation*). Zemin titreşim dalgalarının yayılmasının incelenmesinde soğurulma olayı önemli bir rol oynamaktadır.

Mükemmel elastik ortamlarda zemin titreşim neticesiyle oluşan yer hareketi süresiz olarak devam etmektedir. Ancak kayaçlar ve zeminler gibi somut malzemelerin çoğunda sismik sönümlenme gerçekleşmektedir. Böylece titreşim dalgaları yayıldıkça bir enerji kaybı oluşmaktadır. Bu sismik enerji kaybı, zemin titreşim kaynağından uzaklaştıkça sismik dalga hızının azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple soğurulma nedeniyle kuru gevşek kumda titreşim oluşturma noktasından 90 cm mesafede Maks. Ort. PVS seviyesinde bir azalma meydana gelmiştir. Sismik soğurulma üç ana mekanizma içermektedir:

- **Küresel saçılım /Geometrik yayılma (*Spherical divergence/Geometrical spreading*):** Zemin titreşim kaynağında ortaya çıkan sismik enerji küresel dalga cepheleri şeklinde ilerlemektedir. Dalgalar ilerledikçe cepheler genişler ve birim alan başına düşen sismik enerji azalır. Böylece kaynaktan uzaklaştıkça sismik enerji sönümlenmektedir.
- **Emilme (*Absorption, Anelastic /Intrinsic attenuation*):** Sismik dalgalar ilerlerken taşınan enerjinin bir kısmı ortamın titreşen tanecikleri arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı ısıya dönüşerek yitirilir (Aydın, 2006). Böylece bir enerji kaybı meydana gelir ve dalga genliği azalır. İyi çimentolanmış formasyonlara nazaran, emilme gevşek sıkışmamış ortamlarda daha fazla enerji kaybına neden olmaktadır (Aydın, 2006).
- **Saçılma (*Scattering*):** Sismik enerjinin saçılması ortamın heterojenitesinden kaynaklanmaktadır. Saçılma enerji kaybına neden olmayıp sadece sismik enerjinin yeniden dağıtılmasına sebep olur. Sismik enerjinin yeniden dağıtılması arayüzeylerde kırılma, yansıma ve dönüşüm gibi olaylardan kaynaklanır. Ayrıca, sismik dalgalar bir engelle karşılaştığında meydana gelebilecek defleksiyonlar saçılmalara neden olmaktadır.

4.2.2.3. Kuru gevşek kilde zemin titreşim dalgalarının yayılması

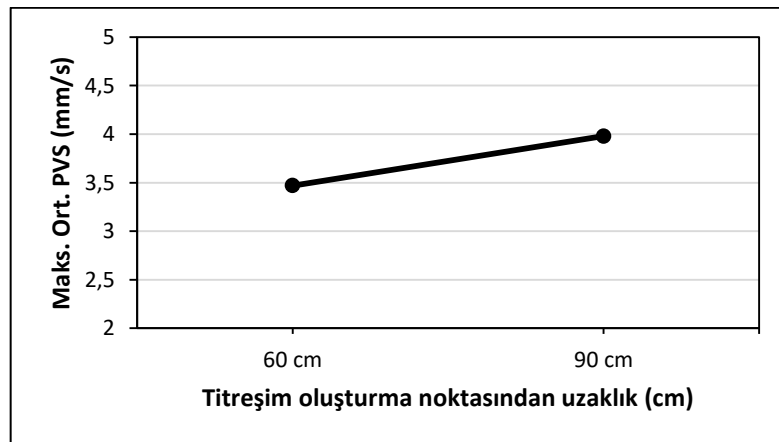
Model 2 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Kuru gevşek kildeki yapay titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm mesafelerde kaydedilen Maks. Ort. PVS değerinin değişimi ve oluşturulan zemin titreşim olaylarının frekans aralığı Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Şekil 4.22 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin değişimini vurgulamaktadır.



Şekil 4.21. Model 2 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneyleri

Çizelge 4.12. Kuru gevşek kilde zemin titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm mesafelerde Maks. Ort. PVS değerinin değişimi ve oluşturulan zemin titreşim olaylarının frekans aralığı

Zemin Modeli	Litoloji	60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Artış (%)	Frekans aralığı (Hz)
2	Kuru gevşek kil	3.47	3.98	14.7	18.5- 50.5



Şekil 4.22. Kuru gevşek kilde mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin gelişimi

Yapılan titreşim deneylerinin sonucunda kuru gevşek kumun aksine, kuru gevşek kilde mesafe arttıkça Maks. Ort. PVS değerinde bir artış gözlenmiştir. Kuru gevşek kilde titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 3.47 mm/s olarak kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri, 90 cm uzaklıkta 3.98 mm/s'ye çıkmıştır. Böylece % 14.7 oranında bir artış oluşmuştur. Bu sonuçlara dayanarak kil zeminlerde gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinde veya depremlerde oluşan sismik dalgaların yayılmasında bir amplifikasyon etkisinin gerçekleştiği düşünülmektedir.

Literatürde yer alan kil tabakalarında sismik yer hareketi amplifikasyon ile karakterize edilir ve oluşan titreşimin genliğini, frekansını ve süresini etkiler (Garala & Madabhushi, 2019; Seidalinov & Taiebat, 2015) ifadeleri bu durumu destekler niteliktedir. Killerde oluşabilecek amplifikasyon etkisi yıkıcı etkilere yol açabilir. Bu yıkıcı etki, 19 Eylül 2017'de Meksika merkezinde meydana gelen 7.1 büyüklüğündeki deprem sırasında gözlenmiştir. Bu depremde hasarın büyük bir kısmı kilin olduğu bölgede meydana gelmiştir. Böylece yerel bir kil amplifikasyonu tespit edilmiştir (Yniesta, 2019). Diğer bir örnek, Tayland'daki Bangkok şehrinin herhangi bir aktif faydan uzak olmasına rağmen, yüksek sismik riskidir. Bu yüksek sismik risk, şehrin yer hareketini arttıran yumuşak killer üzerine kurulu olmasından kaynaklanmıştır (Ashford, Akrapiyanun, & Lukkunaprasit, 2000). Killerde oluşabilecek zemin titreşim amplifikasyonu iki ana nedenden dolayı açıklanabilir. Bunlar:

- Killerin plastisite özelliği
- Killerin geniş aralıklı lineer (doğrusal) elastik davranışı

Bir malzemenin, etkisi altında bulunduğu gerilmelerden dolayı kırılmadan ve hacimsel değişikliğe uğramadan kalıcı deformasyona uğraması plastisite olarak adlandırılmaktadır. Plastisite yalnızca killi zeminlerde görülmektedir (Ersoy, t.y.). Plastisite özelliği olmayan kumun parçacıkları birbirine bağlı değildir. Böylece kum zeminlerde parçacıklar arasında temas ve sürtünme söz konusudur (Towhata, 2008). Kum zeminlerin aksine kil zeminler yüksek plastisite indeksine sahiptir. Kil parçacıkları arasında yüksek kohezyon kuvvetleri mevcuttur. Dolayısıyla kil parçacıkları arasında güçlü bir bağlantı ve böylece düşük iç sürtünme açısı bulunmaktadır.

Killer düşük plastisiteli, orta plastisiteli ve yüksek plastisiteli olarak 3 ana gruba ayrılır (Vucetic, 1992). Daha yüksek plastisite indeksine sahip zeminlerin sürtünme açıları daha düşüktür (Fang, 1997). Kil malzemelerinin plastisite özelliği nedeniyle, parçacıklar arasındaki oluşan sürtünme sınırlıdır. Böylece zemin titreşim dalgaları ortamda yayılırken daha az enerji ısıya dönüşür ve dolayısıyla daha az enerji kaybı

meydana gelir. Killerin plastisitesi bu malzemelerin düşük soğurulma etkisine maruz kaldığını açıklar çünkü sönümlenmenin büyüklüğünü yöneten ana özellik zeminin plastisite endeksidir (Lanzo & Vucetic, 1999). Daha yüksek plastisite indeksine sahip zeminler daha düşük sönümlenme katsayıları gösterir. Çizelge 4.13 Vucetic (1992) tarafından zemin özelliklerinin sismik davranış üzerindeki etkisini gösteren bir çalışmanın sonucudur.

Çizelge 4.13. Zemin türünün sismik davranış üzerindeki etkisi (Vucetic, 1992)

Zemin Türleri			
Plastik olmayan PI* = 0	Düşük plastisiteli PI = düşük	Orta plastisiteli PI = orta	Yüksek plastisiteli PI = Yüksek
Kumlar ve plastik olmayan siltler	Siltli killer, killi siltler, düşük plastisiteli killer	Orta plastisiteli killer	Yüksek plastisiteli killer
Zemin davranışı üzerindeki etkisi			
Yer hareketinin amplifikasyonu			
Önemsiz veya yok (sönümlenme mümkün)	Küçük, önemsiz veya yok (sönümlenme mümkün)	Orta	Yüksek

PI*: Plastisite indeksi

Bunun haricinde, killer nispeten geniş aralıklı lineer (doğrusal) elastik davranışları ile karakterize edilir. Bu özellik düşük soğurulma etkisi (plastisite nedeniyle) ile birleştiğinde rezonansın ön koşullarını oluşturur. Böylece, sismik dalgalar kil zeminlerde yayıldığında rezonans meydana gelebilmektedir (Vucetic, 1992). Bu rezonans, deneysel çalışmamızda Model 2’de elde edilen titreşim oluşturma noktasından 90 cm mesafede Maks. Ort. PVS seviyesinin artışına sebep olduğunu düşünülmektedir. Bu konuda daha net sonuçlar elde etmek için kuru gevşek kilde yapılan titreşim testlerinin daha büyük ölçekli modellerde gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

4.2.3. Kuru kumun sıkıştırma derecesinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

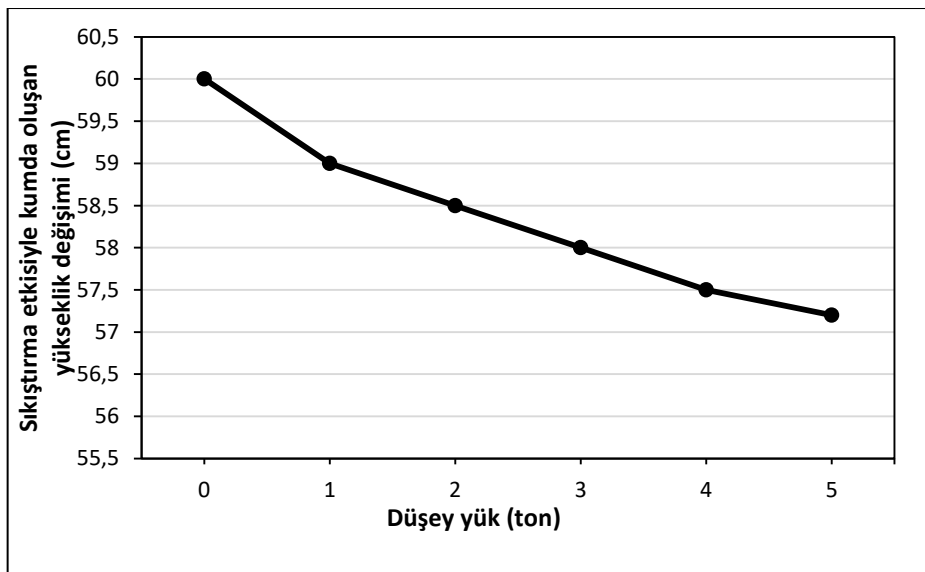
Kuru kumun sıkıştırılma derecesinin yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 3 üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Model 3’te sırasıyla 1 ton (alt model 3a), 2 ton (alt model 3b), 3 ton (alt model 3c), 4 ton (alt model 3d) ve 5 ton (alt model 3e) düşey yük seviyeleri uygulanmıştır. Böylece bu 5 alt zemin modelinde sıkıştırmanın zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sıkıştırmanın, sismik

dalgaların yayılması üzerindeki etkisini belirlemek için Model 1 (kuru gevşek kum) ve Model 3 (sıkıştırılmış kum) arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Gevşek ve sıkıştırılmış kum üzerinde titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.14’te sunulmuştur. Şekil 4.23’te gevşek ve sıkıştırılmış kum için 60 cm uzaklıkta uygulanan düşey yükün bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerlerinin değişim grafiği sunulmaktadır.

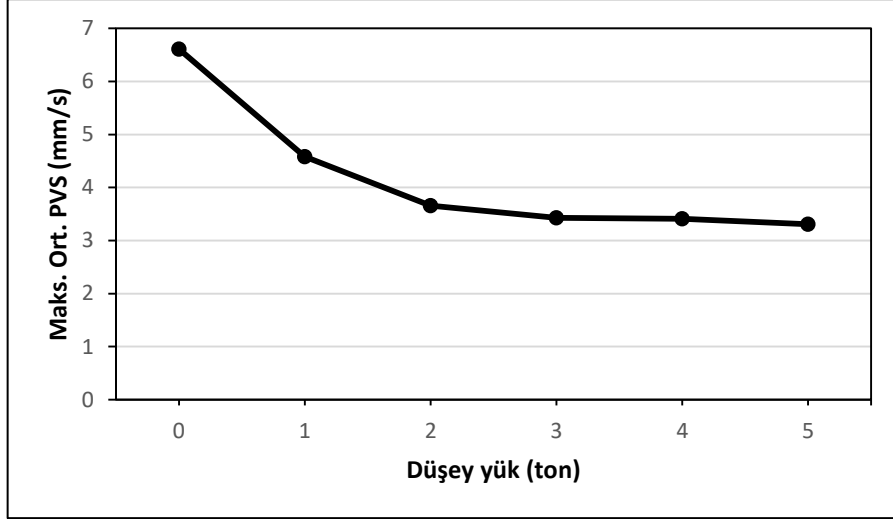
Düşey yük uygulamaları başlamadan önce deney kasasındaki kuru gevşek kumun yükseklik seviyesi 60 cm olarak tespit edilmiştir. Her alt modelde düşey yükleme tamamlandıktan sonra sıkıştırılmış kum yüksekliğinin değişimleri ve jeofon konumunun titreşim oluşturma noktasından uzaklığı (60 cm) kontrol edilip oluşan yükseklik değişimleri Çizelge 4.4’te rapor edilmiştir. Bu yükseklik değişimleri Şekil 4.24’de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Sıkıştırılmış kuru gevşek kumdaki Maks. Ort. PVS değerinin değişimi

Zemin Modeli/alt modeli	Litoloji	Uygulanan Düşey yük (ton)	60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Azalma (%)
1	Kuru gevşek kum	0	6.61	-
3a	Sıkıştırılmış kuru kum	1	4.58	30.71
3b		2	3.66	44.62
3c		3	3.43	48.11
3d		4	3.41	48.41
3e		5	3.31	49.92



Şekil 4.23. Deney kasasındaki sıkıştırma etkisiyle titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta oluşan kumun yükseklik değişimleri



Şekil 4.24. Titreşim kaynağından 60 cm uzaklıkta uygulanan düşey yükün bir fonksiyonu olarak elde edilen Maks. Ort. PVS değerinin gelişimini

Şekil 4.23'te gösterildiği gibi uygulanan düşey yük arttıkça deney kasasındaki kum yüksekliğinde bir azalma meydana gelmektedir. Tanktaki kuru gevşek kumun yüksekliği 60 cm olarak tespit edilmiştir (Model 1). Ardından uygulanan düşey yükleme arttıkça bu yükseklik azalmıştır. Bir ila beş ton arasındaki düşey yüklemeden sonra tanktaki kumun yüksekliği sırasıyla 59 cm, 58.5 cm, 58 cm, 57.5 cm ve 57.2 cm olarak ölçülmüştür. Kum yüksekliğindeki azalma, uygulanan yük arttıkça tanktaki kum hacminin sıkışma ile birlikte kademeli olarak azalması ile açıklanmaktadır.

Düşey yükleme uygulanmadan önce kuru gevşek kumda (model 1) Maks. Ort. PVS seviyesi 6.61 mm/s olarak kaydedilmiştir. Düşey yükleme uygulandıkça yani kum tanelerinin sıkışmasıyla birlikte bu değer azalmıştır. Bir tonluk düşey yüklemeden sonra Maks. Ort. PVS seviyesi 4.58 mm/s'ye düşmüş ve böylece ilk değere göre % 30.71 oranında bir azalma meydana gelmiştir. İki tonluk düşey yüklemeden sonra Maks. Ort. PVS seviyesi 3.66 mm/s olarak kaydedilmiş yani % 44.62 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Uygulanan yük 3 ton'a ulaştığında Maks. Ort. PVS seviyesi 3.43 mm/s'ye ulaşmıştır böylece % 48.11 oranında bir azalma olmuştur. Dört tonluk düşey yüklemeden sonra Maks. Ort. PVS seviyesi 3.41 mm/s olarak kaydedilmiş, böylece % 48.41 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Yük arttıkça azalma devam etmiş ve 5 tonluk düşey yüklemede Maks. Ort. PVS seviyesi 3.31 mm/s olarak kaydedilmiştir. Böylece gevşek kuma kıyasla % 49.92 oranında bir azalma oluşmuştur.

Model 3'te gerçekleştirilen titreşim deneylerinin sonuçları incelendiğinde, sıkışmanın kum zeminde titreşim dalgalarının yayılımı üzerindeki önemi anlaşılmaktadır.

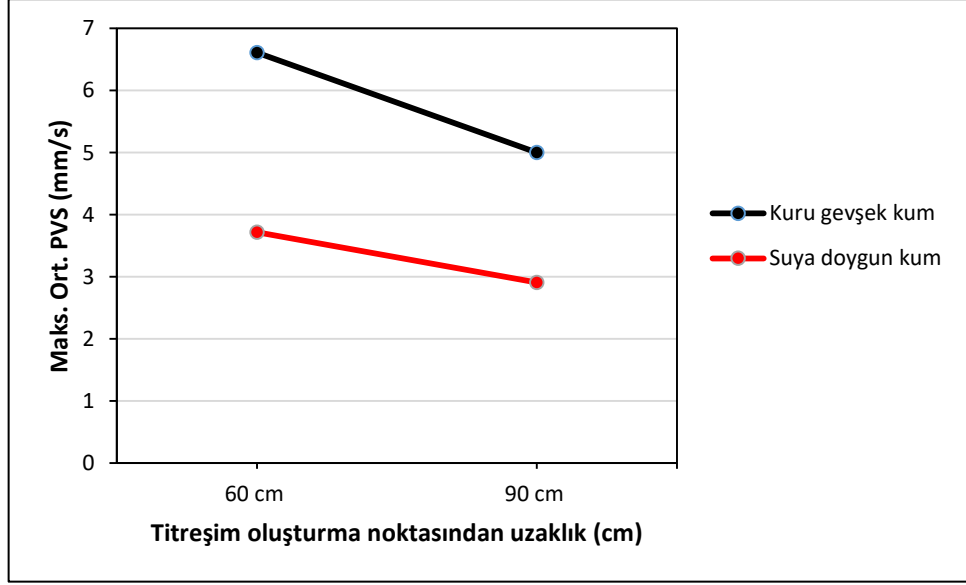
Bu testlerin sonuçlarına dayanarak, kumun sıkışma derecesinin Maks. Ort. PVS seviyesini etkilediği sonucuna varabilmektedir. Uygulanan düşey yük arttıkça elde edilen PVS seviyesi azalmaktadır. Kum taneleri arasındaki boşluk nedeniyle kuru gevşek kumda elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesi sıkıştırılmış kumdan daha yüksektir. Bu serbest boşluklar ortamın parçacıklarına geniş hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Dolayısıyla sıkıştırılmış kum zeminle karşılaştırıldığında gevşek kumda elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesinin daha yüksek olduğu açıklanmaktadır. Düşey yükleme uygulanarak kumun sıkıştırılması, kumun yoğunlaşması ve taneler arasındaki boşlukların azalması ile gerçekleşmektedir. Böylece kum parçacıklarının hareket kabiliyeti sıkıştırma işlemi ile daraltılarak nispeten azalmıştır. Bu sebeple Model 3'te parçacık hızlarının azaldığı gözlenmektedir. Uygulanan düşey yük arttıkça kum tanelerinin hareket kabiliyeti azalır. Bu sebeple yük arttıkça Maks. Ort. PVS seviyelerinde kademeli bir azalma görülmüştür.

4.2.4. Gevşek kum zeminin suya doygunluğunun yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Suya doygunluğun gevşek kum zeminde sismik dalgaların yayılması üzerindeki etkisini belirlemek için Model 1 (kuru gevşek kum zemin) ve Model 4 (suya doygun kum zemin) arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kuru ve suya doygun gevşek kum zemindeki yapay titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm mesafelerde elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.15'te sunulmuştur. Şekil 4.25 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimini vurgulamaktadır.

Çizelge 4.15. Kuru ve suya doygun kumdaki Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Zemin Modeli	Litoloji	60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)
1	Kuru gevşek kum	6.61	5
4	Suya doygun kum	3.72	2.91
Azalma (%)		43.72	41.8



Şekil 4.25. Kuru ve suya doymun gevşek kumdaki yapay titreşim oluşturma noktasından 60 ve 90 cm mesafelerde elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Hem kuru gevşek kum zemin modelinde hem de suya doymun gevşek kum zemin modelinde yapay titreşim oluşturma noktasından uzaklık arttıkça Maks. Ort. PVS seviyeleri azalmaktadır. Model 1’de titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 6.61 mm/s olarak kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri, 90 cm uzaklıkta 5 mm/s’ye düşmüştür. Böylece kaynak ile ölçüm noktası arasındaki mesafeye bağlı olarak % 24.36 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Model 4’te titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 3.72 mm/s olarak kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri, 90 cm uzaklıkta 2.91 mm/s’ye düşmüştür yani % 21.77 oranında bir azalma olmuştur. Kuru gevşek kum zeminde zemin titreşimin yayılım mekanizması incelendiğinde mesafe arttıkça sismik enerjinin bir soğurulma etkisine maruz kaldığı gözlenmiştir. Model 1’e benzer şekilde suya doymun kum zeminde de aynı olayın gerçekleşmesi düşünülmektedir.

Kuru gevşek kum zemin için titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri 6.61 mm/s olarak kaydedilmiştir. Suya doymun kum zemin ise için aynı ölçme noktasında bu değer 3.72 mm/s’ye düşmüştür. Böylece % 43.72 oranında bir azalma olmuştur. Kuru gevşek kum zemin için titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri 5 mm/s olarak kaydedilmiştir. Suya doymun kum zemin için ise aynı ölçme noktasında bu değer 2.91 mm/s’ye düşmüştür. Böylece % 41.8 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlara dayanarak suyun eklenmesinin kumun parçacık hızını azalttığı ve daha düşük PVS seviyelerine yol açtığı sonucuna varabilmektedir.

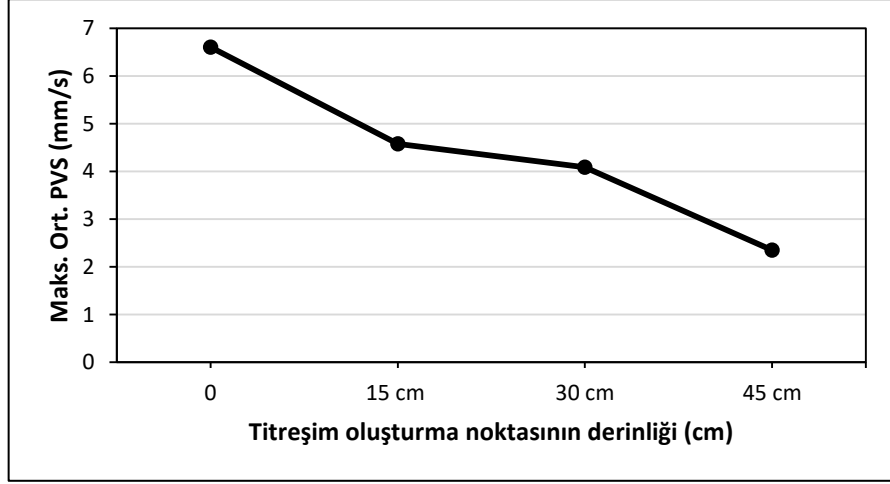
Daha önce açıklanmış olduğu gibi Model 1’de kum taneleri arasındaki boşluk nedeniyle ortamın parçacıkları geniş bir hareket kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle, suya doygun kumla karşılaştırıldığında gevşek kumda elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesi daha yüksektir. Model 4’te suyun ilave edilmesi, kum taneciklerinin arasındaki boşlukların doldurulmasını sağlamıştır. Dolayısıyla kum parçacıklarının hareket kabiliyeti azalmıştır. Bu sebeple Model 4’te parçacık hızlarının azaldığı gözlenmektedir ve daha düşük Maks. Ort. PVS değerleri elde edilmiştir.

4.2.5. Yapay zemin titreşim kaynağının konumunun (yer üstünde veya yeraltında) yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Yapay zemin titreşim kaynağının konumunun (yer üstünde veya yer altında) yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 1 ve Model 5 üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu modellerin ikisi de kuru gevşek kum zemin kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model 1’de yerüstünden kaynaklanan titreşim dalgaları modellenirken, Model 5’te kum içine belli derinliklerde 5 cm çapında sırasıyla 15 cm, 30 cm ve 45 cm uzunluğunda bir PVC boru yerleştirilerek yer altından kaynaklanan titreşim dalgaları modellenmiştir. Ardından titreşim dalgaları oluşturmak için kullanılan bilye bırakma düzeneği tam PVC borunun üstüne gelecek şekilde yerleştirilmiş ve belirlenen derinliklerde darbe oluşumu sağlanmıştır. Model 5’te yeraltı titreşim kaynağı sırasıyla 15 cm (model 5a), 30 cm (model 5b) ve 45 cm (model 5c) derinliklerde modellenmiştir. Yer üstünden ve farklı derinliklerden yapay titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.16’da sunulmuştur. Şekil 4.26 titreşim kaynağı derinliğinin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimini göstermektedir.

Çizelge 4.16. Yer üstünden ve yer altından kaynaklanan Ort. PVS değerlerinin değişimi

Zemin Modeli/alt modeli	Litoloji	Titreşim kaynağının derinliği (cm)	60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Azalma (%)
1	Kuru gevşek kum	0	6.61	-
5a		15 cm	4.58	30.71
5b		30 cm	4.09	38.12
5c		45 cm	2.35	64.45



Şekil 4.26. Kuru gevşek kumda yer üstünden ve yer altından titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Şekil 4.24'te de gösterildiği gibi, en yüksek Maks. Ort. PVS seviyesi titreşim kaynağı yüzeysel olduğunda tespit edilmiştir (6.61 mm/s). Titreşim kaynağının derinliği arttıkça Maks. Ort. PVS seviyesi azalmıştır. 15 cm'lik yapay zemin titreşim derinliğinde Maks. Ort. PVS seviyesi 4.58 mm/s olarak kaydedilmiştir. Böylece % 30.71 oranında bir azalma meydana gelmiştir. 30 cm ve 45 cm derinliklerde Maks. Ort. PVS seviyesi sırasıyla 4.09 mm/s ve 2.35 mm/s olarak kaydedilmiştir. Böylece bu derinliklerde sırasıyla % 38.12 ve % 64.45 oranlarında azalma olmuştur.

Model 1 ve Model 5'ten elde edilen titreşim testlerinin sonuçlarına dayanarak, titreşim kaynağının konumunun titreşim dalgalarının yayılma mekanizmalarında önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Titreşim kaynağının derinliği arttıkça elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesi azalmaktadır.

Zemin titreşim dalgaları yerüstünden oluşturulduğunda (Model 1'de) açığa çıkan sismik dalgalar yüzey dalgalarıdır. Ancak yeraltından kaynaklanan zemin titreşimleri oluşturulduğunda (Model 5'te) açığa çıkan sismik dalgalar cisim dalgalarıdır. Mesafe arttıkça, yüzey dalgaları cisim dalgalarına nazaran daha az sönümlenir. Bu nedenle en yüksek Maks. Ort. PVS değeri, titreşim kaynağı yer üstünde olduğunda kaydedilmiştir. Model 5'te titreşim kaynağının derinliği arttıkça titreşim oluşturma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe artar ve aynı ölçüm noktasına ulaşmak için açığa çıkan cisim dalgaları daha uzun bir mesafe kat etmektedir. Böylece bu cisim dalgaları daha fazla soğurulma etkisine maruz kalır. Bu sebeple titreşim kaynağının derinliği arttıkça titreşim oluşturma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe artarak elde edilen Maks. Ort. PVS değeri azalmaktadır.

4.2.6. Kuru gevşek kum içerisine yerleştirilen kil tabakalarının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

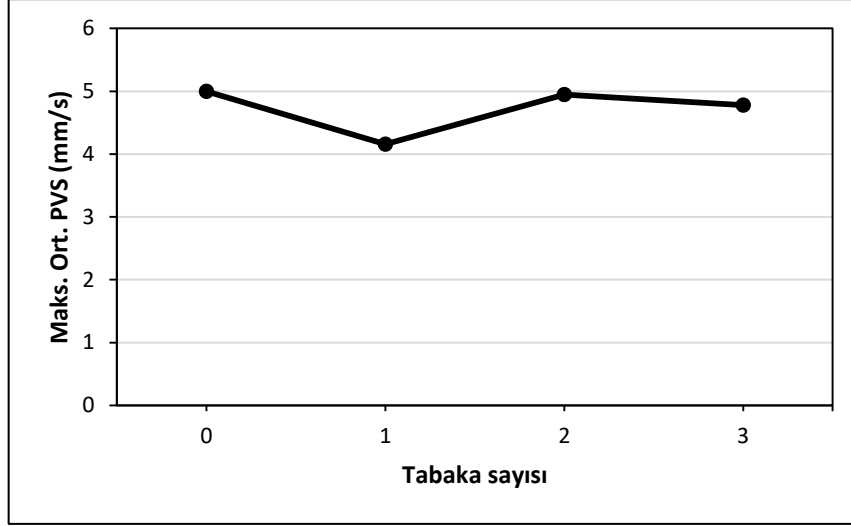
Kuru gevşek kum zemine yerleştirilen kuru gevşek kil tabakaların sayısının, konumunun, kalınlığının ve yönünün yapay titreşim dalgalarının yayılması üzerindeki etkisini incelemek için Model 6 değerlendirilmiştir. Model 6 on alt model içermektedir. Bu alt modeller 4 alt model gruba ayrılmıştır. Birinci alt model grubu tabaka sayısının zemin titreşimlerinin yayılması üzerindeki etkisini, ikinci alt model grubu tabaka kalınlığının yer sarsıntısı üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Üçüncü alt model grubu tabaka konumunun zemin titreşimlerinin yayılması üzerindeki etkisini, dördüncü alt model grubu ise tabakaların yönünün titreşim üzerindeki etkilerini irdelemektedir.

4.2.6.1. Kuru gevşek kum içerisine yerleştirilen kil tabakalarının sayısının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Gevşek kuru kum içerisinde kilden yerleştirilen tabakalarının sayısının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 6'nın birinci alt zemin grubu üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu alt model grubu alt model 6a1, alt model 6a2 ve alt model 6a3 olmak üzere 3 alt modelden ibarettir. Bu alt modeller 10 cm kalınlığında sırasıyla 1 adet (model 6a1), 2 adet (model 6a2) ve 3 adet (model 6a3) kil tabakası içermektedir. Tabaka içermeyen kuru gevşek kumdan oluşan Model 1'in sonuçları da bu analizde kullanılmıştır. Bahsedilen modellerde yapay titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta kaydedilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.17'de sunulmuştur. Şekil 4.27 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin değişimini göstermektedir.

Çizelge 4.17. Kil tabakaların sayısına göre Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Zemin Modeli/alt modeli	Litoloji	Tabaka sayısı	90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Azalma (%)
1	Kuru gevşek kum	0	5	-
6a1	Farklı sayıda kil tabakaları içeren kuru gevşek kum	1	4.16	16.8
6a2		2	4.95	1
6a3		3	4.78	4.4



Şekil 4.27. Kil tabakaların sayısına göre titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta Ort. PVS değerlerinin değişimi

Kil tabakası içermeyen kuru gevşek kum (Model 1) bir adet kil tabakası içeren alt model 6a1 ile karşılaştırıldığında Maks. Ort. PVS değeri 5 mm/s'den 4.16 mm/s'ye düştüğü gözlenmektedir. Böylece %16.8 oranında bir azalma olmuştur. İkinci kil tabakası eklendiğinde (alt model 6a2), elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesi 4.95 mm/s'ye yükselmiş ve kil tabakası içermeyen Model 1'e kıyasla sadece % 1 oranında bir düşüş göstermiştir. Üç kil tabakası içeren alt model 6a3, 4.78 mm/s'lik bir PVS seviyesini gösterdiğinden, ilk modele kıyasla bu alt modelde de % 4 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.

Birinci alt model grubu üzerinde yapılan titreşim testleri sonuçları, kuru gevşek kumda kil tabakalarının yerleştirilmesi ile Maks. Ort. PVS seviyesinin düşmesine neden olduğunu göstermiştir. Kum içinde kil tabakaların kullanılması sismik enerjinin azalmasına neden olmuştur.

Bu gözlemi destekleyen en belirgin model tankın en alt kısmında bir kil tabakası içeren alt model 6a1'dir. Tabaka sayısı 2'ye yükseldiğinde (alt model 6a2) Maks. Ort. PVS seviyesi 4.95 mm/s'e yükselmiştir. Üç kil tabakası içeren alt model 6a3'te ise Maks. Ort. PVS seviyesi 4.78 mm/s'ye ulaşarak alt model 6a2'ye nazaran tekrar hafif bir düşüş göstermiştir. Alt model 6a1'e kıyasla alt model 6a2'de ve alt model 6a3'te gözlemlenen artışlara rağmen bu değerler Model 1'de elde edilen Maks. Ort. PVS değerinin altında kalmıştır.

Tabaka sayısının artırılması, kil tabakalarının arayüzeyleri boyunca daha fazla yansıma ve kırılma olaylarının oluşmasına yol açmaktadır. Böylece bu sismik olaylar

oluşan zemin titreşim sinyalinin karmaşıklığına sebep olup alt model 6a2 ve alt model 6a3'te elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

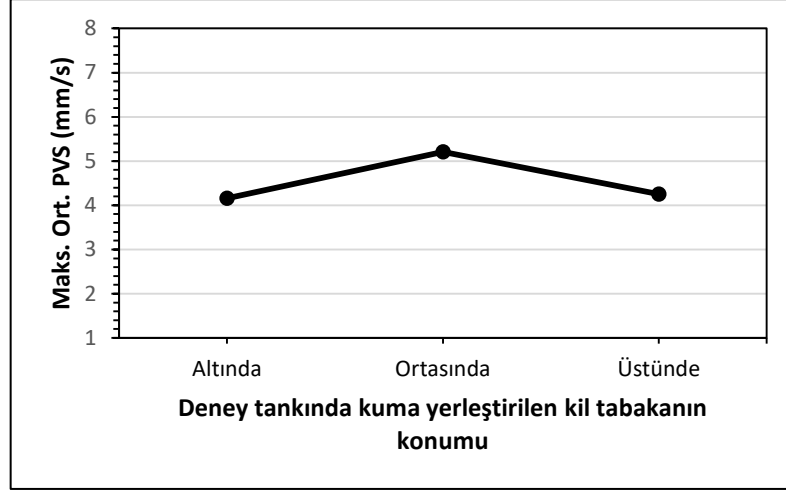
Bu gözlemler kuru gevşek kuma kil tabakalarının eklenmesinin PVS değerlerinde bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Ancak tabaka sayısı arttıkça arayüzeylerde artan kırılma ve yansıma olayları nedeniyle elde edilen PVS seviyelerinin değişkenliği daha detaylı bir inceleme ve araştırma gerektirmektedir.

4.2.6.2. Kuru gevşek kum içerisinde yerleştirilen kil tabakalarının konumunun yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Gevşek kuru kum içerisine kilden yerleştirilen tabakaların konumunun yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 6'nın ikinci alt zemin grubu üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu alt model grubu; model 6b1, model 6b2 ve model 6b3 olmak üzere 3 alt modelden ibarettir. Bu alt modeller 10 cm kalınlığında deney kasasındaki kumun sırasıyla üstüne (model 6b1), ortasına (model 6b2) ve altına (model 6b3) yerleştirilen kil tabakalarını içermektedir. Titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.18'de sunulmuştur. Şekil 4.28 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin değişimini göstermektedir.

Çizelge 4.18. Kil tabakasının konumuna göre Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Zemin Modeli/alt modeli	Litoloji	Tabaka konumu	90 cm uzaklıkta Ort. PVS değeri (mm/s)	Artış/Azalma (%)
1	Kuru gevşek kum	-	5	-
6b1	Farklı konumlarda kil tabakaları içeren kuru gevşek kum	Alt	4.16	-16.8
6b2		Orta	5.21	+4.2
6b3		Üst	4.25	-15



Şekil 4.28. Kil tabakaların konumuna göre titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta Ort. PVS değerlerinin değişimi

Alt model 6b2 hariç, alt model 6b1 ve 6b3'te kaydedilen Maks. Ort. PVS seviyesi Model 1'e kıyasla bir düşüş göstermektedir. Kil tabakası deney tankının altına yerleştirildiğinde elde edilen Maks. Ort. PVS değeri 4.16 mm/s olarak kaydedilmiştir yani %16,8 oranında bir düşüş olmuştur. Bu kil tabakası sismik enerjinin sönümlenmesine sebep olmuştur. Bu nedenle alt model 6b1'de parçacık hızında bir azalma olmuştur. Alt model 6b2'de ise kil tabakası deney kasasının ortasına yerleştirildiğinde oluşan Maks. Ort. PVS değeri 5.21 mm/s olarak ölçülmüş ve böylece Model 1'e kıyasla % 4.2 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Bu küçük artışın nedeni şu şekilde açıklanabilmektedir: Kil tabakası deney kasasının ortasında 2 farklı yansıma ve kırılma ara yüzeyi oluşmuştur. Bu sismik olaylar sismik enerjinin karmaşıklığına neden olup parçacık hızında bir artışa neden olmuştur. Alt model 6b3'te kil tabakası kumların üstüne yerleştirildiğinde elde edilen Maks. Ort. Parçacık hızı 4.25 mm/s'ye ulaşarak Model 1'e kıyasla %15 oranında bir düşüş sergilemiştir. Bu parçacık hızında oluşan düşüşün nedeni, kuru gevşek kumda kil tabakasının deney tankının en üst kısmına yerleştirildiğinde tankta yayılan sismik enerjinin nisbi sönümlenmesidir.

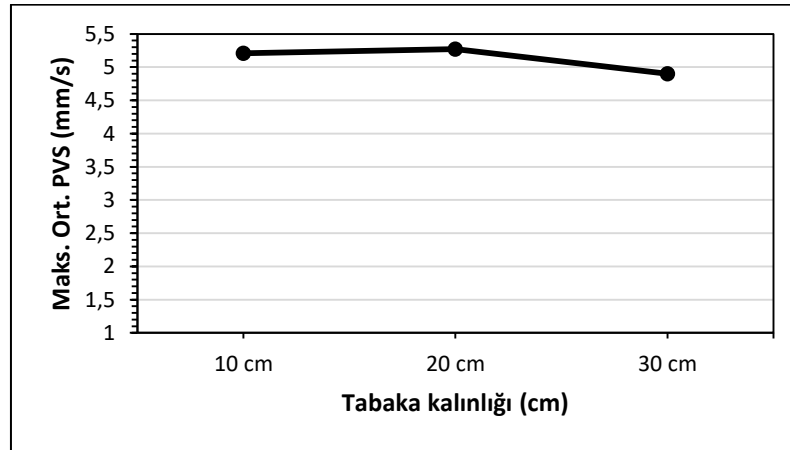
Bu alt model grubundan elde edilen deneylerin sonuçları incelendiği zaman kumun ortasında kil tabakasının bulunması sismik amplifikasyona ve yüksek PVS seviyelerine yol açmaktadır. Kilin emici etkisini optimize etmek için, tabaka kum tabakasının altında veya tam üstünde olması sonucuna varılmıştır.

4.2.6.3. Kuru gevşek kum içerisine yerleştirilen kil tabakalarının kalınlığının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Gevşek kuru kum içerisine kilden yerleştirilen tabakaların kalınlığının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 6'nın üçüncü alt zemin grubu üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu alt model grubu alt model 6c1, alt model 6c2 ve alt model 6c3 olmak üzere 3 alt modelden ibarettir. Bu alt modeller deney kasasındaki kumun ortasına yerleştirilen sırasıyla 10 cm (model 6c1), 20 cm (model 6c2) ve 30 cm kalınlığında (model 6c3) kil tabakaları içermektedir. Titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta kaydedilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi Çizelge 4.19'da gösterilmiştir. Şekil 4.29 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin değişimi sunulmaktadır.

Çizelge 4.19. Kil tabakaların kalınlığına göre Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Alt model	Litoloji	Tabaka kalınlığı	90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değeri (mm/s)	Artış/Azalma (%)
6c1	Farklı kalınlıklarda kil tabakaları içeren kuru gevşek kum	10	5.21	-
6c2		20	5.27	+ 1.15
6c3		30	4.9	- 5.95



Şekil 4.29. Kil tabakaların kalınlığına göre titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Elde edilen sonuçların analizi, farklı kalınlıklarda kil tabakaları içeren alt modeller 6c1, 6c2 ve 6c3'te çok yakın ve neredeyse eşit Maks. Ort. PVS seviyeleri göstermektedir. 10 cm, 20 cm ve 30 cm kalınlıklarda kil tabakaları içeren bu alt modellerde titreşim

oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değerleri sırasıyla 5.21 mm/s, 5.27 mm/s ve 4.9 mm/s olarak kaydedilmiştir. Model 6c1 ile kıyasla kil tabakanın kalınlığının 10 cm'den 20 cm'ye arttırılması, Maks. Ort. PVS seviyesinde sadece % 1.15 oranında oldukça küçük bir artışa neden olmuştur. Bu kalınlık 30 cm'ye çıktığında Maks. Ort. PVS seviyesinde % 5.95 oranında yine küçük bir düşüşe sebep olmuştur.

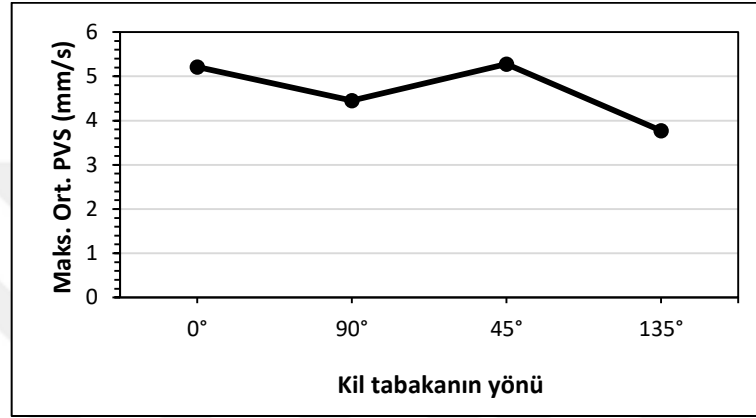
Analiz edilen 3 alt modelin Maks. Ort. PVS seviyelerinde belirgin bir fark olmaması iki muhtemel sebepten kaynaklanabilir. Birincisi kuru gevsek kumda farklı kalınlıklarda yerleştirilen kil tabakaların kalınlığının kaydedilen Maks. Ort. PVS seviyesi üzerinde herhangi bir etkisi olmaması, ikincisi ise kil tabakaların küçük ölçekli modellenmesinde tabakaların kalınlıklarında 10 ila 20 cm arasındaki küçük farklar nedeniyle analiz için net sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamamasıdır. Böylece, kuru gevsek kumdaki kil tabakaların kalınlığının zemin titreşim dalgalarının yayılma mekanizmaları üzerindeki etkisi konusunda kesin sonuçlara ulaşmak için, tabakaların kalınlıkları arasında daha yüksek farklılıklara sahip, daha büyük ölçekli modellerde daha detaylı araştırma yapılması önerilmektedir.

4.2.6.4. Kuru gevsek kum içerisine yerleştirilen kil tabakaların yönünün yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi

Gevsek kuru kum içerisinde kilden yerleştirilen tabakaların yönünün yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisini analiz etmek için Model 6'nın dördüncü alt zemin grubu üzerinde yapılan titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu alt model grubu; alt model 6d1, alt model 6d2, alt model 6d3 ve alt model 6d4 olmak üzere 4 alt modelden ibarettir. Bu alt modeller deney tankına yerleştirilen kuma, 10 cm kalınlığında sırasıyla paralel olarak yatay (model 6d1), dik olarak düşey (model 6d2), titreşim oluşturma noktasından 45° açılı çapraz (model 6d3) ve yapay titreşim oluşturma noktasının deney kasasındaki karşı kenarından 45° açılı yani titreşim oluşturma noktasından 135° açılı çapraz konumlandırılmış kil tabakaları içermektedir. Titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta elde edilen Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi izelge 4.20'de sunulmuştur. şekil 4.30 mesafenin bir fonksiyonu olarak Maks. Ort. PVS değerinin değişim grafiği sunulmaktadır.

Çizelge 4.20. Kil tabakanın yönüne göre Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Zemin Modeli	Litoloji	Tabaka yönü	90 cm uzaklıkta Ort. PVS değeri (mm/s)	Artış/Azalma (%)
1	Kuru gevşek kum	-	5	-
6d1	Farklı yönlerde kil tabakaları içeren kuru gevşek kum	0°	5.21	+4.2
6d2		90°	4.45	-11
6d3		45°	5.28	+5.6
6d4		135°	3.77	-24.6



Şekil 4.30. Kil tabakaların yönüne göre titreşim oluşturma noktasından 90 cm uzaklıkta Maks. Ort. PVS değerlerinin değişimi

Bu alt model grubunda elde edilen zemin titreşim deneylerinin sonuçları incelendiğinde yürütülen 4 alt model iki ana kategoriye ayrılabilir. Birinci kategori alt model 6d1 ve alt model 6d2'yi kapsamaktadır. Bu alt modeller için kaydedilen Maks. Ort. PVS değeri Model 1'e kıyasla daha yüksektir. Model 6d1 ve 6d2'nin Maks. Ort. PVS değeri sırasıyla 5.21 mm/s ve 5.28 mm/s olarak kaydedilmiştir. Bu alt modellerde sırasıyla % 4.2 ve % 5.6 oranında artışlar tespit edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, kuru gevşek kum içindeki yatay ve titreşim oluşturma noktasından 45° açılı çapraz kil tabakaların elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesinde hafif bir artışa neden olduğu sonucuna varabiliriz. Bu küçük artışlar kil tabakanın yüzeyleri boyunca oluşan yansıma ve kırılma olaylarından kaynaklanmıştır.

İkinci kategori ise alt model 6d3 ve alt model 6d4'ü içermektedir. Bu modellerde Maks. Ort. PVS değeri sırasıyla 4.45 mm/s ve 3.77 mm/s olarak tespit edilmiştir. Böylece kil tabakası içermeyen model 1 ile kıyasla modele dik olarak düşey veya titreşim oluşturma noktasından 135° açılı çapraz bir kil tabakası eklendiği zaman parçacık hızında bu düşüş meydana gelmektedir. Bu azalma oranı alt model 6d3 ve 6d4'te sırasıyla %11

ve %24.6 olarak hesaplanmıştır. Kil tabakası düşey olarak yerleştirildiğinde (alt model 6d3), titreşim oluşturma kaynağından 90 cm uzaklıkta yerleştirilen jeofona geçen sismik enerji miktarını sınırlayan bir bariyer görevi görmüştür. Titreşim oluşturma noktasından 135° açılı çapraz bir kil tabakası yerleştirildiğinde jeofonun pozisyonu tabakanın üstüne gelmiştir. Kil, kum içine tabaka olarak yerleştirildiğinde sismik enerji yansıma ve kırılmalarından kaynaklı, bu alt modelde elde edilen düşük PVS değerini açıklamaktadır.

Bahsedilen alt modellerde yapılan titreşim testlerinin sonuçlarına dayanarak, zemin titreşimlerini en aza indirmeyi sağlayan kil tabakalarının yönleri alt modeller 6d2 ve 6d4'te öne çıkmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Patlatma faaliyetlerinden açığa çıkan çevresel etkilerin en önemlisi zemin titreşimidir. Yer sarsıntısı insan rahatsızlığına, hassas ekipmanların arızalanmasına, yapısal hasarlara ve hatta can kayıplarına neden olabilmektedir. Bu sebeple, madencilik ve inşaat kazılarının temelini oluşturan patlatma faaliyetleri sonucu ortaya çıkan zemin titreşimlerinin takip ve kontrol edilmesi özel irdelenmesi gereken konular arasındadır. Bu yüzden, yer sarsıntılarının zararlı etkilerini en aza indirmek, insan rahatsızlığı ve yapısal hasarları önlemek için patlatma sırasında oluşan sismik dalgaların yayılım mekanizmalarının araştırılması son derece önemlidir. Ayrıca deprem dalgaları patlatmalar sonucunda açığa çıkan zemin titreşim dalgalarına benzerlik göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları ve önerileri, hem patlatma sonucunda oluşan zemin titreşimlerinin hem de deprem dalgalarının hasarlarını azaltmak için büyük öneme sahiptir.

Çoğu çalışma kayaçlardaki zemin titreşimlerini incelemeye odaklandığından, bu çalışma literatürde nadiren incelenen bir konuyu yani zeminlerdeki zemin titreşim dalgalarının yayılım mekanizmalarını araştırmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada kum ve kil zeminleri kullanılarak laboratuvarında özel olarak tasarlanmış bir deney tankında altı farklı zemin modeli oluşturulup arazi koşulları modellenmiştir. Yapay zemin titreşimleri oluşturmak için bir bilyenin serbest olarak düşerek zeminde bir darbe oluşturmaya olanak sağlayan özel tasarlanmış bilye bırakma mekanizmasına dayanan bir düzenek kullanılmıştır. Oluşan maksimum parçacık hareketlerinin ölçümü “Instantel” firması tarafından geliştirilen “Minimate Plus” model 2 adet sismograf ile yapılmıştır. Zemin modeline göre titreşim oluşturma noktasından 60 cm ve/veya 90 cm uzaklıkta bir veya iki adet jeofon yerleştirilmiştir.

Kayaçlar ve zeminler heterojen kütlelerdir. Aynı sahada farklı bölgelerde yapısal değişkenlik arz ederler. Bu yapısal değişkenler yer sarsıntısının yayılım mekanizması üzerinde etken parametrelerdir. Bu sebeple çalışmada, farklı zeminlerin litolojisinin, suya doygunluğunun, sıkıştırma derecesinin, yer sarsıntısı kaynağı konumunun (yer üstünde veya yeraltında) ve kuru gevşek kilden kuru gevşek kuma yerleştirilmiş yapay tabakaların sayısının, kalınlığının, konumunun ve yönünün ortalama Bileşke Vektörel Toplamı PVS (mm/s) üzerindeki etkileri yoğun olarak araştırılmış ve yer sarsıntısının yayılımı üzerindeki etkileri yoğun olarak analiz edilmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yapay zemin titreşim deneylerinin sonuçları ve önerileri şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Kuru gevşek kumda patlatma noktasından mesafe arttıkça PVS değeri azalmaktadır. Bu sonuç Model 1 üzerinde yapılan titreşim testlerinden elde edilmiştir. Bu zemin modelinde kuru gevşek kumda titreşim oluşturma noktasından 60 cm mesafede 6.61 mm/s olarak kaydedilen PVS değeri, 90 cm uzaklıkta 5 mm/s'ye düşmüştür. Böylece % 24.36 oranında bir azalma olmuştur. Bu azalmanın sebebi kuru gevşek kumdaki oluşan sismik enerjinin soğurulmasıdır. Kuru gevşek kumdaki soğurulma etkisi geometrik yayılma, emilme ve saçılma mekanizmalarıyla açıklanabilmektedir.
- Patlatma alanına veya deprem merkezine yakın bölgelerde kil varlığı yer hareketinde bir amplifikasyona neden olabileceğini düşünülmektedir. Bu sonuca kuru gevşek kil içeren Model 2 üzerinde gerçekleştirilen titreşim deneylerinden ulaşılmıştır. Bu zemin modelinde PVS değeri % 14.7 oranında bir artış sergileyerek titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta 3.47 mm/s'den 90 cm uzaklıkta 3.98 mm/s'ye çıkmıştır. Killerde oluşabilecek sismik amplifikasyon, killerin plastisite özelliği ve geniş aralıklı lineer (doğrusal) elastik davranışı ile açıklanmaktadır. Bu iki sebep birleşerek rezonansın ön koşullarını oluşturmaktadır. Bu rezonans etkisi killi zeminlerde yer hareketinde bir amplifikasyon ve buna bağlı olarak bir tehlike yaratabileceğini düşünülmektedir. Bu konuda daha net sonuçlar elde etmek için kuru gevşek kilde yapılan titreşim testlerinin daha büyük ölçekli modellerde gerçekleştirilmesi önerilmektedir.
- Sıkıştırma kuru gevşek kumdaki yer hareketinin azalmasına yol açmaktadır. Uygulanan düşey yük arttıkça kum hacminin ve zemin titreşim deneylerinde elde edilen PVS değerlerinin kademeli olarak azaldığı gözlenmiştir. Model 3'te yürütülen titreşim testlerinin bulgularına dayanan bu gözlem, uygulanan 5 farklı düşey yük değeri için de geçerlidir. Bir ila 5 ton arası düşey yüklemeler için elde edilen PVS değerleri sırasıyla 4.58 mm/s, 3.66 mm/s, 3.43 mm/s, 3.41 mm/s ve 3.31 mm/s olarak kaydedilmiştir. Böylece 6.61 mm/s PVS değerini gösteren kuru gevşek kum ile karşılaştırıldığında, uygulanan 1 ila 5 ton arası düşey yüklemeler ile sırasıyla % 30.71, % 44.62, % 48.11, % 48.41 ve % 49.92 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Kum taneleri arasındaki boşluk nedeniyle kuru gevşek kumda elde edilen Maks. Ort. PVS seviyesi sıkıştırılmış kumdan daha yüksektir. Bu serbest boşluklar ortamın parçacıklarına geniş hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Düşey yükleme uygulanarak yapılan sıkıştırma işlemi, kumun sıkışmasına ve taneler arasındaki boşlukların azalmasına sebep olmaktadır. Böylece kum

parçacıklarının hareket alanı daralarak hareket kabiliyeti nispeten azalmaktadır. Bu sebeple yük arttıkça PVS seviyeleri kademeli olarak azalmaktadır. Bu sonuçlara dayanarak, patlatma alanlarına yakın bölgelerde bulunan kuru gevşek kumun titreşim dalgaları hızının azalmasında ve hasarların önlenmesinde sıkıştırma yönteminin etkinliği ortaya çıkmıştır.

- Kuru gevşek kuma benzer bir şekilde suya doymuş kumda da titreşim oluşturma noktasından mesafe arttıkça sismik enerjinin bir soğurulma etkisine uğraması gözlenmiştir. % 21.77 oranında bir azalma sergileyerek titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta PVS seviyesi 3.72 mm/s'den 90 cm uzaklıkta 2.91 mm/s'ye düşmüştür. Ayrıca Model 4'ün sonuçları incelendiğinde su eklenmesinin her iki titreşim ölçüm noktasında kumun parçacık hızını azalttığı ve daha düşük PVS seviyelerine yol açtığı sonucuna varabiliriz. Titreşim oluşturma noktasından 60 cm uzaklıkta % 43.72 bir azalma göstererek kuru gevşek kumda 6.61 mm/s olarak kaydedilen PVS değeri, suya doymuş kumda 3.72 mm/s'ye düşmüştür. 90 cm uzaklıkta ise % 41.8 bir azalma sergileyerek kuru gevşek kumda 5 mm/s olarak kaydedilen PVS değeri, suya doymuş kumda 2.91 mm/s'ye düşmüştür. Bu sonuçlara dayanarak su eklenmesinin kumun parçacık hızını azalttığı ve daha düşük PVS seviyelerine yol açtığı görülmüştür. Kuru gevşek kumda taneler arasındaki boşluk nedeniyle ortamdaki parçacıklar geniş bir hareket kabiliyetine sahiptir. Ancak suyun ilave edilmesi bu boşlukların dolmasını sağlayarak kum parçacıklarının hareket kabiliyetini azaltmaktadır. Bu nedenle kuru gevşek kuma kıyasla suya doymuş gevşek kumda daha düşük PVS seviyeleri görülmektedir. Titreşim kaynağının konumunun (yer üstünde veya yeraltında) zemin titreşim dalgalarının üzerindeki etkisi incelendiğinde titreşim kaynağının derinliği arttıkça PVS seviyelerinin azaldığı gözlenmiştir. Zemin titreşiminin kaynağı yüzeysel olduğunda 6.61 mm/s olarak elde edilen PVS değeri, titreşim kaynağının derinliği 15 cm, 30 cm ve 45 cm olduğunda sırasıyla 4.58 mm/s, 4.09 mm/s ve 2.35 mm/s olarak ölçülmüştür. Böylece sırasıyla, % 30.71, % 38.12 ve % 64.45 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Zemin titreşim dalgaları yerüstünden oluşturulduğunda (Model 1'de) açığa çıkan sismik dalgalar yüzey dalgalarıdır. Ancak yeraltından kaynaklanan zemin titreşimleri oluşturulduğunda (Model 5'te) açığa çıkan sismik dalgalar cisim dalgalarıdır. Mesafe arttıkça, yüzey dalgaları cisim dalgalarına nazaran daha az sönümlenir. Bu nedenle en yüksek Maks. Ort. PVS değeri, titreşim kaynağı yer üstünde olduğunda kaydedilmiştir. Model 5'te

titreşim kaynağının derinliği arttıkça titreşim oluşturma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe artar ve aynı ölçüm noktasına ulaşmak için açığa çıkan cisim dalgaları daha uzun bir mesafe kat etmektedir. Böylece bu cisim dalgaları daha fazla soğurulma etkisine maruz kalır. Bu sebeple titreşim kaynağının derinliği arttıkça titreşim oluşturma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe artarak elde edilen Maks. Ort. PVS değeri azalmaktadır.

- Kuru gevşek kuma, kuru gevşek kilden tabakalar yerleştirilmesi sismik enerjinin azalmasına/sönümlenmesine neden olmuştur. Kilden yerleştirilen tabakaların sayısının yer sarsıntısının yayılması üzerindeki etkisi analiz edildiğinde 1, 2 veya 3 kil tabakası eklenerek elde edilen PVS değeri, tabaka içermeyen kuma göre daha düşük çıkmıştır. Bir kil tabakası eklendiğinde PVS değeri 4.16 mm/s olarak kaydedilmiştir. Böylece kil içermeyen kuma kıyasla %16.8 oranında bir düşüş göstermiştir. İki ve üç kil tabakası eklendiğinde ise PVS değeri tekrar artıp sırasıyla 4.95 mm/s ve 4.78 mm/s olarak kaydedilmiştir. Ancak tabaka içermeyen zemin modeline kıyasla yine de sırasıyla % 1 ve % 4.4 oranında düşüşler göstermiştir. Tabaka sayısının artırılması, kil tabakaların ara yüzeyleri boyunca daha fazla yansıma ve kırılma olaylarının oluşmasına yol açmaktadır. Böylece bu karmaşık sismik olaylar, oluşan zemin titreşim hareketinin karmaşıklığına sebep olup birden fazla tabaka eklendiğinde elde edilen PVS değerlerinin tekrar artmasına neden olmuştur. Tabaka sayısının titreşim dalgalarının yayılması üzerindeki etkisini netleştirmek için daha geniş kapsamlı bir araştırma gerektiğini vurgulamak önemlidir.
- Kil tabakanın konumunun zemin titreşim dalgalarının yayılması üzerindeki etkisi incelenirken kil tabaka kumun altına yerleştirildiğinde en düşük PVS seviyelerinin elde edildiği gözlenmiştir. Bu durumda PVS değeri 4.16 mm/s olarak kaydedilmiştir yani tabaka içermeyen kuma kıyasla %16.8 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca kil tabakası kumun üstüne yerleştirildiğinde de parçacık hızı 4.25 mm/s'ye ulaşmış ve kil tabaka içermeyen zemin modeline kıyasla %15 oranında bir düşüş sergileyerek daha düşük PVS değerine yol açmıştır. Ancak kil tabakası tam kumun ortasına yerleştirildiğinde PVS değeri 5.21 mm/s'ye yükselmiş ve tabaka içermeyen zemin modeline kıyasla % 4.2 oranında bir artış oluşmuştur. Çünkü kil tabakanın deney kasasının ortasına yerleştirilmesi 2 farklı yansıma ve kırılma ara yüzeyi oluşturmuştur. Yansıma ve kırılma olayları sismik enerjinin karmaşıklığına ve parçacık hızında bir artışa

neden olmuştur. Böylece patlatma faaliyetleri sırasında kilin emici etkisini optimize etmek için, kil tabakası kum tabakasının altında veya üstünde olmalıdır.

- Kil tabakasının kalınlığının (10 cm, 20 cm ve 30 cm) zemin titreşim dalgalarının üzerindeki etkisi analiz edildiğinde PVS seviyelerinde belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir. Bu kapsamda kil tabakalarının kalınlığının kaydedilen Maks. Ort. PVS seviyesi üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır veya kil tabakalarının küçük ölçekli modellenmesinde tabakalarının kalınlıklarında 10 ila 20 cm arasındaki küçük farklar nedeniyle analiz için net sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamamıştır. Bu sebeple kil tabakalarının kalınlığının zemin titreşim dalgalarının yayılma mekanizmaları üzerindeki etkisi konusunda daha net ve kesin sonuçlara ulaşmak için, tabakalarının kalınlıkları arasında daha yüksek farklılıklara sahip ve daha büyük ölçekli modellerde bir araştırma önerilmektedir.
- Kil tabakanın yönünün zemin titreşim dalgalarının parçacık hızı üzerine etkisi incelendiğinde kil tabakası yatay ve titreşim oluşturma noktasından 45° açılı olduğunda PVS değerinde kil tabakası içermeyen modele kıyasla sırasıyla % 4.2 ve % 5.6 oranında artışlar tespit edilmiştir. Bu artışlar kil tabakanın yüzeyleri boyunca oluşan yansıma ve kırılma olaylarından kaynaklanmıştır. Diğer bir taraftan kil tabakası düşey ve titreşim oluşturma noktasından 135° açı ile olarak yerleştirildiği zaman sırasıyla PVS değerinde %11 ve %24.6 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Kil tabakası düşey olarak yerleştirildiğinde geçen sismik enerji miktarını sınırlayıp bir bariyer görevi görmüştür. Ayrıca bu çalışmada titreşim oluşturma noktasından 135° açılı çapraz bir kil tabakası yerleştirildiğinde jeofonun pozisyonu tabakanın üstüne gelmiştir. Kil, kum içine tabaka olarak yerleştirildiğinde sismik enerji emici olarak rol oynadığından elde edilen düşük PVS değerini açıklamaktadır. Böylece parçacık hızında bir azalma sağlamak için zemin titreşim kaynağı ile ölçüm noktası arasına dikey ya da patlatma noktasından titreşim ölçme noktasına 45° açılı bir bariyer yerleştirilebilmektedir.
- Kuru gevşek kuma yerleştirilen kil tabakaların sayısının, konumunun, kalınlığının ve yönünün etkisini inceleyen Model 6'nın analizinden elde edilen gözlemler, ön sonuçlar olarak kabul edilmektedir. Bu konuda daha kesin ve net sonuçlar elde etmek için Model 6'da yapılan titreşim testlerinin daha büyük ölçekli modellerde gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdullahoğlu, A. E., 1993, Ticari patlayıcı maddeler özellikleri ve seçimi, *Türkiye 13. Madencilik Kongresi*, İstanbul, 137-144.
- Ainalis, D., Ducarne, L., Kaufmann, O., Tshibangu, J. P., Verlinden, O., & Kouroussis, G., 2018, Improved analysis of ground vibrations produced by man-made sources, *Science of the Total Environment*, 616-617, 517-530.
- Alpaydın, E., Alpsar, M., Elmacı, E., Halıcılar, G., İnal, H. S., İşcen, H. İ., Patır, O., ve Özkazanç, M.Ö., 2004, Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri, *Nitromak*, Ankara, s. 129.
- American National Standards Institute, 1983, Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibrations in Buildings, ANSI S3.29-1983, p.10.
- Aryan, A., 2014, Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 30-37.
- Ashford, S. A., Akrapıyanun, W., & Lukkunaprasit, P., 2000, Amplification of earthquake ground motions in Bangkok, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, Paper no. 1466, p. 7.
- Avellan, K., Belopotocanova, E., & Puurunen, M., 2017, Measuring, monitoring and prediction of vibration effects in rock masses in near-structure blasting, *Procedia Engineering*, 191, 504-511.
- Aydın, U., 2006, Erzurum merkezli doğu anadolu bölgesinde yakın alan depremleri için sismik dalga sönüm oranı hesaplaması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 5-20.
- Bayraktaroğlu, B., 2003, Kömür dekapajında optimum delme-patlatma tasarımı-garp linyit işletmesinde bir saha çalışması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-19.
- Bhandari, S., & Jain, S., 2014, Managing social and environmental issues due to blasting operations, *National Symposium on Socio-Mechanics of Mining-Present and Future*, Neyvelli, India, p. 12.
- Bormann, P., 2012, New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP2), *GFZ German Research Centre for Geosciences*, Potsdam, 33-103.
- Bourbie, T., Coussy, O., & Zinszner, B., 1987, Acoustics of Porous media, *Gulf Publishing Company*, Paris, 175-242.
- Braile, L. W., 2006, *Seismic Waves and the Slinky*, Incorporated Research Institutions for Seismology, Washington, p. 63.

- Çağlar, S., 2008, Orman yolları yapımında kaya patlatma tekniği ve çevresel etkileri üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 29-34.
- Dağçimen, A., 2006, Patlatma tasarımı için geliştirilen bir bilgisayar programı, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 4-31.
- Derin, İ., t.y., Patlayıcı madde seçimi, *CENK-ER Patlayıcı Maddeler*, Sakarya, s. 6.
- Dowding, C. H., 1985, Blast vibration monitoring and control, *Prentice Hall, Inc*, Englewood Cliffs, NJ, p. 297.
- Duarte, M. L. M., Misael, M. R., & Filho, L. E. F., 2002, Experimental evaluation of vibration comfort for a residential environment, *Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering* 4753, 1376-1381.
- Elevli, B., & Arpaz, E., 2010, Evaluation of parameters affected on the blast induced ground vibration (BIGV) by using relation diagram method (RDM), *Acta Montanistica Slovaca Ročník*, 15 (4), 261-268.
- Erçikdi, R., Kesimal, A., Yılmaz, E., & Cihangir, F., 2004, Patlatma kaynaklı yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 195-215.
- Ersoy, H., t.y., Mühendislik jeolojisi ders notları [online], http://www.kursatozcan.com/~kursatoz/ders_notlari/muhendislik_jeolojisi/5_zeminlerin_muhendislik_ozellikleri.pdf [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2020]
- Fang, H. Y., 1997, Introduction to environmental geotechnology, *CRC Press*, New York, 151-191.
- Garala, T. K., & Madabhushi, G. S. P., 2019, Seismic behaviour of soft clay and its influence on the response of friction pile foundations, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 1919-1939.
- Hamza, A., 2008, Patlatmalı kaya kazılarında kaynaklanan titreşim ve gürültünün insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-44.
- Hancher, D., 2015, The Nature of Waves [online], <https://slideplayer.com/slide/4178939/> [Ziyaret Tarihi: 29 Temmuz 2019]
- Instantel, t.y., Instantel Plus Advanced Vibration and Overpressure Monitor, *Instantel, Ontario, Canada*, p. 2.
- International Organisation for Standardisation, 2010, Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures -guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures, ISO 4866, Geneva, Switzerland.

- Işık, M. E., & Kuruşcu, A. O., 2018, Yapısal titreşimlerin kullanıcı konforuna etkisinin incelenmesi, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 01, 20-34.
- Kahraman, S., 1997, Açık işletmelerde uygun delme-patlatma şartlarını veren bir modelin geliştirilmesi, Doktora tezi, *İstanbul teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 114-152.
- Kahriman, A., 2002, Maden ve taş ocaklarında kaya patlatma tekniği ders notları, *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.
- Kahriman, A., 2003, Patlatma mühendisliği ders notları, *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.
- Kaypak, B., 2019, Sisimik dalgalar (Yüzey dalgaları) [online], Ankara Üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=95608> [Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019]
- Kekeç, B., 2010, Patlatma kaynaklı titreşimlerin, bazı kaya madde ve kütle özelliklerine göre irdelenmesi, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 5-107.
- Kılıçkaya, S., 1996, Temel fizik, *Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları No: 331, Eskişehir*, s. 121.
- Köse, A., 2015, Ticari patlayıcı maddeler ve patlayıcı madde seçimi, Yüksek Lisans tezi, *Okan Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-13.
- Kuzu, C., 2008, The importance of site-specific characters in prediction models for blast-induced ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 405-414.
- Lanzo, G., & Vucetic, M., 1999, Effect of soil plasticity on damping ratio at small cyclic strains, *Soils and Foundations*, 39 (4), 131-141.
- Nateghi, R., 2012, Evaluation of blast induced ground vibration for minimizing negative effects on surrounding structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 43, 133-138.
- Nicholson, R. F., 2005, Determination of Blast Vibrations Using Peak Particle Velocity at Bengal Quarry, in St Ann, Jamaica, Master's Thesis, *Luleå University of Technology*, 33-41.
- Oriard, L. L., & Emmert, M. W., 1980, Short-delay Blasting at Anaconda's Berkeley Open-pit Mine, *AIME Annual Meeting*, Las Vegas, NV, 60-80.
- Orica-Nitro, 2010, Kaya Patlatma Tekniği, *ORICA-NITRO*, Ankara, s. 29.
- Orica Nitro., t.y., Case Study Selection of Blasting Limits for Quarries and Civil Construction Projects, *ORICA-NITRO*, p. 14.

- Pal Roy, P., 2005, Rock blasting effects and operations, *CRC Press*, Ohio, p. 360.
- Peng, Y., Wenbo, L., Jing, Z., Yujun, Z., & Ming, C., 2017, Evaluation of human response to blasting vibration from excavation of a large scale rock slope: A case study, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 16 (2), 435-446.
- Seidalinov, G., & Taiebat, M., 2015, Propagation of seismic waves through saturated soft clay deposits: Constitutive and numerical modeling, *14IACMAG*, Kyoto, Japan, 285-290.
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H., 1980, Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, *U.S. Bureau of Mines*, p. 84
- Srbulov, M., 2008, Geotechnical earthquake engineering: Simplified analyses with case studies and examples, *Springer Science & Business Media*, Berlin, p. 244.
- Taqieddin, S. A., 1986, Ground vibration levels: Prediction and parameters, *Mining Science and Technology*, 3, 111-115.
- Tatar Yıldırım, L., t.y., Elektromanyetik dalgalar [online], Hacettepe Üniversitesi, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tatar/fiz217/doc/F%C4%B0Z217%20bolum7c.pdf> [Ziyaret Tarihi: 29 Temmuz 2019]
- Tatiya, R. R., 2005, Surface and Underground Excavations - Methods, Techniques and Equipment, *Taylor & Francis Group*, London, p. 562.
- Society of Explosive Engineers, t.y., Human perception [online], <https://explosives.org/vibration-basics/human-perception/> [Ziyaret Tarihi: 05 Ağustos 2019]
- Torres V.F., N., Silveira, L. G. C., Lopes, P. F. T., & M. de Lima, H., 2018, Assessing and controlling of bench blasting-induced vibrations to minimize impacts to a neighboring community, *Journal of Cleaner Production*, 187, 514-524.
- Towhata, I., 2008, Geotechnical earthquake Engineering, *Springer*, Berlin, 181-217.
- Transport and Road Research Laboratory, 1986, Ground vibration caused by civil engineering works, *Department of Transport, Research report 53*, Crowthorne, Berkshire, p. 19.
- Vucetic, M., 1992, Soil properties and seismic response, *Earthquake Engineering 10th World Conference*, Balkema, Rotterdam, 1199-1204.
- Yılmaz, A., 2016, Dalgalar Temel Kavramlar/Yay Dalgaları [online], <http://www.fizik.net.tr/site/dalgalar-temel-kavramlar-yay-dalgalari/> [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2019]

- Yılmaz, T., 2017, Maden İşletme laboratuvarı -2 deney adı: Delme - Patlatma ve çevresel etkileri [online], Konya Teknik Üniversitesi, http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_9137e.pdf [Ziyaret Tarihi: 8 Mart 2019]
- Yniesta, S., 2019, Ground response in the September 19th 2017 Mw= 7.1 Central Mexico earthquake, *7th International on Earthquake Geotechnical Engineering*, Roma, İtalya, 1953-1962.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Dhikra GHİLOUFİ
Uyruğu : Tunus Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Tunus-03.02.1989
E-Posta : ghiloufi.dhikra@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl, Ülke	Bitirme Yılı
Lise	: Bou Salem Lisesi, Tunus	2007
Üniversite	: Tunus El Manar Üniversitesi, Tunus	2012
Yüksek Lisans	: KTÜN Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, Türkiye	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013- 2016	Geo-Environment (Jeoloji ve Çevre danışmanlık firması) - Tunus	Jeoloji Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Delme-Patlatma ve Çevresel Etkileri

YABANCI DİLLER

Arapça, İngilizce, Fransızca, Türkçe.

YAYINLAR*

KEKEÇ, B., BİLİM, N., DÜNDAR, S., GHİLOUFİ, D., 2018, Madencilik Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanımı, Yayın Yeri: 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Alanya- Antalya, 30.11.2018-02.12.2018.

KEKEÇ, B., BİLİM, N., GHİLOUFİ, D., 2018, A Review on the Evolution of the Turkey Mining Sector, Yayın Yeri: 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Samsun, 09.11.2018-11.09.2018.

KAMANLI, M., GHİLOUFİ, D., KEKEÇ, B., DEMİRBAŞ, B., DEMİRÖZ, A., CENGİZ, S., 2019, Microstructural Analysis on the Effect of Using Recycled Aggregate (RA) in Concrete on its Internal Transition Zone (ITZ) Using Scanning Electron Microscopy (SEM), Yayın Yeri: 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara, 19.04.2019-21.04.2019.