

**T.C.**  
**İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SIĞ TEMELLERİN SİSMİK DAVRANIŞINA YER HAREKETİ**  
**ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Rüya YILDIRIM**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**  
**İnşaat Mühendisliği Programı**

**AĞUSTOS, 2023**



**T.C.**  
**İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SIĞ TEMELLERİN SİSMİK DAVRANIŞINA YER HAREKETİ**  
**ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Rüya YILDIRIM**  
**(Y2113.090007)**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**  
**İnşaat Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEHGHANIAN**

**AĞUSTOS, 2023**



## **ONAY FORMU**



## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum ‘’ Sığ Temellerin Sismik Davranışına Yer Hareketi Özelliklerinin Etkisi’’ adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (22/8/2023)

Rüya YILDIRIM





## ÖNSÖZ

Bu tezdeki başarılarımda ve eğitim sürecim boyunca desteklerini esirgemeyen üniversitedeki değerli hocama ve aileme en derin şükranlarımı ve minnettarlığımı sunmak istiyorum.

Öncelikle, değerli hocama Dr. Öğr. Üyesi Kaveh Dehghanian'a en içten teşekkürlerimi iletiyorum. Onun uzmanlığı, bilgisi ve özverisi, öğrenci olarak gelişimimde benzersiz bir katkı sağladı. Öğretme tutkusu, bilgeliğini paylaşma isteği ve mükemmeliyete olan bağlılığı, akademik hedeflerim üzerinde derin bir etki bıraktı. Yönlendirmeleri ve mentorluğu, sadece konuyla ilgili anlayışımı geliştirmekle kalmadı, aynı zamanda ömür boyu öğrenme sevgisini de içime işledi. Bu olağanüstü eğitmeni tarafından öğrenme fırsatına sahip olduğum için gerçekten minnettarım.

Ayrıca, sevgi dolu aileme sürekli teşvikleri, koşulsuz sevgileri ve inançları için içten bir şekilde teşekkür etmek istiyorum. Çalışmalarım için elverişli bir ortam sağlama, zor zamanlarda destek sunma ve başarılarımı kutlama konularında verdikleri destek ve fedakarlıklar, başarımın temelini oluşturdu. Yanımda böyle sevgi dolu ve destekleyici bir aileye sahip olduğum için gerçekten şanslıyım.

Son olarak, bu tez, değerli hocamın rehberliği ve ailemin sarsılmaz desteği olmadan mümkün olmazdı. Onların katkıları, beni bugün olduğum insan haline getirdi onlara sonsuza dek minnettarım. Saygılarımla

Ağustos, 2023

Rüya YILDIRIM



# SIĞ TEMELLERİN SİSMİK DAVRANIŞINA YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ

## ÖZET

Çalışma, İstanbul'da sığ bir temelin farklı zemin türleri üzerindeki sismik davranışını araştırmaktadır. Farklı yerleri temsil eden, değişen yerel zemin sınıflandırmalarına sahip (ZB, ZC, ZD) yedi vakayı ele almaktadır. Geoteknik yazılım PLAXIS 2D kullanılarak yapılan sayısal modelleme, her zemin tipi üzerinde inşa edilen dairesel temellerin davranışını simüle etmek için kullanılmaktadır. Her analizde hem statik hem de dinamik analizler yapılır. Statik analiz, dairesel temele 350 kilo paskal statik yük uygulanmasını içerirken dinamik analiz, temelin 6,4 ila 8,8 büyüklüğündeki yedi depreme maruz kalmaktadır. Pik Yer İvmesinin (PGA), Pik Yer Hızına (PGV) oranı en yüksek olan depreme odaklanan yedi farklı depremin seçimini içermiştir. Bu depremler, altıyı aşan moment büyüklük ( $M_w$ ) değerlerine göre özenle seçilmiştir. Ek olarak, seçilen depremler, 5 metrelik sığ yüzey derinliğinden 35 metrelik kayda değer derinliğe kadar olan bir aralıkta sığ derinlikler seçilmiştir. Bu depremlerin dikkatli bir şekilde seçilmesi, sığ temelleri potansiyel olarak etkileyebilecek çeşitli sismik koşulları yakalamayı amaçlamaktadır. Bu depremlerin temeller üzerindeki etkisi, özellikle PLAXIS 2D yazılımı aracılığıyla Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak analiz edilir. Araştırmanın odak noktası, sismik parametre PGA/PGV'nin yer değiştirme oranı üzerindeki etkisini incelemektir. Her vaka, varyasyonları ve eğilimleri belirlemek için ayrı ayrı karşılaştırılır. Çalışma, daha yüksek PGA/PGV oranlarına sahip depremlerin temellerde daha yüksek titreşimlere ve deformasyonlara neden olduğunu göstermektedir. Deprem şiddeti arttıkça temel ve çevre zemin üzerindeki baskı da artar. Ek olarak, temellerin performansı, farklı zemin türlerinin özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Genel olarak, bu araştırma, sığ temellerin statik ve dinamik tasarım sonuçlarını analiz etmek ve değerlendirmek için değerli bilgiler sağlanmaktadır. Araştırma, temellerin tasarımını iyileştirmek ve depreme eğilimli

alanlarda mevcut temellerin performansını değerlendirmek için kullanılabilir. Temelerde, binalarda ve yapılarda stabilite ve yapısal güvenliğin sağlanması katkıda bulunur.

Sonuç olarak, çalışma, temel tasarımında sismik parametre PGA/PGV ve zemin özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Mühendisler, farklı zemin tiplerinin sismik davranışını ve değişen yer hareketi özelliklerine tepkilerini anlayarak, temel tasarımını optimize edebilir ve depreme eğilimli bölgelerde yapıların dayanıklılığını artırabilir. Araştırma, sığ temellerin sismik analizi, tasarımı ve değerlendirilmesi için değerli bir araç olarak hizmet ederek daha güvenli ve sürdürülebilirliği teşvik etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik analiz, Güçlü yer hareketi, PGA/PGV, PLAXIS 2D, Sığ temeller, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Statik analiz, Toplam yerdeğiştirme.

# **EFFECT OF GROUND MOTION CHARACTERISTICS ON THE SEISMIC BEHAVIOR OF SHALLOW FOUNDATION**

## **ABSTRACT**

The study investigates the seismic behavior of a shallow foundation on different soil types in Istanbul. It addresses seven cases representing different locations with varying local soil classifications (ZB, ZC, ZD). Numerical modeling using geotechnical software PLAXIS 2D is employed to simulate the behavior of circular foundations constructed on each soil type. Both static and dynamic analyses are performed for each case. The static analysis involves applying a static load of 350 kilopascals to the circular foundation, while the dynamic analysis subjects the foundation to seven earthquakes ranging in magnitude from 6.4 to 8.8. The selection of the seven distinct earthquakes focuses on the one with the highest Peak Ground Acceleration (PGA) to Peak Ground Velocity (PGV) ratio. These earthquakes are carefully chosen based on moment magnitude ( $M_w$ ) values exceeding six. Additionally, the chosen earthquakes encompass a range from a shallow depth of 5 meters to a significant depth of 35 meters, capturing various seismic conditions that could potentially affect shallow foundations. The impact of these earthquakes on the foundations is analyzed using the Finite Element Method via the PLAXIS 2D software. The primary focus of the research is to examine the influence of the seismic parameter PGA/PGV on the displacement ratio. Each case is individually compared to identify variations and trends. The study demonstrates that earthquakes with higher PGA/PGV ratios induce higher vibrations and deformations in foundations. As seismic intensity increases, both the foundation and the surrounding soil experience increased pressure. Moreover, the performance of foundations is significantly affected by the properties of different soil types. Overall, this research provides valuable insights into the analysis and assessment of static and dynamic design results for shallow foundations. It can be utilized to enhance foundation design and evaluate the performance of existing foundations in earthquake-prone areas, contributing to stability and structural safety in foundations, buildings, and structures.

In conclusion, the study highlights the significance of considering seismic parameters such as PGA/PGV and soil properties in foundation design. Engineers can optimize foundation design and enhance the resilience of structures in earthquake-prone regions by understanding the seismic behavior of different soil types and their responses to varying ground motion characteristics. Serving as a valuable tool for the seismic analysis, design, and evaluation of shallow foundations, this research promotes greater safety and sustainability.

**Keywords:** Dynamic analysis, Strong ground motion, PGA/PGV, PLAXIS 2D, Shallow foundations, Finite Element Method, Static analysis, Total displacement.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ONUR SÖZÜ .....	i
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xix
<b>I. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>II. LİTERATÜR TARAMASI.....</b>	<b>3</b>
A. Literatür Araştırmaları .....	3
B. Literatür Taraması Özet Çizelgesi.....	33
<b>III. YÖNTEM.....</b>	<b>39</b>
A. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) .....	39
.1 Mohr-Coulomb .....	41
2. Geoteknik ve Deprem Mühendisliğinde FEM'in Katkıları.....	43
3. Geoteknik ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları için Popüler Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) Tabanlı Yazılım Programları.....	44
a. PLAXIS 2D: .....	45
i. PLAXIS 2D Yazılımının Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı.....	45
ii. PLAXIS 2D İle Elde Edilen Önemli Sonuçlar.....	47
b. ABAQUS.....	48

c. FLAC .....	48
d. OpenSees .....	48
e. SAP2000.....	49
B. Vakaların Tanıtımı (Zemin Etütlerinden Alınan Geoteknik Parametreler) .....	49
1. VAKA (1) Parametreleri, Kumlu Zemin Örneği (Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmış). .....	49
a. Tasarımda Kullanılacak Geoteknik Parametrelerin Seçimi.....	50
i. Young Modülü (Elastic Modulus).....	50
ii. Poisson Oranı.....	51
iii. Kohezyon (c) .....	51
iv. Sürtünme Açısı ( $\phi$ ).....	51
2. VAKA (2) Parametreleri, Bakırköy ilçesi Yeşilyurt mahallesi killi zemin (siltli kil, kil, kireçtaşı ardalanı), Yerel zemin sınıfı ZC. ....	52
3. VAKA (3) Parametreleri, Sultangazi ilçesi 150 yıl mahallesi (Yerel zemin sınıfı ZD). ....	53
4. VAKA (4) Parametreleri, Silivri İlçesi, Büyük Çavuşlu Mahallesi, (Yerel zemin sınıfı ZC), Kum Arabantlı Sert Yeşil Kumlu Siltli Kil.....	55
5. VAKA (5) Parametreleri, Büyükçekmece İlçesi, Güzelce Mahallesi, Kumlu kil, Yerel Zemin Sınıfı ZD. ....	56
6. VAKA (6) parametreleri, Fatih İlçesi, Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Yerel Zemin Sınıfı ZC, Çakıllı Siltli Kumlu Sert Kil Zemin.....	57
7. VAKA (7) Parametreleri, Tuzla İlçesi İçmeler Mahallesi, Yerel zemin sınıfı (ZB), Sedef Adası Kireçtaşı Üyesine Ait Koyu Kül Renkli Kızılımsı Kalsit Damarı Kırıklı Çatlaklı Kaya Zemin. ....	59
C. Kullanılacak depremler:.....	60
1. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia. ....	60
2. Denali Fay, Alaska .....	63
3. Sierra El Mayor, Mexico.....	64



4. Offshore Northern California, CA .....	66
5. Offshore Maule, Chile .....	68
6. WNW of Ferndale, California.....	69
7. San Simeon, CA.....	71
<b>D. PLAXIS 2D Modelleme ve Analiz.....</b>	<b>72</b>
1. PLAXIS 2D Yazılımında Zemin Modellenmesi İçin Malzeme Tanımlama Adımları. ....	74
2. Dairesel Temel Malzemesinin Oluşturulması.....	81
3. Statik Yük Sistemi ve Dağıtılmış Yük Uygulaması. ....	83
4. Deprem Yüklerinin Modellenmesi: Standard Earthquake Boundaries.....	84
a. Standard Earthquake Boundaries Tercih Edilme Nedenleri.....	84
5. Sabitlik (Fixity).....	85
a. Yatay ve Düşey Sabitleme Silme İşlemleri. ....	87
6. Dinamik Yük Sistemi Oluşturulması ve Tahmini Yer Değiştirme Analizi. 88	
a. PLAXIS 2D 'de $x = 0.01$ "Geometri noktası 0" ve "geometri noktası 1" İçin Yer Değiştirme Simülasyonu: (Prescribed Displacement ile Dinamik Analiz).....	89
7. PLAXIS 2D 'de Meshleme. ....	89
<b>.8 PLAXIS 2D Programında Su Seviyesi Belirleme. ....</b>	<b>92</b>
9. PLAXIS 2D Programında Sıfır Değerli Durumda Aktif Gözenek Basıncının Belirlenmesi. ....	93
10. PLAXIS 2D Programında $K_0$ (Başlangıç Efektif Gerilme Oranı) ve Zemin Davranışı.....	94
11. PLAXIS 2D Programıyla Basınc ve Efektif Gerilme Hesaplamaları ve Sonuçların İncelenmesi. ....	95
12. PLAXIS 2D'de Statik Ve Dinamik Analiz. ....	96
<b>IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>101</b>
A. PLAXIS 2D'de Verilerin Sunumu ve Analiz Bulguları. ....	101

1. Statik Analizi.....	105
a. Kumlu Zemin.....	107
b. Siltli Kil, Kil, Kireçtaşı Ardalanımı Bir Zemin (ZC- Bakırköy İlçesi) ...	107
c. Sarımsı-Yeşilimsi Renkli Killi Kum Zemin (ZD- Büyükçekmece İlçesi) ....	107
d. Yeşil Siltli Kil Zemin (ZD- Sultangazi İlçesi).....	107
e. Çakıllı Siltli Kumlu Sert Kil Zemin (ZC- Fatih İlçesi).....	108
f. Kum Abarantlı Sert Yeşil Kumlu Siltli Kil Zemin (ZC- Silivri İlçesi) ...	108
g. Sedef Adası Kireçtaşı Üyesine Ait Koyu Kül Renkli Kızılımsı Kalsit Damarı Kırıklı Çatlaklı Kaya Zemin (ZB- Tuzla İlçesi).....	108
2. Dinamik Analizi.....	109
a. Birinci Vaka: Kumlu Zemin Örneği (Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmış).....	109
i. PGA /PGV ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler ....	112
ii. Derinlik ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler	116
iii. Süre ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler .....	117
iv. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, ..	119
b. İkinci Vaka: Bakırköy ilçesi killi zemin ZC (siltli kil, kil, kireçtaşı ardalanımı). .....	121
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değiştirme ve Birim Şekil Değiştirme Yüzdesi. ....	123
ii. İkinci Vakada Her Deprem İçin En Önemli ve Baskın (Hakim) Sismik Parametrelerin İncelenmesi. ....	125
iii. Offshore Maule, Chile hakkında gözlemler. ....	127
iv. WNW of Ferndale, Kaliforniya depremi ve San Simeon, Kaliforniya depremi hakkında gözlemler. ....	128
v. Denali Fay, Alaska depremi hakkında gözlemler.....	129

c. Üçüncü Vaka: Sultangazi ilçesi ZD (Yeşil siltli kil) .....	130
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi. ....	131
ii. Üçüncü Vakada Her Deprem İçin En Önemli ve Baskın (Hakim) Sismik Parametrelerin İncelenmesi.....	133
d. Dördüncü Vaka: Silivri İlçesi, Büyük Çavuşlu Mahallesi, ZC (Kum arabanlı sert yeşil kumlu siltli kil) .....	136
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi. ....	138
ii. Sismik Parametreler ve Yer Değişirmesi İlişkisi: Genel Eğilimler ve Özel Durumlar.....	139
e. Beşinci Vaka: Büyükçekmece İlçesi, Güzelce Mahallesi Sarımsı - Yeşilimsi Renkli Killi Kum, Yerel Zemin Sınıfı ZD. ....	140
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi. ....	142
ii. PGA/PGV, Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler. ....	143
f. Altıncı Vaka: Fatih İlçesi, Yavuz Sultan Selim Mah (ZC Çakıllı Siltli Kumlu Sert Kil).....	144
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi. ....	146
ii. PGA/PGV, Yer Değişirme ve Birim şekil Değişirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler. ....	147
g. Yedinci Vaka: Tuzla İlçesi İçmeler Mahallesi (Yerel Zemin Sınıfı ZB) 148	
i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi. ....	150
ii. PGA/PGV, Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler. ....	151

B. Zemin Değişkenleri ve Çeşitli Parametrelerin Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi ve Sıralaması.....	151
<b>V. SONUÇ.....</b>	<b>153</b>
<b>VI. KAYNAKÇA .....</b>	<b>155</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>161</b>

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>CIE</b>	: "Cumulative Input Energy" (Toplam Girdi Enerjisi).
<b>c'ref</b>	: Kohezyon.
<b>D10</b>	: Granüler malzemelerde tanelerin boyutlarının dağılımının yüzde 10'unda bulunan en küçük tanecik boyutu.
<b>DEM</b>	: "Discrete Element Method", "Ayrık Elemanlar Metodu".
<b>DSM</b>	: Derin Zemin Karıştırma kolonları.
<b>E'</b>	: Elastisite Modülü / Young's modulus.
<b>EPWP</b>	: Aşırı Boşluk Suyu Basıncı (Pa).
<b>FEM</b>	: Sonlu Elemanlar Metodu.
<b>HSM</b>	: "hardening soil model" (sertleşen zemin modeli) anlamına gelir.
<b>LE</b>	: "Linear Elastic" (Lineer Elastik). Lineer elastisite, malzemenin davranışını tanımlamak için kullanılan bir terimdir.
<b>LVDT</b>	: Temas olmayan bir sensör türü, uzunluk veya pozisyon değişikliklerini ölçer.
<b>MC</b>	: Mohr Coulomb Yöntemi.
<b>Mw</b>	: Depremin Büyüklüğü.
<b>NZS1170</b>	: Yeni Zelanda yapı tasarım standartlarını belirleyen bir belgedir.
<b>OpenCV</b>	: Bilgisayar görüntülerinin işlenmesi ve analizi için kullanılan açık kaynaklı bir kütüphane.
<b>PGA</b>	: Pik Yer İvmesi.
<b>PGV</b>	: Pik Yer Hızı.
<b>Python</b>	: Genel amaçlı, okunması kolay ve geniş kullanım alanına sahip programlama dili.

- P- $\Delta$  etkileri** : Büyük deformasyonlara bağlı olarak yapı elemanlarının gerilme ve eğilme etkileri hesaplamaları.
- SFSI** : "Soil-Foundation-Structure Interaction", "Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi".
- uex v/s  $\gamma$**  : Yer değiştirme ile birim ağırlık arasındaki ilişkiyi ifade eder.
- u-p** : u-p analizi, yer değiştirme (u) ve gerilme (p) parametrelerini içeren bir analiz türüdür. Bu tür analizlerde, yapı veya zemin üzerine etki eden kuvvetlerin veya değişimlerin neden olduğu yer değiştirmeler ve gerilmeler incelenir.
- $\gamma_{sat}$**  : Doygun Zeminin Birim Hacim Ağırlığı.
- $\gamma_{unsat}$**  : Doğal Zeminin Birim Hacim Ağırlığı.
- $\nu'$**  : Poisson Oranı.
- $\phi'$**  : Sürtünme Açıısı.
- $\psi$**  : Genleşme Açıısı.
- k** : Permabilite.

## ÇİZELGELER LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1. Literatür Taraması Özet Çizelgesi.....	33
Çizelge 2. VAKA (1) tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler, (Kumlu Zemin Örneği Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmış).....	49
Çizelge 3. VAKA (2) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.....	52
Çizelge 4. VAKA (3) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.....	54
Çizelge 5. VAKA (4) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.....	55
Çizelge 6. VAKA (5) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.....	56
Çizelge 7. VAKA (6) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.....	58
Çizelge 8. VAKA (7) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.....	59
Çizelge 9. 12/9/2007'de Endonezya'daki Kepulauan Mentawai Bölgesi depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.....	61
Çizelge 10. 11/04/2002 tarihinde Alaska Denali Fayı depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.....	63
Çizelge 11. 04/04/2010 tarihinde Sierra El Mayor, Mexico depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.....	65
Çizelge 12. 15/06/2005 tarihinde Offshore Northern California, CA depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.....	67

Çizelge 13.	27/02/2010 tarihinde Offshore Maule, Chile depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.....	68
Çizelge 14.	10/03/2014 tarihinde WNW of Ferndale, California depreminin sismik etkilerini ölçen veriler. ....	70
Çizelge 15.	22/12/2003 tarihinde San Simeon, CA depreminin sismik etkilerini ölçen veriler. ....	71
Çizelge 16.	Kumlu Zemin Örneği (Plaxis Eğitim Kılavuzundan Alınmış). ....	78
Çizelge 17.	Sığ bir temelin sabit statik yük altında farklı zemin türlerine göre toplam yer değiştirmelerinin sonuçları. ....	107
Çizelge 18.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Birinci vaka). ....	111
Çizelge 19.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (İkinci vaka). ....	123
Çizelge 20.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Üçüncü vaka). ....	131
Çizelge 21.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (dördüncü vaka). ....	137
Çizelge 22.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Beşinci vaka). ....	141
Çizelge 23.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Altıncı Vaka). ....	145
Çizelge 24.	Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Yedinci Vaka). ....	149
Çizelge 25.	Toplam yer değiştirme sonuçlarının gruplandırılması.....	151



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.	Kepulauan Mentawai Region, Indonesia deprem kaydı.....	60
Şekil 2.	Denali Fay, Alaska deprem kaydı.....	63
Şekil 3.	Sierra El Mayor, Mexico deprem kaydı. ....	64
Şekil 4.	Offshore Northern California, CA deprem kaydı.....	66
Şekil 5.	Offshore Maule, Chile deprem kaydı. ....	68
Şekil 6.	WNW of Ferndale, California deprem kaydı. ....	69
Şekil 7.	San Simeon, CA deprem kaydı.....	71
Şekil 8.	PLAXIS 2D ile Yüklü Zemin Kesiti modeli. ....	72
Şekil 9.	PLAXIS 2D Zemin Modellemesi ve Malzeme Tanımı.....	73
Şekil 10.	Rayleigh Sönümleme Değer Seçimi.....	76
Şekil 11.	Zemin Parametreleri ve Değer Seçimi.....	78
Şekil 12.	Interface Mukavemet Değerinin Seçimi.....	79
Şekil 13.	Dairesel Temel Malzemesinin Oluşturulması. ....	81
Şekil 14.	Statik Yük Sistemi A İçin Dağıtılmış Yük Uygulaması.....	83
Şekil 15.	Deprem Yüklerinin Modellenmesi. ....	84
Şekil 16.	"Fixity" (Sabitlik). ....	85
Şekil 17.	Yatay Sabitlemenin Silinmesi 1 adım. ....	87
Şekil 18.	Yatay ve düşey Sabitlemenin Silinmesi 2 adım. ....	87
Şekil 19.	Dinamik Yük Sistemi Oluşturma ve Tahmin Edilen Yer Değiştirmenin Belirlenmesi.....	88
Şekil 20.	Yer Değiştirme Simülasyonu (Dinamik).....	89

Şekil 21. Plaxis Programında Meshleme. ....	90
Şekil 22. " Su Seviyesi Belirleme".....	92
Şekil 23. " PLAXİS 2D Programında Aktif Gözenek Basıncının Belirlenmesi: Sıfır Değerli Durum" .....	93
Şekil 24. K0 (Başlangıç Efektif Gerilme Oranı).....	94
Şekil 25. Efektif girilme.....	95
Şekil 26. Statik analiz. ....	96
Şekil 27. Statik analiz aktif edilmesi.....	96
Şekil 28. Dinamik analiz aktif edilmesi.....	97
Şekil 29. total multipliers den kırmızı işarete tıklayarak ve load multipliers from data file,Browse tıklayarak deprem kaydı smc uzantısından seçilmesi. ....	97
Şekil 30. Browse tıklayarak deprem kaydı smc uzantısından seçmekten sonra deprem kaydı açılması, deprem süresini kontrol edilmesi.....	98
Şekil 31. (Time interval) de deprem süresi saniye cinsinden yazılması. ....	98
Şekil 32. PLAXİS 2D programında hesaplamalar yaparken belirli bir noktayı seçerek o noktada çeşitli parametreleri hesaplanması. ....	99
Şekil 33. Analizin Yapılması. ....	100
Şekil 34. Kumlu zeminde 2 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	101
Şekil 35. Bakırköy zeminde 5 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	102
Şekil 36. Sultangazi İlçesi 20 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	102
Şekil 37. Silivri ilçesi için 50 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	103
Şekil 38. Büyükçekmece İlçesi için 20 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	103
Şekil 39. Fatih İlçesi için 20 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	104
Şekil 40. Tuzla İlçesi için 2000 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı. ....	104
Şekil 41. Statik yükü 350 kPa olan sığ dairesel temelin yer değiştirmesinin statik analizinin sonucu, her şekilde temel altında farklı zemin bulunmaktadır. "(a) Kumlu zemin vakasında toplam yer değiştirme, b) ZC- Bakırköy İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (c) ZD- Sultangazi İlçesi	

vakasında toplam yer değiştirme, (d) ZC- Silivri İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (e) ZD- Büyükçekmece İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (f) ZC- Fatih İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (g) ZB- Tuzla İlçesi vakasında toplam yer değiştirme. .... 105

Şekil 42. Birinci vaka (Kumlu Zemin) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 109

Şekil 43. İkinci vaka (Bakırköy) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 121

Şekil 44. Şekil 45: Üçüncü vaka (Sultangazi) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 130

Şekil 45. Dördüncü vaka (Silivri) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 136

şekil 46. Beşinci vaka (Büyüķçekmece) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 140

şekil 47. Altıncı vaka (Fatih) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 144

şekil 48. Yedinci vaka (Tuzla) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. .... 148

## I. GİRİŞ

Sismik mühendislik ve geoteknik mühendislik, yapıların deprem kaynaklı yer hareketleri altındaki davranışını anlamada çok önemli roller oynamaktadır. Altta yatan zemin ile doğrudan etkileşime giren sığ temellerin sismik tepkisi, deprem mühendisliğinde önemli bir ilgi konusudur. Bu tez, yer hareketi özelliklerinin, özellikle Pik Yer İvmesi (PGA) ve Pik Yer Hızının (PGV), İstanbul, Türkiye'deki sığ temellerin sismik davranışı üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. PGA, bir deprem sırasında yaşanan maksimum yer ivmesi olarak tanımlanır. Sarsıntının yoğunluğunu ölçer ve hızlanma zaman geçmişinin tepe değerini temsil eder. PGA, yapıların tepkisini ve stabilitesini doğrudan etkilediği için sismik tasarım ve değerlendirmede temel bir parametredir. Farklı konumlardaki PGA değerlerini anlamak, mühendislerin yapıların maruz kalabileceği sismik yükleri belirlemesine yardımcı olur. Benzer şekilde, PGV, bir deprem sırasında ulaşılan maksimum yer hızını ifade eder. Sarsıntı sırasında zeminin hareket ettiği hızı ölçer. Yüksek yer hızları yapılar üzerinde önemli kuvvetlere neden olabileceğinden, PGV yapısal hasar potansiyelini değerlendirmede kritik bir parametredir. Mühendisler, PGV değerlerini dikkate alarak yapıların güvenlik açığını değerlendirebilir ve uygun azaltma stratejileri tasarlayabilir. Bu araştırmanın önemli bir yönü, temel yer değiştirmesinin değerlendirilmesidir. Yer değiştirme, sismik kuvvetler nedeniyle bir yapının veya bileşenlerinin hareketini veya deformasyonunu ifade eder. Sığ temelerde, temel sisteminin yatay ve dikey hareketlerini temsil eder. Aşırı yer değiştirme yapısal göçmeye yol açabileceğinden, temel yer değiştirmesinin değerlendirilmesi, binaların yapısal bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak için esastır. Araştırma, İstanbul'daki sığ temellerin sismik davranışını analiz etmek için Sonlu Elemanlar Metodu'nu (FEM) kullanan PLAXIS 2D yazılımını kullanmaktadır. PLAXIS 2D, temellerin farklı yer hareketi özelliklerine nasıl tepki verdiğinin ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak, zemin-yapı etkileşiminin sayısal modellenmesine ve simülasyonuna izin verir. FEM yaklaşımı,

zeminin ve temel sisteminin karmaşık davranışını göz önünde bulundurarak, temel sismik yüklere tepkisinin doğru tahmin edilmesini sağlar. Bu tezin önemi, temel tasarımı ve sismik risk değerlendirmesi için pratik çıkarımlarında yatmaktadır. PGA ve PGV'nin sığ temeller üzerindeki etkisini araştıran mühendisler, sahaya özgü tasarım parametreleri hakkında bilgiye dayalı kararlar alabilirler. Farklı zemin tiplerinin dinamik davranışlarını ve değişen yer hareketi özelliklerine tepkilerini dikkate alarak temel tasarımının optimize edilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, bu araştırma depreme eğilimli bölgelerde dayanıklı yapıların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Mühendisler, sığ temellerin sismik davranışını anlayarak ve uygun tasarım önlemlerini uygulayarak yapısal performansı artırabilir ve sismik olaylarla ilişkili potansiyel riskleri azaltabilir. Bu çalışmanın sonuçları sığ temellerin sismik analizi, tasarımı ve değerlendirilmesi konusunda çalışan mühendisler için değerli bilgiler sağlamaktadır. Sonuç olarak bu tez, yer hareketi özelliklerinin, özellikle PGA ve PGV'nin sığ temellerin sismik davranışı üzerindeki etkisine odaklanmaktadır. Araştırma, temel yer değiştirmesini inceleyerek ve gelişmiş sayısal modelleme tekniklerini kullanarak, zemin-yapı etkileşiminin anlaşılmasını geliştirmeyi ve yapıların sismik performansını artırmayı amaçlamaktadır. Deprem mühendisliği uygulamalarının ilerlemesine katkıda bulunacak ve sismik bölgelerde daha güvenli ve daha dayanıklı yapıların geliştirilmesini teşvik edecektir.

## II. LİTERATÜR TARAMASI

### A. Literatür Araştırmaları

Sığ temellerin sismik davranışı ve pik değerlerin etkisini araştıran endeksli scopus ve web of science’da taranan doktora tezi ve çeşitli bilimsel makaleler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Bu çalışma, (Dehghanian ,2016) tarafından gerçekleştirilen doktora tezine dayanmaktadır ve  $\gamma_{max}$  (maksimum yerdeğiştirme) parametresinin sığ derinliklerde, derinlik ve PGA (Pik Yer İvme) ile olan ilişkisini incelemektedir. Derinlik arttıkça, bu ilişkinin PGV'ye (Pik Yer Hızı) dönüştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca, geçiş derinliği olarak adlandırılan bir nokta ( $d = (PGV \cdot V_s) / (\sqrt{2} \cdot PGA)$ ),  $\gamma_{max}$ 'in derinliğe bağlı olarak PGA'ya bağlı olduğu noktadır. Ancak bu noktadan sonraki derinlik artışıyla birlikte,  $\gamma_{max}$  PGV'ye bağlı hale gelir. Bu ilişkiler, yeraltı yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılan basit yöntemler için önemlidir ve çevresel jeolojik katmanların deformasyonlarının hesaplanmasına yardımcı olur.

Ayrıca, çalışmanın bir başka amacı, rasgele titreşim teorisi kullanarak maksimum birim makaslama uzaması ( $\gamma_{max}$ ) ile derinlik ve deprem tehlikesi parametreleri arasında bir ilişki geliştirmektir. Yer hareketinin istatistiksel özellikleri güç spektrum yoğunluk fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Tek boyutlu kayma dalga yayılımı denklemleri kullanılarak zemin hareketi genlikleri ve  $\gamma_{max}$  arasındaki ilişki açıklanmıştır. Zemin yüzeyinde kaydedilen ivmeler ve yatay deprem hareketleri, katmanlı jeolojik oluşumların dinamik tepkisi ile karşılaştırılarak teorik sonuçlarla uyumluluk göstermiştir.

Son olarak, çalışmada  $\gamma_{max}$  ile psödospektral ivme gerinlikleri arasındaki ilişki de ele alınmıştır. Bu ilişkiler, yatay tabakalı jeolojik oluşumlarda  $\gamma_{max}$  değerlerinin tahmininde kullanılabilir ve yeraltı yapı tasarımında önemli bir rol oynar. Ancak, lineer olmayan jeolojik katmanlar için eşdeğer lineer yöntemlerle tahminlerin daha muhafazakar olduğu gözlenmiştir.

(Asgari, vd. 2014) tarafından yürütülen çalışma, FLAC 2D yazılımı kullanılarak sayısal simülasyonlar yoluyla sığ temellerin farklı zemin türleri üzerindeki sismik davranışını araştırmayı amaçlamaktadır. Simülasyonlar, plastik/plastik olmayan ince taneli kumları ve bağıl yoğunlukları yaklaşık 30-40% olan siltleri dikkate alır. Zemin tipi, yapı ağırlığı, sıvılaşabilen zemin tabakası kalınlığı ve deprem parametreleri (Mw, PGA, PGV/PGA oranı ve D5-95) dahil olmak üzere çeşitli faktörler, sismik davranış üzerindeki etkilerini anlamak için analiz edilir.

"D5-95" terimi, önemli hareket süresi "significant duration of motion" belirli bir deprem hareketinin karakteristiklerini ifade eder. "D5" kısmı, depremin hareketin başlangıcından sonuna kadar olan süresini temsil eder. "95" ise, depremin yüzde 95'ini ifade eder, yani depremin en güçlü 5%'lik bölümünü temsil eder.

Bu sayılar, deprem hareketinin süresi ve yoğunluğunu tanımlamak için kullanılır. D5-95 değeri, bir depremin etkisi ve enerjisinin nasıl dağıldığını anlamak için jeofiziksel ve deprem mühendisliği çalışmalarında önemlidir. Bu tür bir deprem hareketi analizi, yapıların ve zeminin depreme nasıl tepki verdiğini anlamada yardımcı olabilir.

Simülasyonlar, yığın halindeki kum ve silt katmanlarının kuvvetli sarsıntı sırasında düzensiz dikey ve yatay deformasyonlara maruz kaldığını ortaya koymaktadır.

Aşırı boşluk suyu basıncı ile deformasyonların sismik sıvılaşma potansiyelini tahmin etmede çok önemli bir rol oynadığı bulunmuştur ve bu da sismik iyileştirme tasarımlarında yer değiştirme kriterlerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Çalışma ayrıca, silt ve siltli kumun mekanik özelliklerinin farklı olduğu ve değişen deformasyon davranışlarıyla sonuçlanan parametreler arasındaki karmaşık etkileşimleri de vurgulamaktadır.

Ayrıca, çalışma, plastik davranışın etkilerini araştırarak, faydalı etkilerinin daha yüksek deprem şiddeti ve yapı ağırlığı ile azaldığını göstermektedir. Sıvılaşabilen zeminin kalınlığının, özellikle kuvvetli hareketler sırasında daha ağır yapılarda tepkileri arttırdığı bulunmuştur. Çalışma, sismik tepkileri doğru bir şekilde değerlendirmek ve sıvılaşma ile sıvılaşmama koşulları arasında ayırım



yapmak için yalnızca PGA, PGV/PGA ve D5-95 oranının doğruluğunun yetersiz olduğu sonucuna varmıştır. Ek olarak, güçlü yer hareketi sırasında oturmaların bir göstergesi olarak I Arias'ın kullanılmasının sınırlamaları vurgulanmıştır.

Genel olarak, araştırma, farklı zemin türleri üzerindeki sığ temellerin sismik davranışına ilişkin değerli bilgiler sağlayarak, gelişmiş sismik tasarım ve inşaat uygulamalarına katkıda bulunur.

1-Gevşek siltli kum ve silt, düşük aşırı boşluk suyu basıncı oranına sahip olmasına rağmen önemli deformasyona uğramıştır, bu da yer hareketi olayları sırasında diğer faktörlerin daha büyük bir rol oynamış olabileceğini göstermektedir.

2-Sismik iyileştirme tasarımları, sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörlerinden ziyade yer değiştirme kriterlerine dayanmalıdır.

3-Dikey ve yatay deformasyonlar, yapıların aşırı derecede eğilmesine ve yakındaki yapıların hasar görmesine neden olabilir.

4-Geçirgenlik ve kohezyondan kaynaklanan deformasyonlarda (Siltli kum>silt).

5-Plastik birikintiler depremlerde, ağır binalarda ve kalın sıvılaşabilen zeminde daha az etkilidir.

6-Daha kalın sıvılaşabilen zemin, özellikle ağır yapılarda ve güçlü hareketlerde tepkiyi artırır.

7-PGA, PGV/PGA, D (5-95) sismik davranış/sıvılaşma ayrımını değerlendirmek için yetersizdir.

8- Arias şiddeti arttıkça yanal yer değiştirme artar, ancak kuvvetli hareket sırasında oturmalar için yetersizdir. (Asgari, vd. 2014).

(Ashoori ,2015) değişen yükleme ve zemin koşulları altında sığ temellerin dinamik empedans fonksiyonları üzerine bir çalışma yürütmüştür. Fiziksel modelleme testleri, ana kaya üzerinde sonlu kalınlıkta zemin tabakası bulunan kumlu zemin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen temeller, aynı yüzey alanına sahip kare ve dairesel şekillerin yanı sıra uzunluk-genişlik oranı 2 olan dikdörtgen temelleri içermektedir. Temel şekli, kütle, zemin tabakası kalınlığı, kuvvet genliği ve ana kayanın etkileri üzerinde yatay empedans

incelenmiştir. Çalışma, statik rijitlik değerlerinin zemin tabakası kalınlığı ve temel şekli ile değiştiğini, zemin tabakası kalınlığı azaldıkça rijitliğin arttığını bulmuştur. Ana kayanın varlığı empedans fonksiyonunu önemli ölçüde etkileyerek dalga yansımalarına ve rezonans oluşumuna yol açtı. Çalışma ayrıca, gömme oranının arttırılmasının, empedans fonksiyonunun hem gerçek hem de hayali kısımlarında bir artışa neden olduğunu ortaya koydu. Temelin şekli, empedans fonksiyonunda çok önemli bir rol oynadı ve dairesel temeller, kare temellere kıyasla daha öngörülebilir bir tepki gösterdi. Zemin kalınlığının temelin dinamik tepkisini doğrudan etkilediğini ancak tek belirleyici faktör olmadığını, temel şekli gibi diğer parametrelerin de dikkate alınması gerektiğini vurguladı.

Dinamik yükleme çevrimleri sırasında zemin yer değiştirmesini tahmin etmek için değerli bilgiler sağlamıştır:

1- Statik rijitlik, zemin tabakası kalınlığı azaldıkça artar ve temel şekline göre değişir.

2-Ana kaya, empedans işlevini önemli ölçüde etkiler ve daha fazla dalga yansımalarına ve rezonansa neden olurken, temel ağırlığının çok az etkisi vardır.

3-Gömme oranının arttırılması, empedans fonksiyonunun hem gerçek hem de hayali kısımlarını arttırır, bazen temel şeklinin etkisini aşar.

4-Dairesel temeller, zemin tabakası boyunca dalga yayılımı üzerindeki etkilerinden dolayı kare olanlardan daha öngörülebilir tepkiler sergiler.

5-Zemin kalınlığı doğrudan dinamik yanıtı etkiler, ancak temel şekli gibi diğer faktörler de dikkate alınmalıdır. (Ashoori ,2015).

(Rehan, vd. 2022) çok katmanlı bir zemin profili üzerindeki sığ temellerin oturması üzerine bir çalışma yürütmüştür. Oturma davranışını araştırmak için Plaxis 2D ile sayısal modelleme kullandılar. Çalışma alanı, zeminin şeyl ve kireçtaşıdan oluştuğu Pakistan'ın Sindh, Jamshor bölgesinde bulunuyordu. Yazarlar, yaptıkları analizler sayesinde, kireçtaşı tabakasının kalınlığının artmasının, temel altındaki oturmayı azalttığını bulmuşlardır. Ayrıca, alt tabakanın rijitliğinin sığ temelin oturması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bulgularına dayanarak, çok katmanlı zeminlerde temellerin tasarımında alt katmanı dikkate almanın çok önemli olduğu sonucuna vardılar. Ayrıca, kireçtaşı tabakası daha derinde olsa bile sığ temelin davranışını

hala etkilediğini vurguladılar. Çalışma, oturmayı azaltmak ve temel tasarımı ve inşaatının sağlamlığını ve hizmet verebilirliğini sağlamak için önlemlere duyulan ihtiyacı vurgulayarak sona erdi. Kireçtaşı katmanları şeyl katmanlarındaki deformasyonu azaltır, ancak daha derin kireçtaşı katmanları yine de sığ temel davranışını etkiler. Ekonomik tasarım için alt tabaka sertliği dikkate alınmalıdır. 200 kPa'daki sığ temeller şeylde izin verilen oturma kriterlerini aştı. Çok katmanlı zemin profillerinin çeşitliliği olduğunda, oturmanın en aza indirilir (Rehan, vd. 2022).

(Adamidis, vd. 2016), ardışık sıvılaşma kaynaklı oturma olayları sırasında sığ temellere sahip yapıların tepkisini araştırmak için dinamik santrifüj testlerinden yararlanılmıştır. Deneyle, sıvılaşabilen tabakanın iki farklı derinliğine odaklandı. Temelin genişliğinin 2,5 katına eşdeğer derin bir tabaka ve temelin genişliğine eşit sığ bir tabaka. Sonuçlar, tüm depremlerde büyük oturmaların gözlemlendiğini, ancak temel altında önemli bir zemin yoğunlaşmasının gözlemlenmediğini ortaya koydu. Bu, yapı oturmasını tahmin etmek için zemin yoğunlaşmasına dayanan metodolojilerin doğru sonuçlar vermeyebileceği anlamına gelir. Çalışma iki ana yerleşim mekanizması tanımlamıştır. İlk mekanizma, serbest alanda sıvılaşmış zeminden yanal desteğin kaybı nedeniyle yapının altındaki zemin kolonunun yanal olarak şişmesini içeriyordu. Bu mekanizma, önemli dönme hareketleri olmaksızın yapının oturmasına neden olmuştur. İkinci mekanizma, temelin kenarlarının altında zeminin çevrimsel olarak yüklenmesine neden olan yapının sallanma tepkisini barındırıyordu. Bu mekanizma, temelin kenarlarında yerel kayma şekil değişikliklerine ve zemin yer değiştirmesinden kaynaklanan oturmaya neden oldu. Bu mekanizmaların ortaya çıkışı, temelin gömülmesinden etkilendi ve gömme derinliğine bağlı olarak gözlemlenen farklı yerleşim davranışlarını ortaya koydu. Sıvılaşabilen katmanın derinliği gömme oranını etkilemiştir, sığ olana kıyasla daha derin katmanda gömmenin gerçekleşmesi için daha fazla çevrim gerekir. Çalışma, özellikle sıvılaşma olayları öncesinde, sırasında ve sonrasında gerilme dağılımı açısından, sıvılaşabilen katmanlara dayanan yapıların tepkisini anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğinin altını çizerek sona erdi. Genel olarak, bu çalışma, birbirini izleyen sıvılaşma kaynaklı oturma olaylarına yapıların tepkisi hakkında değerli bilgiler sağlar, gömme ve oturma davranışında

yer alan belirli mekanizmaları dikkate almanın önemini vurgular, (Adamidis, vd. 2016).

(Zeybek, vd. 2020), tarafından yürütülen bu çalışmada, sıralı yer hareketleri sırasında sığ temellerin altındaki kısmen doymuş zeminlerin davranışını incelemeye odaklanıldı. Amaç, deformasyon mekanizmaları ve uyarılmış kısmi doymunluğun etkisi hakkında kapsamlı bir anlayış kazanmaktır. Araştırmacılar, 135 kPa ve 50 kPa taşıma basınçlarına sahip iki farklı sığ temel modeli kullanarak dinamik santrifüj deneyleri gerçekleştirdiler. Bu deneyler, bir hava enjeksiyon tekniği kullanılarak hazırlanan gevşek bir şekilde paketlenmiş kısmen doymuş kum modellerine artan genliklerle üç sıralı sismik simülasyonun uygulanmasını içeriyordu. Çalışmanın bulguları, doymuş kum birikintilerinin müteakip depremlerde sıvılaşma yaşadığını ve temellerde önemli oturmalara neden olduğunu ortaya koydu. Ancak, zemin kısmen doymuş hale geldiğinde daha küçük oturmalar gözlenmiş ve temel gömme seviyesi sınırlı kalmıştır. Ardışık her olay, farklı yer değiştirme mekanizmaları sergiledi. Çalışma, önceki depremlerin, sonraki olaylarda doymuş kum birikintilerinin tepkisi üzerinde bir etkiye sahip olduğu ve temelin gömülmesinin kritik bir faktör olduğu sonucuna varmıştır. Kum birikintilerinin nispi yoğunluğu, ardışık deprem yüklemesi altındaki davranışlarında önemli bir rol oynamıştır, daha yoğun birikintilerde aşırı boşluk basıncı ve oturmalar azalmıştır. Oluşan yerde kısmi doymunluk, sığ temellerin toplam oturmasını ve ilk deprem sırasında oluşan aşırı boşluk basınçlarının büyüklüğünü azaltmada etkili oldu. Kısmen doymuş kum modellerinde yer değiştirme mekanizması daha bölgesel olarak olmuş ve temelin gömülmesi önemsiz bulunmuştur. Ardışık depremler sırasında sığ temellerin altındaki kum davranışının kapsamlı bir şekilde anlaşılması için temel gömülmesinin dikkate alınmasının önemini vurgulandı. Soruna daha kapsamlı bir bakış açısı kazandırmak için gerilme dağılımı ve doymunluk derecesi gibi çeşitli parametrelerin anlaşılmasını geliştirmek için daha fazla araştırma yapılmasını önerdiler.

1-Bu çalışma, sıralı yer hareketleri sırasında sığ temeller altında kısmen doymuş zeminler üzerinde dinamik santrifüj deneylerinin sonuçlarını sunmaktadır.

2-Doymuş kum birikintileri art arda gelen depremlerde birçok kez sıvılaşarak zemin koşullarının iyileştirilmesi gerektiğini gösterir.

3-Doymuş kumun nispi yoğunluğu, sığ temelerde oturmaların azalmasına yol açan yoğunlaşma ile sıralı deprem yüklemesi altındaki davranışını yönetir.

4-İndüklenen kısmi doyumluk, ilk depremde oturmaları ve aşırı boşluk basınçlarını azaltır ve ardışık sismik hareketlerde faydalı etkisi artar.

5-Doymuş kum birikintileri için, önceki depremler sonraki olaylardaki tepkiyi etkiler ve temelin gömülmesi, yönetici bir parametredir.

6-Kısmen doymuş kumlar için, yer değiştirme mekanizması daha lokalizedir ve temelin gömülmesi indüklenen kısmi doyumluk ile azaltılabilir.

7-Çalışma, ardışık depremler altında kum davranışının kapsamlı bir şekilde anlaşılması için temellerin gömülmesinin dikkate alınmasının önemini vurgulamakta ve daha fazla araştırma önermektedir, (Zeybek, vd. 2020).

Kumlu zemin üzerindeki sığ temellerin sismik oturması, deprem eğilimli alanlarda kritik bir husustur. Bu çalışma, (Alzabeebee,2020) 105 sonlu eleman modelini analiz ederek sismik oturma anlayışını geliştirmeyi amaçlamıştır. Temel yükü, bağıl kum yoğunluğu, temel gömülmesi, pik yer ivmesi, zemin kalınlığı ve depremin baskın (hakim) frekansı dahil olmak üzere çeşitli parametrelerin sismik oturma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bulgular birkaç önemli sonucu ortaya çıkardı:

Artan temel yükü ve en yüksek yer ivmesi sismik oturmayı önemli ölçüde artırırken, artan gömme derinliği azaltmıştır.

Zemin kalınlığı ile sismik oturma arasındaki ilişki karmaşıktı ve bağıl yoğunluğa bağlı olarak değişiyordu. Kumun bağıl yoğunluğu, zemin kalınlığı ve oturma arasındaki etkileşimi belirlemiştir.

Sonlu elemanlar analizi kullanılarak hesaplanan statik taşıma kapasitesi, %94'lük bir bağıl yoğunluk için Hansen taşıma kapasitesi faktörleri dışında genellikle Terzaghi kapalı biçimli çözümüne tutarlıydı.

Temel tarafından taşınan yüzey yükü, oturmanın artmasına neden olan daha yüksek yükler ile sismik oturmada önemli bir rol oynamıştır. Yüzey yükünün etkisi, daha yüksek bağıl yoğunluklarla daha belirgin hale geldi.

Temelin gömme derinliğinin sismik oturmayı azaltmada gözle görülür bir etkisi olmuştur. Oturmayı en aza indirmek için temelin doğal zemin yüzeyinin altına yerleştirilmesi önerildi.

Pik yer ivmesinin arttırılması, tüm bağıl yoğunluklar için doğrusal olmayan şekilde sismik oturmayı arttırdı. Pik yer ivmesinin etkisi, daha yüksek bağıl yoğunluklarda daha belirgindi.

Sismik oturma, zemin kalınlığından etkilenmiştir, ancak ilişki karmaşıktır ve tüm bağıl yoğunluklar için belirli bir eğilim izlememiştir. Kum kalınlığındaki artış, sıkıştırılabilir tabakadaki değişiklikler ve histeretik sönüm bağımlılığı gibi faktörler, ivme amplifikasyonunu etkileyen karmaşıklığa katkıda bulunmuştur.

Doğal frekans ve baskın (hakim) frekans, sismik oturmanın hesaplanmasında çok önemli parametrelerdir. Rezonans etkileri nedeniyle hakim frekans doğal frekansa yaklaştığında yerleşim önemli ölçüde arttı. Temelin yükleme durumu ve gelecekteki depremlerin beklenen hakim frekansı, oturmanın doğru bir şekilde tahmin edilmesi için dikkatle değerlendirilmelidir.

Bu araştırma, analitik yöntemlerin geliştirilmesine katkıda bulunur ve sığ temellerin sismik oturma analizinde yer alan tasarımcılar ve uygulayıcılar için değerli bilgiler ve veriler sağlar.

(Barrios, vd. 2020), Bu araştırma, düşük sınırlandırma basıncına sahip doymuş kum üzerindeki birbirine yakın sığ temellerin dinamik tepkisine odaklanmaktadır. Zemin-temel etkileşimini simüle etmek için bir vibrasyon masası üzerinde kumla doldurulmuş büyük bir laminar kutu kullanılarak fiziksel deneyler yapıldı. Yer altı ivmesi, aşırı boşluk basıncı ve temel ivmesi için ölçümler yapılmıştır. Çalışma, bağımsız bir temel, sallama eksenine hizalanmış bitişik üç temel ve altı temelden oluşan bir kümeyi inceledi. Harmonik dalgalar ve sismik yer hareketlerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar, temellerin sayısına ve konumuna bağlı olarak temellerin ve kumun tepkisinde değişiklikler olduğunu ortaya koydu. Kısmen drenaj yolunun uzunluğundan etkilenen aşırı boşluk basıncında değişiklik gözlemlendi. Bağımsız temelin ivmesi, sarsma tablasının

ivmesinden daha yüksekti. Ancak, temel sayısı arttıkça temellerin ivmesi azaldı. Sığ temellerin, doymuş kum altındaki davranışı üzerindeki etkisi, kumla doldurulmuş büyük bir laminer kutu kullanılarak 1 g'lik bir sarsma tablası üzerinde incelenmiştir. Farklı temel konfigürasyonları, hem harmonik titreşimlerle hem de kayıtlı sismik yer hareketleri ile test edilmiş ve zeminin ivmesi, boşluk basıncı ve kayma deformasyonu için ölçümler alınmıştır. Çalışmadan elde edilen gözlemler şu şekildedir:

Aşırı boşluk basıncı oluşumu, düşük ivmelerde ve düşük sınırlandırma seviyelerinde minimum düzeydeydi, bu da sismik drenajın önemini vurgulamaktadır. Kumun harmonik yükler altındaki tepkisi, "akma sıvılaşması" yerine "çevrimsel hareketlilik" ile daha uyumlu olarak kabul edilebilirken, kaydedilen yer hareketleri "akma sıvılaşması" özelliklerini sergilemiştir.

Temellerin zemindeki drenajı azaltması,  $u_{ex}$  v/s  $\gamma$  (aşırı boşluk basıncı ve hacim yatay değişim oranı) eğrilerinin değişimine neden olur. Bu azalma, temel sayısının artmasıyla daha belirgin hale gelir.

Temellerdeki maksimum ivme, özellikle tek başına temeller için sarsma tablasına kıyasla önemli bir büyüme göstermiştir, ancak oturma kaynaklı yoğunlaşma nedeniyle daha fazla temel ile büyüme azalmıştır. Aşırı boşluk basıncı ve ivme büyütmesi, temel hareketinin ivmesine, frekans içeriğine ve temellerden etkilenen drenaj yolunun uzunluğuna bağlıdır.

Bu çalışma, sığ temellerin doymuş kumlu zemin üzerindeki davranışını karakterize etmek için zemin özelliklerini, temellerin sayısını ve konumunu dikkate almanın önemini vurgulamaktadır. Her değişkenin bireysel etkilerini izole etmek ve ölçmek zor olabilir. (Barrios, vd. 2020).

(Hasheminezhad, vd. 2019), derin zemin karıştırma (DSM) kolonları ile iyileştirilen sıvılaşabilir zeminler üzerindeki sığ temellerin sismik tepkisine odaklandı. Çalışma, FLAC3D yazılımında uygulanan üç boyutlu sonlu farklar modelini (3D Finite Difference Model) kullanır. Modelin geçerliliği literatürdeki sayısal çalışmalar ve deneysel santrifüj testleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Parametrik çalışma, sismik davranış üzerindeki etkilerini anlamak için DSM'ler ve sığ temellerle ilgili çeşitli değişkenleri araştırır. Araştırmanın önemli bulguları şöyledir:

Sıvılaşılabilen bir zeminde tek bir DSM üzerine sığ temel: DSM çapının ve DSM'ye olan uzaklığının arttırılması sıvılaşma riskini azaltır. Tekli DSM'nin performansı, artan derinlikle artar ve daha büyük bir DSM çapı, sismik taşıma kapasitesini artırır.

Sıvılaşılabilen zeminde DSM grubu üzeri sığ temel: DSM grubunda kolonlar arası mesafenin artırılması sıvılaşma riskinin azaltılmasında etkinliği artırır. Grup DSM'leri ayrı ayrı çalışır ve kolonlar arasındaki mesafenin artırılması grup etkisini ortadan kaldırır. Grup modunda, daha büyük DSM çapları sıvılaşma riskini azaltır ve sismik taşıma kapasitesini artırır.

Sığ temel özellikleri: Temel genişliğini artırmak, DSM çevresindeki aşırı boşluk suyu basıncını (EPWP) azaltır. Daha geniş temeller daha yüksek sismik taşıma kapasitesine, ancak daha düşük oturmaya sahiptir. Sığ temelin gömülü derinliğinin artması EPWP'yi ve sismik taşıma kapasitesini artırırken oturmayı azaltır. Temel kalınlığını artırmak EPWP'yi azaltır, ancak taşıma gücü üzerindeki etkisi sınırlıdır.

Sonuçlar, DSM kolonlarının kullanılmasıyla sıvılaşmanın sığ temeller üzerindeki zararlı etkilerinin hafifletilmesinin ve sıvılaşılabilen zeminlerde t Uygun sismik performans elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bulgular, sıvılaşılabilen zeminler üzerindeki DSM kolonlu sığ temelleri içeren mühendislik uygulamaları için pratik çıkarımlara sahiptir.

(Bahadori, vd. 2020) tarafından yürütülen çalışma, sığ temelerde sıvılaşmayı azaltmak için karşı önlemler olarak geosentetiklerin, özellikle geokompozitlerin ve geogridlerin kullanımına odaklanmaktadır. Araştırma, sıvılaşılabilen zeminin üzerine inşa edilmiş dört katlı bir bina temelini simüle eden bir dizi 1 g'lık vibrasyon masası testini içeriyordu. Geosentetiklerin performansı, göçme mekanizmalarına, temel ve geosentetiklerin oturmasına ve boşluk suyu basıncı oluşumundaki eğilimlere dayalı olarak değerlendirilmiştir. Göçme mekanizması bir dijital kamera kullanılarak gözlemlendi ve renkli bir kum ağı aracılığıyla analiz edildi. Deneysel sonuçlar, göçme modu öncelikle boşluk suyu basıncı tarafından kontrol edildiğinden ve geogridlerden etkilenmediğinden, geogridlerin oturmayı azaltmada ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Geokompozitlerin ise geçirimsiz özelliklerinden dolayı oturmayı



azaltmada etkili olduğu görülmüştür. Zeminler iki geokompozit levha arasına sıkıştırıldığında oturmanın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, geokompozitlerin genel performansı yetersiz olarak kabul edildi.

Sığ bir temelin kuvvetli hareket sırasında doymuş kumlu zemin üzerinde oturması iki aşamada gerçekleşir:

Sıvılaşmanın neden olduğu derin derinliklerdeki zemin hareketinden kaynaklanan oturma ve yüzey zemininin taşıma kapasitesinin azalması nedeniyle temelin zemine batması. Çalışma, sıvılaşmanın öncelikle temelin altındaki orta derinliklerde meydana geldiğini, doğrudan temelin altında veya modelin altında sıvılaşmanın gözlenmediğini ortaya koydu. Geokompozit ile güçlendirilmiş kumu, sığ derinliklerde daha düşük aşırı boşluk suyu basıncı oranlarıyla sonuçlanmıştır, ancak deformasyon modelini değiştirmemiştir. Bunun yerine, temelin kenarlarındaki yüzey kabarmasını azalttı veya ortadan kaldırdı. Sıvılaşma bölgesindeki geosentetik donatı, zemin hareketini kısıtlamış ve zeminin sıvılaşmaya karşı direncini arttırmış, böylece yüzey oturmasını geciktirmiş ve azaltmıştır. Benzer şekilde, sıvılaşma bölgesinin altına geokompozit ile güçlendirilmiş kumu uygulanması zeminin sıvılaşmaya karşı direncini artırmış ve oturmayı azaltmıştır. İki tip geosentetik karşılaştırıldığında, geokompozitlerin sıvılaşabilen zeminlerde geogridlere göre daha iyi bir güçlendirme (iyileştirme) malzemesi olduğu görülmüştür. Çalışma ayrıca, her test sırasında uygulanan enerjinin hesaplanmasına izin veren CIE adlı yeni bir parametreyi de tanıttı. Sonuçlar, doymuş kumun geokompozitlerle güçlendirilmesinin, temelin oturması için işlenmemiş (örselenmemiş, ham) bir modele veya geogrid elemanlarla güçlendirilmiş modele kıyasla daha fazla enerji gerektirdiğini göstermiştir. Zeminin geokompozit ile yoğun bir şekilde güçlendirilmesi, daha derin derinliklerde oturmayı önemli ölçüde azaltırken, yüzey zemininin taşıma kapasitesini artırmadı. Bu nedenle temelin zemine batması sonucu oluşan oturmaları azaltamamıştır. Tersine, zeminin geogrid ile güçlendirilmesi, özellikle daha derin derinliklerde, sıvılaşmanın neden olduğu oturmayı azaltmada önemsiz bir etkiye sahipti. Bunun nedeni, göçme modunun, geogridlerden etkilenmeyen daha derin derinliklerde oluşan boşluk suyu basıncı tarafından kontrol edilmesidir. Çalışma, tek başına geosentetiklerin sıvılaşabilen zeminlerde oturmayı yeterince kontrol edemediği sonucuna varmıştır. Çalışma ayrıca,

uygulanan yöntemin daha derin derinliklerde zemin hareket modelini değiştirebileceğini ve oturmayı sınırlayabileceğini vurguladı. Ancak çevrimsel hareketin neden olduğu zemin yumuşama davranışını değiştiremez. Bu gibi durumlarda temel, sıvılaşabilen zeminin derin yenilmesinden ziyade sığ zemindeki taşıma kapasitesinin kaybı nedeniyle oturmaktadır. Bu nedenle, deprem sonrası kayma dayanımı parametrelerine dayalı temeller tasarlanırken bu yöntem daha etkili olabilir.

(Borghei, vd. 2020) 'de dinamik santrifüj deneyleri yoluyla yeraltı suyu tablası derinliğinin siltli kumun sismik yükleme altındaki davranışı üzerindeki etkisini araştırmaya odaklandı.

Araştırmacılar, yaklaşık 3,5 m genişliğinde bir yüzey temelini temsil eden fiziksel bir model tasarladı ve inşa etti. Deneyler, zemin örneklerinin bir dizi ölçekli deprem hareketine tabi tutulmasını içeriyordu. Üç farklı test koşulu göz önünde bulundurulmuştur: kuru zemin, doymuş zemin ve yeraltı suyu tablası zemin yüzeyinin altına yerleştirilmiş zemin. Zemin örnekleri laminar bir kaptaki hazırlanmış ve yeraltı suyu tablasının derinliği kılcal yükselme yöntemi kullanılarak kontrol edilmiştir. Yazarlar, dinamik santrifüj deneyleri aracılığıyla, farklı test koşulları için sismik zemin oturmalarını ve maksimum yanal deformasyonları değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı amaçladılar.

Çalışmanın bulguları, sismik yükleme altındaki zemin davranışının yeraltı suyu tablasının derinliğinden etkilendiğini göstermiştir. Kuru ve doymuş zemin numuneleri arasındaki karşılaştırmalar, serbest alanda ve temel altındaki sismik zemin oturmalarının, yeraltı suyu tablası zemin yüzeyinin altında konumlandığında daha küçük olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, zeminde gözlemlenen maksimum yanal deformasyonlar hem kuru hem de doymuş zemin tabakalarına kıyasla doymamış durumda azalmıştır. Bu sonuçlar, zemin yüzeyinin altında bir yeraltı suyu tablasının varlığının, zeminin sismik hareketlere dirençli bir tepki vermesine yol açtığını göstermektedir.

Yüzeyin altında bir yeraltı suyu tablasına sahip zemin için zemin oturmalarında ve yanal deformasyonlarda gözlemlenen azalmanın, geoteknik mühendislik uygulamaları için önemli etkileri vardır. Mühendisler ve

tasarımcılar, zemin birikintilerinin sismik tepkisini değerlendirirken yeraltı suyu koşullarını dikkate almaktan yararlanabilirler.

Bulgular, bir yeraltı suyu tablasının varlığının, siltli kumun sismik yüklemeye altında daha olumlu bir davranış sergilemesine katkıda bulunabileceğini, potansiyel olarak yapıların performansını olumsuz etkileyebilecek aşırı oturma ve yanal deformasyon riskini azaltabileceğini göstermektedir. (Borghei, vd. 2020).

yapılan çalışma, yeraltı suyu tablası derinliğinin sismik zemin davranışı üzerindeki etkisine dair değerli bilgiler sağlarken, bazı sınırlamalar kabul edilmelidir. Araştırma, özellikle siltli kum ve belirli bir genişliğe sahip bir yüzey temeli üzerine odaklandı. Bu nedenle, bulguların diğer zemin türleri ve temel konfigürasyonlarına genelleştirilmesine dikkatle yaklaşılmalıdır. Ayrıca çalışmada öncelikle zeminin ölçekli gerçekçi deprem hareketleri altındaki davranışı incelenmiştir. Gelecekteki araştırmalar, daha geniş bir sismik girdi yelpazesini keşfedebilir ve yeraltı suyu koşullarının sismik zemin tepkisi üzerindeki etkisine ilişkin anlayışımızı daha da geliştirmek için farklı zemin türlerini göz önünde bulundurabilir.

(Pakdel, vd. 2019) çalışması, anizotropik depozitler üzerindeki sığ temellerin deprem taşıma kapasitesi faktörü üzerindeki etkiyi incelemiştir. Araştırmada, yarı-statik ve yarı-dinamik deprem yüklemesi yaklaşımları kullanılarak basitleştirilmiş Coulomb göçme (kırılma) mekanizması varsayılmış ve analiz yöntemi olarak sınırlı denge formülasyonu kullanılmıştır.

Araştırmanın sonuçları, iki yaklaşımın da deprem taşıma kapasitesi faktörünün anizotropi derecesi ve deprem ivmeleri arttıkça azaldığını göstermektedir. Bununla birlikte, yarı-dinamik deprem yüklemesi yaklaşımının, anizotropik zemin depozitleri üzerinde yer alan temeller için yüksek taşıma kapasitesi tahminleri sağladığı gösterilmiştir. Her iki yaklaşım için de üzerinde yer alan sığ temelin taşıma kapasitesi belirli bir temel hareketliliğinden sonra kaybedilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, diğer araştırmacıların bulgularıyla iyi bir uyum içerisindedir ve grafikler ve Çizelgeler şeklinde sunulmuştur. Anizotropik iç sürtünme açısının deprem taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve deprem ivmelerinin azalmasıyla taşıma kapasitesinin azaldığı ortaya konulmuştur.

Ayrıca, yarı-dinamik yaklaşımın yarı-statik yaklaşıma göre daha yüksek taşıma kapasitesi tahminleri sağladığı belirtilmiştir.

Bu çalışma, anizotropik zemin depozitlerinde yer alan sığ temellerin deprem taşıma kapasitesi tahminine ilişkin önemli bulgular sunmaktadır. Geoteknik mühendislerin seismik açıdan aktif bölgelerde yapıların tasarımı ve analizinde anizotropinin etkisini anlamalarına katkı sağlamaktadır, (Pakdel, vd. 2019).

(Ayoubi, vd. 2017), tarafından yürütülen çalışmada, deprem yükü altında iki tabakalı zemin altı tabakaları üzerindeki sığ temellerin oturması üzerinde durulmuştur. Farklı parametrelerin sığ temel oturması üzerindeki etkisini araştırmak için 3B dinamik tam birleştirilmiş u-p analizi kullanarak sayısal bir analiz gerçekleştirdiler.

Yazarlar, araştırma bulgularına dayanarak, sığ temellerin yerleşime ilişkin performansına ilişkin çeşitli sonuçlara varmışlardır:

1-Sığ temel altındaki oturma, öncelikle yapının ağırlığından dolayı, serbest alandaki oturmaya göre daha fazladır.

2-Derinde yoğun bir tabakanın varlığı, oturmanın hafifletilmesi açısından temelin performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir.

3-Üst zemin tabakası yoğun olduğunda, sıvılaşma kaynaklı oturma, yoğun tabakanın artan derinliği ile doğrusal olarak azalır. Boru hatları gibi yer altı tesisatlarının maksimum oturmanın meydana geldiği arayüz seviyesinde yerleştirilmesi tavsiye edilmez.

4-Sıvılaşmaya bağlı oturma genellikle temelin genişliği ile artar. Temel, yoğun sıvılaşmayan bir tabaka üzerinde sıvılaşabilen gevşek bir tabaka üzerine oturuyorsa, oturma, yoğun tabakanın üstte olduğu duruma göre daha fazladır.

5-Hem Pik Yer İvmesi (PGA) hem de temas basıncı, sıvılaşma kaynaklı oturma üzerinde artan etkilere sahiptir. Bununla birlikte, PGA'nın etkisi, gevşek tabaka altta olduğunda daha belirgin görünmektedir.

Buna ek olarak, yazarlar, iki katmanlı alt zemin üzerindeki sığ temellerin sıvılaşmaya bağlı oturmasını tahmin etmek için ampirik bir ilişki önermişlerdir. Bu ilişki, özellikle Nevada kumuna benzer özelliklere sahip zeminler için tasarım amaçları için kullanılabilir.

Genel olarak, (Al-Ayoubi, vd. 2017) tarafından yapılan çalışma, sığ temellerin deprem yükü altındaki davranışları hakkında bilgi vermekte ve performanslarını iyileştirmek ve oturma sorunlarını azaltmak için öneriler sunmaktadır.

(Hakro, vd. 2022), sığ temellerin farklı zemin koşulları, yükleme ve doyma dereceleri altındaki oturma davranışını tahmin etmek için PLAXIS 2D kullanarak sonlu elemanlar araştırması yürüttüler. Aşağıdaki sonuçları buldular:

Oturma, artan zemin sertliği ile azalır ve yükleme yoğunluğu ile artar.

Altta bir kireçtaşı tabakasının varlığı, sığ temellerin oturmasını önemli ölçüde azaltır.

Oturma, boşluk basıncını yükselten ve kayma mukavemetini azaltan daha yüksek doyma dereceleriyle artar.

Artan matriks emme (zemin emmesi) ile temelin kabarması ve ardından oturma meydana gelir.

Sığ temel tasarımında zaman içinde su koşullarından dolayı matris emişindeki değişiklikler dikkate alınmalıdır.

Zemin koşulları doymuştan doymamışa değiştiğinde temel kabarması meydana gelebilir.

Değişen su koşullarının etkilerini en aza indirmek için temeller için uygun drenaj sistemleri sağlanmalıdır.

Özet olarak, çalışma sığ temellerin oturma ve kabarma davranışını belirlemede zemin sertliğinin, yükleme yoğunluğunun, doyma derecesinin ve uygun drenajın önemini vurgulamaktadır.

(Toh, vd. 2011), doyma kil ile desteklenen sığ temellerin deprem tepkisini incelediler. Zemin değişkenliğinin sığ temel üzerindeki deprem tepkisine etkisini araştırdılar. Yedi farklı deprem kaydının, NZS1170'te verilen tehlike spektrumuna ölçeklendirilerek basit bir yapı-temel sisteminin tepkisini hesaplayarak, zemin değişkenliğinin sığ temele etkilerini, maksimum etkiler, sistem doğal periyodu ve kalıcı temel yer değiştirmeleri açısından gösterdiler. Çalışma, zemin değişkenliğinin, hesaplanan kalıcı temel yer değiştirmeleri üzerindeki etkisinin, ölçeklenmiş deprem kayıtlarındaki varyasyonların daha

büyük bir etkisi olduğunu sonucuna vardı. Performansa dayalı tasarım yaklaşımındaki temel kriterler temel yer değiştirmeleridir. Yapılan hesaplamalar, bu senaryoda zemin değişkenliğinin hesaplanan maksimum plastik temel yer değiştirmeleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını gösteriyor. Tipik zemin değişkenliğinin büyüklüğü ve aralığı çoğu durumda kabul edilebilir olmalıdır; yalnızca çok yüksek zemin değişkenliği ve düşük bir statik güvenlik faktörü durumunda, zemin değişkenliğinin yer değiştirmeler üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülüyor. Ayrıca, hesaplamalar, deprem hareketinin değişkenliğinin kalıcı yer değiştirmeler üzerinde çok daha büyük bir etkisi olduğunu gösteriyor. Zemin mukavemetindeki değişkenlik, diğer sistem tepkileri için de bir sorun teşkil eder, örneğin temel periyodu, temel etkileri ve spektral ivme. Bununla birlikte, doğal zemin değişkenliği, hangi tasarım yaklaşımının benimsendiğine bakılmaksızın var olacaktır; bu nedenle zemin değişkenliği, sığ temellerin performansa dayalı tasarımını engellemek için bir neden değildir. Aslında, performansa dayalı bir yaklaşım, sığ temellerin zemin değişkenliği etkileri ile daha etkili ve uygun bir şekilde başa çıkmasına izin verebilir. Örneğin, düşük olasılıklı zemin koşulları için tasarlanmış bir temel, daha küçük bir temel boyutuna yol açabilir, böylece yük taşıma kapasitesi aşılmaz. Daha küçük temel, zemin-temel-yapı sisteminin temel periyodunu artırabilir ve potansiyel olarak temel ve yapısal etkileri azaltabilir, (Toh, vd. 2011).

(Hakro, vd. 2022), çok katmanlı bir zemin profili üzerindeki sığ temellerin oturma davranışları üzerine bir çalışma yürüttüler. Farklı zemin katmanlarının, özellikle şeyl ve kireçtaşının temel oturması üzerindeki etkilerini araştırmak için hem deneysel hem de sayısal yöntemler kullandılar. Çalışma, Pakistan'daki Jamshoro bölgesine odaklandı ve çok katmanlı zeminler üzerinde temel tasarlama konusunda bilgi kazandırmayı amaçladı.

Yazarların ulaştığı sonuçlar şunları içerir:

- 1- Daha düşük bir kireçtaşı tabakasının varlığı, temel tasarımındaki önemini gösterecek şekilde, temel altındaki oturmayı önemli ölçüde azaltabilir.
- 2- Daha derin kireçtaşı katmanları da sığ temel davranışını etkileyerek deformasyon ve oturmayı etkiler.

- 3- Düşük maliyetli ve ekonomik temel tasarımı için alt tabakanın, özellikle kireçtaşının sertliği dikkate alınmalıdır.
- 4- Sığ temellerin oturması, 200 kPa gibi nispeten düşük yüklerde bile şeyilde izin verilen oturma kriterlerini aşabilir.

Genel olarak, çalışma sığ temel tasarımı ve inşasında uygun oturma performansı elde etmek için farklı zemin katmanlarının, özellikle kireçtaşının özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

(Heron, vd. 2014), temel izolasyon yöntemlerinin performansı ve etkileri incelemiştir. Sığ temellerin zeminle etkileşimini araştırmak amacıyla iki farklı izolasyon yöntemini çalışmışlardır.

#### Araştırmanın Sonuçları:

##### 1. Zemin Altında Sırt Oluşturma Yöntemi:

- İlk deprem sırasında, temelin altında sırt oluşturmanın üst yapıya iletilen enerjiyi azalttığı gözlenmiştir. Ancak, bu sırtların ilk depremde tahrip olması, sonraki sarsıntılarda olumlu sonuçların görülmediğini göstermiştir.
- Tek depremlik faydalılığı ve aşırı yer değiştirmeler, bu yöntemi gelecekteki potansiyel bir deprem koruma yöntemi olarak kullanmayı uygun göstermemektedir.

##### 2. Kum Dolu Borular Yöntemi:

- Kumla doldurulmuş borular, sürekli olarak yapıya iletilen enerjiyi azaltarak üstünde bulunan yapı giriş ivme amplifikasyonunu %44 oranında azaltmıştır.
- Aşırı yer değiştirmeler olmamış ve borular, sonraki depremler sırasında da koruma sağlamıştır.
- Bu yöntemin, sığ temeller üzerindeki yapılara yönelik aşırı dinamik yüklemekten daha verimli, daha ucuz ve daha kolay uygulanabilir bir yöntem olarak daha fazla araştırılmaya değer olduğu önerilmektedir.

Çalışma, temel izolasyon yöntemlerinin performansını ve etkilerini değerlendirmiştir. Sırt oluşturma yönteminin tek depremlik etkisi düşük olup uzun vadeli faydalar sağlamamıştır. Kum dolu borular yöntemi ise sürekli olarak enerji iletimini azaltmış ve yapıya koruma sağlamıştır. Bu nedenle kum dolu borular yöntemi daha etkili bir izolasyon yöntemi olarak değerlendirilmektedir, (Heron, vd. 2014).

(SALL, vd. 2019), sığ temeller için zemin-yapı etkileşimini incelemiştir. Temel zeminlerini karakterize etmiş ve Optum G2 yazılımını kullanarak homojen ve tabakalı zemin kütlelerinde farklı türde yüzeysel temellerin modellemesini yapmışlardır. Parametrik bir çalışma gerçekleştirmişler, elastisite modülü, iç sürtünme açısı, kohezyon, Poisson oranı ve göçme kriterini değiştirerek bu özelliklerin temel davranışı üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir.

Sonuçları şunlardır:

1. Elastisite modülü arttıkça kil daha sert ve daha çekilebilir hale gelir, kilin çekilme yeteneği arttıkça deformasyon azalır.

2. Düşük young modülü, konsolidasyon analizinde daha sıkışabilir bir malzemeyi gösterir ve bu durum malzemenin konsolidasyon durumuna bağlıdır.

3. Poisson oranının deformasyonlar üzerinde sınırlı etkisi vardır, ancak zeminin kayma modülünü etkiler.

4. Mohr-Coulomb modeli, Tresca ve AUS modellerine göre zemin göçmesi için daha yüksek kayma gerilme öngörür, bu da kil davranışının daha geniş kapsamlı olarak incelenmesi için daha uygun olduğunu gösterir.

5. Davranış yasası, içsel özellikler (kohezyon, elastisite modülü, kırılma kriteri, sürtünme açısı) ve zemin litolojisi yapının çökme veya hasar görmesi şeklini belirler.

Özetle, çalışmaları, çeşitli koşullar altında sığ temellerin davranışını anlamak ve tahmin etmek için zemin özelliklerinin ve yapısal modellerin önemini vurgulamaktadır, (SALL, vd. 2019).

"(Dimitriadi, vd. 2017) tarafından yürütülen çalışmada, sıvılaştırılabilir zeminler üzerine sığ temel kullanımının uygun zemin iyileştirmesi yapıldıktan sonra değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma, sıvılaştırılabilir zemin



tabakasının tamamının, derinliğine veya kalınlığına bakılmaksızın, temel altında iyileştirilmesinin yaygın bir uygulama olduğunu ifade etmektedir. Araştırma, sıvılaştırılabilir alt tabakadan oluşan ve üstünde geçirgen bir tabaka bulunan iki katmanlı bir zemin profili üzerinde bulunan şerit temellerin depremsel performansını incelemiştir. Tabaka, sarsıntı sırasında önemli ölçüde fazla gözenek basıncı geliştirmez ve altındaki sıvılaştırılmış kumağa göre daha güçlü ve serttir. Bu çalışma, tamamen uyumlu dinamik sonlu fark analizleri aracılığıyla incelenmiştir. İnceleme, geçirgen olmayan tabaka ile sıvılaştırılabilir kum üzerindeki yüzey şerit temellerinin depremsel performansını değerlendirmektedir.

Problemin analizi sayısal olarak yapılmış ve çoklu değişkenli ilişkiler seti geliştirilmiştir. Bu ilişkiler, deprem sonrası bozulmuş taşıma kapasitesi ve dinamik yer değiştirmelerin yaklaşık değerlendirmesi için kullanılmıştır.

Şerit temelin dinamik yer değiştirmeleri, sarsıntı sırasında yanal kayma nedeniyle temelin her iki tarafında art arda gelen yüzey kaymalarının bir sonucu olarak doğrusal olarak birikir.

Sonuç olarak, (Dimitriadi, vd.2017), sıvılaştırılabilir kum üzerinde geçirgen olmayan bir tabaka ile desteklenen şerit temellerin depremsel performansını incelemiş ve şunları bulmuşlardır:

Geçirgen olmayan tabaka kalınlığı arttıkça taşıma kapasitesi artar.

İki taraflı geçirgen olmayan tabakalı temelerde yer değiştirme azalırken, tek taraflı geçirgen olmayan tabakalı temelerde yer değiştirme artar.

Dinamik yer değiştirmeler, uygulanan sarsıntı özelliklerine (maksimum ivme, titreşim periyodu, çevrim sayısı) ve temel zemin periyoduna bağlıdır.

Çalışmanın yöntemi: FLAC yazılımı kullanılarak iki boyutlu dinamik analiz yapılması. Zemin davranışının NTUA-SAND modeli ile, iyileştirilmiş tabakanın ise bu modele dayalı olarak temsil edilmesi. Geçirgen tabakanın altında meydana gelen sıvılaştırma etkisinin taşıma kapasitesinin düşmesi ve dinamik yer değiştirmelerin yaklaşık değerlendirmesi için çok değişkenli ilişkilerin oluşturulması.

Bu metodolojinin sıvılaştırılabilir kum üzerine geçirgen olmayan tabakalı yüzeysel şerit temellerin deprem performansının tasarımı için kullanılabileceğini,

ancak bu yöntemin yaklaşık olduğunu ve doğruluğunun kesin sayısal analizlere göre sınırlı olduğunu belirtmişlerdir.

(Somma, vd.2021) "Yanal Bağlantısızlık" adlı bir geoteknik deprem izolasyon tekniğinin etkilerini incelemek amacıyla sayısal bir çalışma gerçekleştirildi. Araştırmacılar, gömülü sığ temellerin çevresel zemine olan etkilerini karşılaştırmak için iki boyutlu sonlu eleman modelleri geliştirdiler. Yapı özellikleri (dominant titreşim periyodu, boy-en oranı), temel gömülmesi ve zemin karakteristikleri gibi değişkenleri çeşitlendirdiler.

Araştırma sonuçları, "Yanal Bağlantısızlık" tekniğinin, dönme ve translasyonel temel-zemin rijitliğini azaltarak titreşim periyodunu geleneksel gömülü temellere göre artırdığını gösterdi. Periyodun uzunluğu, temel boy-en oranı ve zemin rijitliği gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Belirli koşullar altında, bu tekniğin titreşim periyodunu %45-50 oranında artırabileceği tespit edildi.

Ayrıca, çalışma, bu tekniğin deprem etkilerini etkili bir şekilde azalttığını gösterdi, özellikle maksimum toplam ivme azalması ve Arias Yoğunluğu azalması açısından önemli iyileştirmeler sağlayabileceğini gösterdi, hatta %60'a kadar azalma sağlayabilir. "Yanal Bağlantısızlık" tekniği tam anlamıyla lastik veya kayar izolatörler gibi tam bir deprem izolasyonu sağlamasa da, binaya düşük maliyetli bir deprem koruma stratejisi sunmaktadır.

Sonuç olarak, araştırmacılar, "Yanal Bağlantısızlık" tekniğinin yapıların üzerindeki deprem etkilerini azaltma potansiyelini gösterdiler. Bu tekniğin titreşim periyodunu artırabileceğini ve ivme ile kaymayı önemli ölçüde azaltabileceğini ortaya koydular. Ancak, uygulama etkinliğini sağlamak için yerel deprem koşulları ve temel özellikleri dikkatle değerlendirilmelidir.

(ELGAMAL, vd.2005) Kalibre edilmiş Sonlu Eleman (SE) simülasyonları, giderek daha güvenilir bir ortam sağlamakta ve sınılaşma kaynaklı yer değiştirmenin modellenmesi için kullanılmaktadır. Temeller üzerindeki etkiler ve üst yapılar, birleşik bir çerçeve içinde değerlendirilebilir ve ilişkilendirilmiş düzeltme teknikleri araştırılabilir. Bu tür bir SE çerçevesinin mevcut avantajları, basit bir üç boyutlu (3B) simülasyon serisi ile gösterilmektedir. Zemin sınılaşması ve bir yüzey yükünün etkisi altında yer değiştirme araştırılmıştır. Sınılaşma

tehlikesi azaltma, zemin sıkıştırması ve/veya yüzey yükünün altında ve çevresinde geçirgenliğin artırılması ile araştırılmıştır. Sayısal simülasyonların potansiyeli ve sınırları, gelecekteki araştırma ihtiyaçları ve daha güvenilir pratik uygulamalara yönelik zorluklar tartışılmıştır.

(ELGAMAL, vd.2005), bir yüzey yükünün altında sıvılaşma kaynaklı yer değiştirmeye kompaktlaşma ve/veya drenaj artışının etkisini keşfetmek için bir çalışma yürüttü. Yapılan simülasyonlar kapsamında, yüksek drenajın yer değiştirmeyi azaltmada etkili olduğu bulundu. Bu bağlamda, basit kaba ağ temellerin, değerli niteliksel içgörüler sunmada faydalı olduğu görüldü. Bu tür nispeten basit simülasyonlar, daha karmaşık sayısal veya fiziksel model araştırmalarının gerçekleştirilmeden önce (what if) senaryolarının yürütülmesinde büyük değer taşıyabilir. Örneğin, rapor edilen çalışma, girdi uyarlamalarındaki değişikliklerin, geçirgenlik, kayma gerilme ilişkilerinin, yüzey yükü ve konfigürasyonunun, ve sıvılaşma karşı yapılan iyileştirmelerin etkisini gözlemlemek için rahatlıkla genişletilebilir. Kullanıcı dostu arayüzler, süreci basitleştirebilir ve maliyet ile verimlilik arasında bir denge sağlayarak karar vermeye yardımcı olabilir. Örneğin, bu tür arayüzler zemin düzeltmesi için performansa dayalı deprem mühendisliği çerçevesinde kullanılabilir. Ancak, deneysel çalışma/keşif temelli olarak böyle bir sayısal çerçevenin sürekli kalibre edilmesi gerekmektedir. Örneğin, sıvılaşma kaynaklı sıkışma ve yoğunlaşmanın daha doğru bir şekilde simüle edilmesi, ileri araştırma gerektiren bir alan olarak kalıyor. Son olarak, yüksek çözünürlüklü 3D sayısal çalışmaların, sıvılaşma kaynaklı yer değiştirmelerin (göreceli olarak) daha doğru tahminlerini sağladığı gösterilmiştir. Bu tür simülasyon ortamları giderek yaygınlaşmakta ve paralel hesaplama teknikleri aracılığıyla büyük ölçüde kolaylaşmaktadır. (ELGAMAL, vd.2005)

(Elia, vd.2014) çalışmasında, büyük ve yüksek yapılardaki temel tabakalarının mekanik performansının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Özellikle deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde, dinamik yük koşullarının etkileri tasarım, hizmet edilebilirlik ve kararlılık üzerinde önemli rol oynamaktadır. Çalışmada, yapısal kil tabakalarının üzerine inşa edilen bir silo temelinin deprem tepkisi, gelişmiş bir yapısal model kullanılarak sayısal analizlerle incelenmiştir.

Bu analizler, başlangıç zemin yapısını ve ilerleyici bozulmasını hesaba katan bir model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik simülasyonlar için deprem verilerine dayalı olarak üç farklı giriş hareketi seçilmiştir. Sonuçlar, silo dinamik tepkisinin sinyal yükseltme, kalıcı fazla gözenek su basınçları, biriken deplasmanlar ve deprem yüklemesi sırasında ve sonrasında yapıya zarar verme şeklinde ifade edilmiştir.

Silo temelinin dinamik davranışı, aşırı deprem olaylarının doğal kil tabakalarında büyük yapı bozulmalarına neden olabileceğini ve bu durumun tasarımda dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Bu da, başlangıç zemin yapısının varlığını ve uygulanan dinamik yükler nedeniyle oluşan zararı tanıyan gelişmiş modellerin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, dinamik yük altında sığ temellerin davranışının tasarım aşamasında dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini ve gelişmiş modellerin kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır. Dinamik yük altında zemin davranışının daha iyi anlaşılmasına ve tasarımına yardımcı olabilecek gelişmiş modellerin kullanımının faydalı olduğunu göstermektedir, (Elia, vd.2014).

(El Shamy, vd.2011) tarafından yapılan çalışma, zemin-temel-yapı sistemlerinin sismik tepkisini incelemek için önerilen üç boyutlu bir tanecik tabanlı teknik olan "discrete element methodu" (DEM) kullanmaktadır. Tek dereceli bir yapıyı, kuru granüler bir tabana oturan kare yayılı bir taban üzerindeki tepkisini araştırmak için bu yaklaşım kullanılmıştır. Zemin, discrete element method kullanılarak küresel taneciklerin bir koleksiyonu olarak idealize edilmiştir. Yayılı taban, kümelere ayrılmış taneciklerden oluşan bir sert blok olarak modellenmiştir ve hareketi üzerine etki eden kuvvetler ve momentlerle açıklanmıştır. Yapı, ya sert bir yapıyı idealize etmek için kümelere ayrılmış veya belirli bir rijitlikte esnek bir yapıyı simüle etmek için bağlanmış taneciklerden oluşan bir kolon olarak modellenmiştir. Analiz, zaman alanında tamamen eşleşmiş bir şema içinde yapılırken, zeminde olası olmayan lineer davranışın etkileri, tabanın temel tabanı ile olası ayrılması, yayılı tabanın olası kayması ve dinamik zemin-temel etkileşimi ile yapının dinamik özellikleri de dikkate alınmıştır. Önerilen tekniğin zemin-temel-yapı sistemlerinin tepkisini modelleme yeteneğini incelemek amacıyla yaklaşık yarım milyon taneciği içeren yüksek

çözünürlüklü hesaplamalı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama yaklaşımı, temel dinamik tepki örüntülerini yakalama yetisine sahiptir. Yapılan simülasyonlar, temel tabanın merkez noktasındaki dönme rijitliğinin deformasyon seviyesinin artışıyla azaldığını göstermektedir. Temel altındaki kalıcı deformasyonlar, yüklenme çevrimlerinin sayısının artmasıyla birlikte birikmeye devam etmektedir. Araştırmanın sonuçları, geliştirilen DEM tabanlı tekniknin büyük ölçekli sınır değeri problemlerini modelleme yeteneğini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, (El Shamy, vd.2011) çalışması, "discrete element method" kullanarak zemin-temel-yapı sistemlerinin sismik tepkisini incelemiş ve bu yaklaşımın karmaşık davranışları etkili bir şekilde modelleyebildiğini ve mikroskala seviyesinde temel dinamik özellikleri yakalayabildiğini göstermiştir.

(Ghayoomi ,vd.2015) yılında gerçekleştirilen dinamik santrifüj deneyleri, zemin-yapı modelinin yer hareketi karakteristiklerinin site performansı ve Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi (SFSI) üzerine etkisini incelemiştir. Kinematik SFSI açısından: temel hareketin çevrimsel bileşeni, en yoğun şiddet parametresi bakımından serbest alanda göre azaltılmıştır, ancak özellikle yoğun sarsıntılarda ve yüksek frekansta; temel sallanma frekansı, taban hareketinin hakim frekansından güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Atalet (İnertial SFSI) açısından: sarsıntı yoğunluğunu artırmak, yapının esnek temel doğal periyodunu artırmıştır. Temel seviyesindeki spektral ivmeler, binanın esnek temel doğal periyodu yakınında önemli ölçüde artmıştır. Yapı yerleşmeleri serbest alandan daha büyük olup, yer hareketinin Arias Şiddeti zaman geçmişi hızını takip etmektedir. Arias ve Housner Şiddetleri gibi daha bütünsel yer hareketi parametreleri, SFSI ve site performansı üzerinde güçlü ve tutarlı bir etkiye sahiptir. SFSI'nin güvenilir bir deprem performansının değerlendirilmesi, geniş bantlı geçici hareketlere maruz kalan zemin ve yapı bileşenleri arasındaki etkileşimin kesin bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Basit indeks parametreleri ile ölçülen yer hareketi karakteristikleri, SFSI ve site performansını farklı şekillerde etkiler. Bu nedenle, çeşitli indeks parametrelerinin SFSI üzerindeki göreceli önemi ve etkisi, yapısal talep ölçümlerini kontrol eden en etkili yer hareketi parametrelerini belirlemek için gereklidir.

(Hakro, vd.2022), genişlemeye duyarlı zeminin sığ temeller altındaki şişme davranışını Plaxis 2D FEM yazılımını kullanarak analiz etmek amacıyla bir

çalışma yürüttüler. Değişen su koşullarını ve bunun zemin şişmesine etkisini incelediler, bu da farklı zemin ve parametrik koşullarda zamanla değişen şekil (şişme) hesaba katan bir Kullanıcı Tanımlı Şişme Kaya Modeli'ni Plaxis 2D'de tanıttılar. Genişleyen şeyl'in geoteknik özelliklerini laboratuvar ve saha testleriyle belirlediler ve ardından su seviyesi değişiklikleri, yük ve matris emme gibi zemin şişmesini etkileyen faktörleri incelediler.

Çalışmanın sonuçları şunlardır:

- Genişleyen zeminin şişmesi yükselen su seviyeleriyle arttı ve yük arttıkça azaldı.
- Zemin şişmesi, temelin merkezinde minimum, köşede ise maksimum bulundu.
- Elastisite modülü, zemin çökmesine kıyasla zemin şişmesi üzerinde daha az etkiye sahipti.
- Matris emme ile ilişkili değişiklikler, içsel zemin davranışına kıyasla zemin şişmesi üzerinde sınırlı etkiye sahipti.
- Genişleyen zeminin üzerindeki kireçtaşı tabakası, altındaki zeminin şişmesini bastırdı.
- Zemin sertliği, temel altındaki zeminin son şişmesini önemli ölçüde etkiledi.
- Plaxis'teki tamamen eşleşmiş deformasyon seçeneği, mekanik ve hidrolik zemin davranışını etkili bir şekilde hesaba kattı.
- Kaya tabakalarının düzeni, örneğin şeyl tabakanın altına kireçtaşı yerleştirme, zemin şişmesini etkiledi.

Özetlemek gerekirse, bu çalışma, değişen koşullar altında sığ temellerin altındaki genişlemeye yatkın zemin davranışını anlamayı amaçladı ve zemin şişmesini etkileyen faktörler ve temel yapılarıyla etkileşimini anlamamıza yardımcı oldu.

(Hruštinec, vd.2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dairesel, kare ve şerit temel yapılarının rijitlik etkileri ile bağlama etkileri analiz edilmiştir. Odak noktası, "temel-zemin" sisteminin rijitlik etkisi ve farklı bağlama senaryolarının

(iki yönlü bağ ve sürtünmesiz tek yönlü bağ) etkisidir. Çalışma, sayısal analiz için sonlu elemanlar yöntemini (FEM) kullanmıştır.

Çalışmanın başlıca sonuçları şunlardır:

"Temel-zemin" sisteminin göreceli sertliği, temel aralığında temas gerilmelerinin (dikey normal ve kayma gerilmeleri) dağılımını ve temelde yer değiştirmelerin (çökme, eğilme ve göreceli deformasyonlar) büyük ölçüde etkiler.

Esnek temeller için, temas yüzeylerindeki bağların varlığı hesaplamalar sırasında dikkate alınmalıdır. Öte yandan, temel ile zemin arasındaki sürtünme etkileri, gerilme dağılımı ve deformasyonlar üzerinde nispeten daha küçük bir etkiye sahiptir.

FEM modelleme gibi sayısal yöntemler, rijitlik, bağlama ve sürtünme gibi faktörleri dikkate alarak temel davranışıyla ilgili mühendislik problemlerini gerçekçi bir şekilde çözmek için uygun bir yaklaşım sunar.

Temel tasarımında rijitlik, bağlar ve sürtünmenin uygun bir şekilde ele alınması, gerekli güvenilirlik kriterlerini karşılayan daha doğru ve maliyet etkin çözümlere yol açar.

Özetle, çalışma, temel tasarımında rijitlik etkileri ve bağlama koşullarını özellikle esnek temeller için dikkate almanın önemini vurgular. Sayısal yöntemlerin temel davranışının gerçekçi bir anlayışını sağlamadaki rolünü vurgular ve yapısal güvenilirliği sağlamak için doğru tasarımın önemini vurgular.

(H.Ali, vd. 2022) çalışmasında, binaların ve tesislerin dış etkenlere karşı, örneğin rüzgarlar, fırtınalar veya depremler gibi, dayanıklılığını sağlamak öncelikle onları destekleyen temellere bağlıdır. Bu temeller, yükleri altlarındaki zemin tabakalarına iletmekten sorumludur. Bu nedenle, bu yapıların üzerinde tehlikeler veya göçmeleri meydana getirmeden, bu yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilecek şekilde temel tasarımı, birçok araştırmacının dikkat odağı haline gelmiştir. Bu makalenin amacı, Bağdat'ın Baquba şehrinde depremlerin etkisi altında bulunan yapılara destek sağlayan sığ radye temellerin davranışını öngörmek ve bu temellerin yıkılma ve yer değiştirme risklerini değerlendirmektir. Çalışmanın görevi, çalışma için zemin-temel modelini simüle etmek için sonlu eleman yaklaşımına dayanarak sayısal modellemeyi kullanmaktır. Farklı kalınlıklarda radye temel, Mohr-Coulomb modeli tarafından temsil edilen

katmanlı zemin üzerine inşa edilmiş Lineer Elastik model (LE) ile simüle edilen farklı deprem ivme-zaman kayıtları altında incelenmiştir. Bu analizin sonuçları, bu çalışma için kullanılan zemin özelliklerinin, zemin yanıtını yayılma dalgalarına karşı oynamada hayati bir rol oynadığını gösterdi. Ayrıca sonuçlardan gözlemlendi ki deprem süresi arttıkça ve radye kalınlığı azaldıkça hem yanal hem de dikey yer değiştirme artar. Ancak radye temel kalınlığı 0.8 m'den 1.6 m'ye çıktığında bu yer değiştirmeler sırasıyla yaklaşık %9 ve %68 azalmıştır.

(Gil, vs.2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dünya genelinde kum üzerine inşa edilen sığ temelli yapıların depremler sırasında ve sonrasında hasar ve çökme yaşadığı belirtilmiştir. Bu çökmeyi tetikleyen iki temel olgu; sıvılaşma ve P- $\Delta$  etkileri olarak açıklanmıştır. Ancak mevcut araştırma ve uygulamaların, granüler zemin davranışını sıvılaşma ve P- $\Delta$  etkileri sırasında tam olarak anlamadığı ifade edilmiştir. Fiziksel modeller, yapı bileşen modelleri ve bu konularla ilgili laboratuvar testi önerileri gibi pek çok çalışmanın toplamı da bu durumu teyit etmektedir.

Bu bağlamda, çalışmanın temel sorusu şudur: Uyarma frekansı, deplasman genliği ve devrilmeyi ne şekilde etkiler? Bu sorunu ele almak için yazarlar, sarsıntılı titreşim modunda zeminlere çevrimsel yüklemeler iletiminde avantajlı bir tek serbestlik dereceli salınım cihazından oluşan fiziksel bir 1-g modeli önermektedir. Ölçüm yöntemi olarak, OpenCV tarafından Python kullanılarak bilgisayar görüşü kullanılmış ve bu, tek serbestlik dereceli salınım cihazının "serbest hareketini" sağlamıştır.

Salınım Cihazı: "Salınım" terimi genellikle doğal afetler, yapısal analizler ve deprem mühendisliği bağlamında kullanılır. "Salınım cihazları," yapıların deprem sırasındaki salınımlarını veya sarsıntılarını simüle etmek amacıyla kullanılır. Bu cihazlar, yapıların depreme nasıl tepki vereceğini incelemek ve yapıların tasarımını geliştirmek için kullanılır. Bu tür cihazlar, genellikle büyük yapılara veya köprülerin benzeri büyük altyapı projelerine uygulama yapmak için kullanılır.

Bilgisayar görüşü, doğrudan fiziksel modele yerleştirilmiş sensörler olmadan deplasmanları ve zamanları elde etmek için uygun bir yol olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, bilgisayar görüşü, mühendislik açısından ilgi çeken



fiziksel fenomenlerin dolaylı ölçümlerine izin vermiştir. Bu sayede, bilgisayar görüşü, etkili bir şekilde gerçek yapıların davranışını temsil eden bir "serbest hareket" sağlamıştır; bu nedenle geoteknik deneylerde bilgisayar görüşü, hem statik hem de dinamik yüklere tabi olan zemin davranışını anlamak için güçlü bir araç olabilir.

Çalışmanın ana sonuçları şunlardır:

Uyarma frekansı ve temel kenarındaki dikey deplasman genliği, devrilme için gereken çevrim sayısını ters orantılı olarak etkiler.

Sabit bir uyarma frekansıyla yapılan deneylerde, temel kenarındaki değişen dikey deplasman genlikleri, daha büyük bir dikey deplasman genliğinin daha hızlı devrilmeye neden olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, temel kenarındaki aynı dikey deplasman genliğiyle yapılan deneyler, daha büyük bir uyarma frekansının daha hızlı devrilmeye yol açtığını göstermektedir.

Ottawa kumu, Guamo ve Tumaco kumlarına göre daha fazla devrilmeyi gerektirir. Devrilme duyarlılığı sırasıyla Ottawa kumu, Guamo ve Tumaco kumlarında daha yüksektir. Etkili tanecik boyutu D10, Ottawa kumunun Guamo ve Tumaco kumlarından daha büyük olduğu için böyle bir sonuca varılmıştır.

(Jalili, vd.2022) tarafından yapılan çalışmada, kumlu yamaçlara yakın veya bitişik olarak yerleştirilen sığ temellerin deprem ve statik taşıma kapasiteleri azalmaktadır. Bu çalışmada, kumlu yamaçlara bitişik olan sığ temellerin deprem davranışı, iki boyutlu sonlu eleman yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Önceki çalışmalar çoğunlukla limit durum analizi çerçevesinde üst sınır çözümlere, yani yarı-statik yükleme yöntemine odaklanmıştır ve gerçek deprem yüklemesinin etkileri (örneğin yükleme frekansı etkileri, 0.30 g üzerinde ivme genliği, doğrusal olmayan dinamik analiz vb.) göz ardı edilmiştir. Sığ temeller, yamaç pik noktasına belirli bir mesafede yer almaktadır (örneğin  $d = 0.5b$ ,  $1.5b$  ve  $2.0b$ ). Bu çalışmada incelenen yamaç eğim açısı 25 (1 V: 2 H) olarak kabul edilmiştir. Analiz edilen yamaç orta yoğunlukta kumdan oluşmaktadır. Çalışmada Mohr-Coulomb (MC) ve Hardening-Soil Model (HSM) olmak üzere iki elastik-ideal plastik zemin davranış modeli kullanılmıştır.

Araştırmacılar, gerçek deprem davranışını yamaç, sığ temel ve deprem tepkilerinin yönü üzerinde incelemiştir. Sonuçlar, HSM modelinin yapısal ve

geoteknik tepkilerinin MC model tepkilerine göre çoğu durumda %30'a kadar daha büyük ve daha koruyucu olduğunu göstermektedir. Bu, yamaç ve temelde deprem kararlılığının incelenmesinde HSM modelinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, araştırmacılar gerçek dinamik davranışı dikkate alarak kumlu yamaç üzerine inşa edilen sığ temellerin deprem davranışını incelemiş ve HSM modelinin daha gerçekçi sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Bu çalışma, deprem koşullarında yamaç ve temel davranışını daha iyi anlamak için HSM modelinin kullanılabilirliğini göstermektedir.

(Elsiragy, 2019) çalışmasında, deprem nedeniyle yapılara ek yüklerin etkisiyle zemin ve üstyapıda meydana gelebilecek göçmeleri incelemiştir. Bu araştırma, deprem yükleri altında yer alan donatsız ve geosentetik güçlendirilmiş kum üzerine inşa edilen büyük ölçekli temel ve yapıların davranışını incelemeyi amaçlamaktadır. Depremler sırasında temel altındaki yanal deforme kontrolünü ve gözenek suyu basıncının azaltılmasını sağlamak amacıyla jeotekstil etkisi incelenmiştir. İki boyutlu bir düzlem gerilme programı olan PLAXIS (dinamik versiyon), mevcut sayısal modelleme için kullanılmıştır. Bodrum katlı on katlı bir betonarme bina, zemindeki radye temel üzerine oturur şekilde idealize edilmiş olup, jeotekstil iyileştirmesi yapılmış ve yapılmamış iki boyutlu model olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada, farklı çekme modülüne sahip üç farklı jeotekstil türü incelenmiştir ve bunların yatay deplasman, ivme ve temel yerleşimi açısından etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, jeotekstilin eklenmesinin hem dikey hem de yatay deplasmanı azalttığını göstermiştir; özellikle sıkı, orta ve gevşek zeminlerde temel altı yer değiştirmeyi önemli ölçüde azaltmıştır (E = 35000 kN/m durumunda sırasıyla %47, %52 ve %73), yatay deplasmanı da azaltmıştır (E = 35000 kN/m durumunda sırasıyla %50, %57 ve %63). Jeotekstil iyileştirmesinin temel altı rijitliğini artırdığı ve deprem sırasında alt temel stabilitesini artıran iyi bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Jeotekstil varlığı, zeminin yan deformasyonunu sınırlamak ve kontrol etmek, temel altındaki zemin stabilitesini artırmak açısından olumlu etki yapar. Jeo-ızgaranın çekme modülünün artması, kalıcı deformasyonun önemli ölçüde azalmasına neden olurken, jeo-ızgara sertliği taban tabakası kalınlığının ve alt tabakanın dayanımının artmasıyla azalmaktadır. Jeotekstil çekme modülünün artması, temel altı yerleşimini azaltmaktadır. Yoğun

kum gibi sıkı zeminde yatay deplasman oranında %50 azalma olurken, orta ve gevşek kumda çekme modülü 35000 kN/m olduğunda sırasıyla %60 ve %71 azalma görülmüştür. Aynı şekilde yanal yer değiştirme ve ivme, jeotekstil çekme dayanımı arttıkça azalmaktadır. Sonuç olarak, jeosentetik güçlendirilmiş zemin temellerinin kullanımının zemin taşıma kapasitesini artırdığını ve temel yerleşimini azalttığını gösteren çalışma sonuçlarına dayanarak, bu tür temellerin deprem performansını artırmak için yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

(Ziotopoulou, vd. 2017) çalışmalarında.

Bu çalışmanın amacı, sayısal simülasyonlar kullanarak sığ temeller üzerindeki sıvılaşma sonrası zeminin yeniden sıkışması (post-liquefaction reconsolidation) (yeniden yoğunlaşma) yer değiştirmelerinin önemini değerlendirmektir.

İki boyutlu, tamamen bağlantılı dinamik analizler kullanılarak, sıvılaşma etkisi gösteren zeminlerde sığ temellerin tepki verme durumu simüle edildi. Bu simülasyonlar, seçilen iki santrifüj deneyinin sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulandı.

Elde edilen sonuçlar, sıvılaşma sonrası zeminin yeniden sıkışma yer değiştirmesinin genellikle sarsıntı süresi boyunca biriktiğini ve fazla gözenek basınçları dağıldığında yer değiştirme oranının daha düşük olduğunu göstermektedir.

Temel yer değiştirmelerinin büyük kısmı güçlü sarsıntılar sırasında deviatorik yer değişmeler nedeniyle meydana geldi.

Deviatorik yer değiştirme, bir malzemenin sıkışma, gerilme veya kayma sırasındaki toplam yer değiştirmesinden bağımsız olarak yalnızca malzemenin (shear stress) ve (shear strain) ile ilgilenen bir terimdir. Bu terim, malzemenin elastik veya plastik deformasyon süreçlerinin net sonucunu temsil eder ve genellikle mühendislik ve malzeme bilimlerinde kullanılır. Deviatorik yer değişme, genellikle malzemenin içsel deformasyonlarını ve mukavemetini anlamak için önemlidir ve yapıların davranışını analiz etmek için önemli bir kavramdır.

Yapıları bu tür etkilerden daha iyi anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu sonucuna varıldı.

Araştırmacılar, temel yer değiştirmelerinin çoğunun g¼cl¼ sarsıntılar sırasında deviatorik yer değişmeler nedeniyle meydana geldiğini belirttiler. Temel genişliğinin artırılması, daha ince tabaka kalınlığı için yer değiştirmenin genel b¼y¼kl¼ę¼n¼ azalttı, ancak diğer tabaka kalınlıkları için daha k¼¼¼k bir etkisi vardı. Sıvılaşmaya maruz zeminler için geliştirilen yapısal modellerin daha doğru laboratuvar araştırmaları ve daha iyi kalibrasyonunun sağlanması için gelecekte daha fazla çalışmanın yapılması önerilmektedir.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında, üç boyutlu bir problemin iki boyutlu olarak sim¼le edilmesinden kaynaklanan basitliklerin olduğuna dikkat çekildi. Gelecekte, daha iyi sonuçlar elde etmek için üç boyutlu sim¼lasyonların kullanılabilceği belirtildi. Ayrıca, yeniden sıkışmanın etkileri, sedimantasyon ve kendi ağırlığının yeniden sıkışma mekanizmalarının kesin olarak hesaba katılmadığına dikkat çekildi, bu da gelecekteki çalışmaların ele alabileceği bir konu olarak belirtildi.

(Wulandaria, vd. 2015) çalışmalarında:

Bu çalışmada yumuşak zemin üzerine inşa edilen yapıların farklı oturmalara maruz kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle farklı oturmaları azaltmak için kazıklı temel gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak kazıklı temel aşırı yer değiştirmeye neden olabilir. Bu nedenle kazıklı temel sistemi kullanılarak yer değiştirmelerin kabul edilebilir d¼zeeye indirilmesi amaçlandı.

Sayısal analiz sonuçları kazık eklemenin yer değiştirmeleri azaltabileceğini gösterdi. Ancak belirli bir sayıya ulaşıldıktan sonra daha fazla kazık eklenmesi yer değiştirmeleri sabit tutar. Ekonomik bir tasarım için, kazıklı temel sistemindeki optimum kazık sayısı kabul edilebilir deplasmanlara göre dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma sonucunda kazıklı temel sisteminde yer değiştirmelerin en aza indirilmesi için uygun kazık sayısının seçilmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

## B. Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Çizelge 1. Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Yazarın adı	Zemin türü	Kullanılan yöntem (metod)	Etkiyen parametreler
KAVEH DEGHANIAN (2016)	jeolojik katmanlar arasında geçerli olan genel bir model geliştirmiştir.	$\gamma_{max}$ , PGA, PGV ve d arasındaki yarı deneysel bir ilişki önerilmiştir. Daha sonra, bu ilişkide PGA ve PGV, spektral ivme spektrumunun ordinatları ile değiştirilmiştir.	1-( $\gamma_{max}$ ) 2-derinlik(d) $d = \frac{PGV \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot PGA}$ 3-(PGA) 4-(PGV).
Ali Asgari, Aliakbar Golshani ve Mohsen Bagheri (2014)	plastik/plastik olmayan ince malzemeler içeren kumlar ve yaklaşık %30-40 bağıl yoğunluğa sahip siltler gibi farklı zemin tipleri incelenmiştir.	(MC)	Yapı ağırlığı, zemin tipi, sıvılaştırılabilir zemin tabakası kalınlığı, (Mw), (PGA), (PGV/PGA), (D5-95)
Taha Ashoori (2015)	Kumlu zemin tabakası.	(FRF) aşağıdaki şekilde tanımlanır: $FRF(\omega) = Y(\omega)/X(\omega)$ burada X( $\omega$ ) ve Y( $\omega$ ) sırasıyla analog giriş [x(t)] ve çıkış [y(t)] sinyallerinin Fourier dönüşümleridir.	Temel Şekli Kare, daire, dikdörtgen, Temel yapıların kütleleri, Zemin tabakası kalınlığı, Dinamik kuvvet genliğinin etkisi, Ana kaya etkisi: Dalgaların yansımaları ve rezonans.
Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani ve Syed Raghieb Ali Shah (2022)	Şeyl ve kireçtaşı.	(MC)	Kireçtaşı tabakası kalınlığı, Alt tabakanın sertliği.
O. Adamidis, S.P.G. Madabhushi (2016)	Hostun kumu (Dr $\approx$ %40)	Dinamik sentrifüj testleridir.	Sıvılaştırılabilir tabakanın derinliğini, temel gömülme seviyesini ve birbirini izleyen sıvılaştırma kaynaklı oturma olaylarına yapının tepkisini içermektedir.
Abdülhakim Zeybek, Gopal Santana Phani Madabhushi, Loizos Pelecanos.(2020)	Kum yatakları.	Dinamik santrifüj deneyleri.	İndüklenmiş kısmi doygunluk, bağıl yoğunluk, temel gömme.

Çizelge 1 (devamı) Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Yazarın adı	Zemin türü	Kullanılan yöntem (metod)	Etkiyen parametreler
Saif Alzabeebee (2020)	Kuru kum.	(MC)	Temel üzerine uygulanan yük Kumun bağlı yoğunluğu Temel gömme (PGA) Kumlu zeminin kalınlığı Deprem sarsıntısının hakim frekansı
Gonzalo Barrios a, Tam Larkin a, Nawawi Choww a (2020)	Doygun kum, düşük sıkıştırma basıncı	Fiziksel deneyler (Physical experiments)	Temellerin sayısı ve konumu, sınırlayıcı basınç, taban hareketinin ivmesi ve frekans içeriği, drenaj yolunun uzunluğu.
Araz Hasheminezhad, Hadi Bahadori (2019)	Sıvılaştırılabilir zemin	(MC) Üç boyutlu sonlu farklar modeli (3D Finite Difference Model)	DSM kolon özellikleri, sığ temel özellikleri (kalınlık, genişlik, gömülü derinlik), DSM kolonları arasındaki mesafe.
Hadi Bahadori, Hooman Motamedi, Araz Hasheminezhad ve Ramin Motamed (2020)	Sıvılaştırılabilir zemiler.	Vibrasyon masa deneyleri, (Shaking table tests)	Geosentetik türleri, yer değiştirme, su basıncı (pore water pressure), göçme mekanizması (failure mechanism).
Amin Borghei, Majid Ghayoomi, Matthew Turner (2020)	Siltli kum	Dinamik santrifüj deneyleri	Yeraltı suyu tablası derinliği, zemin doygunluk durumu, sismik hareketler
Pouneh Pakdel, Reza Jamshidi Chenari, Mehdi Veiskarami (2019)	Sürtünmeli zemin birikintisi	Limit denge formülasyonu	İç sürtünme açısının anizotropisi, sismik ivmeler
Peyman Ayoubi ve Ali Pak (2017)	Nevada doymuş kumları	3B dinamik tam bağlantılı u-p analizi (3D dynamic fully coupled u-p analysis)	Yoğun tabakanın varlığı. Yoğun tabakanın derinliği. Temel genişliği. (PGA) Pik yer ivmesi.
Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Mujahid Ali , Agha Faisal Habib, Afonso R. G. de Azevedo , Roman Fediuk , Mohanad Muayad Sabri Sabri , Abdelatif Salmi and Youssef Ahmed Awad(2022)	Birinci tabaka şeyl, hemen altında ise kireç taşı tabakası yer alır.	(MC)	Zemin rijitliği (modulus of elasticity). Yükleme şiddeti Doygunluk derecesi (DOS). Şeyl'in altındaki yatan kireç taşı tabakasının varlığı. Matris emiş: zeminin su emme yeteneğini ifade eder.

Çizelge 1 (devamı) Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Yazarın adı	Zemin türü	Kullanılan yöntem (metod)	Etkiyen parametreler
Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani & Syed Raghbir Ali Shah (2022)	Şeyl ve kalker gibi farklı zeminlerin birleşimi	(MC)	Zemin tabakaları (şeyl ve kalker) Kalker tabakasının kalınlığı Alt tabakanın sertliği
J.C.W. Toh M.J. Pender R. McCully (2011),	Sığ temellerin doymuş kil üzerindeki deprem tepkisi incelenmiş	Basit bir yapı-temel sisteminin yedi farklı deprem kaydına tepkisi hesaplanmış. Tüm kayıtlar Yeni Zelanda NZS1170 standartına göre ölçeklenmiş.	Doğal zemin değişkenliğinin, sığ temelin üzerine maksimum etkileri, doğal periyodu ve kalıcı temel yer değiştirmeleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.
C.M. Heron, S.K. Haigh & S.P.G. Madabhushi (2014)	Sığ temellerin kil zemine oturduğu koşulları ele almıştır.	İki farklı temel izolasyon yöntemi üzerine yapılan dinamik santrifüj deneylerine dayalı olarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.	1-Zemin Altında Sırt Oluşturma Yöntemi: Temel altındaki sırt oluşturma varlığı veya yokluğu. Sırtların tahrip olma derecesi. 2-Kum Dolu Borular Yöntemi: Kumla doldurulmuş boruların varlığı ve özellikleri. Boruların esnekliği ve yük taşıma kapasitesi.
Oustasse Abdoulaye SALL, Déthié SARR, Makhaly BA, Ndiaga CISSE, Aboubacry LY (2019)	Killi zemin Homojen ve tabakalı zemin türleri	(MC) Tresca ve AUS Optum G2 yazılımı (FEM)	Elastisite modülü, içsel sürtünme açısı, kohezyon, Poisson oranı ve göçme kriterini değiştirerek zeminin mekanik davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir.
V.E. Dimitriadi, G.D. Bouckovalas, A.G. Papadimitriou (2017)	Altta geçirgen olmayan sıvılaştırılabilir kumdan oluşan bir tabaka ve üzerinde dinamik yüklenmiş (doğal veya yapay) geçirgen bir tabaka bulunan bir yapı bulunmaktadır.	Kohezyon olmayan zeminin monoton ve çevrimsel tepkisi, Kullanıcı Tanımlı Model (UDM) yeteneği aracılığıyla FLAC'ta uygulanan Kritik Durum kurucu modeli NTUASAND kullanılarak simüle edilmiştir.	Zemin: türü ve başlangıç bağıl yoğunluğu (Dr, o). Temel: Genişliği, boyutları ve temas noktaları. Zemin tabakaları: Kalınlığı ve özellikleri. Zemin iyileştirmesi: İyileştirmekte kullanılan malzemenin türü ve özellikleri. Dinamik yük: yoğunluğu, periyodu ve çevrim sayısı, (Sismik Yüklenme Özellikleri). Geçirgen tabaka: türü, artan bağıl yoğunluğu (Dr, imp) ve geçirgenlik değeri (keq).

Çizelge 1 (devamı) Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Yazarın adı	Zemin türü	Kullanılan yöntem (metod)	Etkiyen parametreler
Fausto Somma, Alessandro Flora, Emilio Bilotta and Giulia Viggiani (2021)	Hostun Kum	Plaxis 2D (FEM)	Yapının hakim periyodu, en-boy oranı, yükleme taşıma kapasitesi, temel gömülmesi ve zemin özellikleri.
AHMED ELGAMAL, JINCHI LU and ZHAOHUI YANG (2005)	Sıvılaşma etkisi olan zemin.	Kalibre edilmiş Sonlu Eleman Simülasyonları.	Zemin sıkışabilirliği, drenaj, yükleme.
Gaetano Elia · Mohamed Rouainia (2014)	Yapılandırılmış kil zemin üstünde inşa edilmiştir.	Gelişmiş maddenin bileşim modellemesi (constitutive) model ile sayısal analiz.	Büyük yapılarda temel tabakalarının mekanik performansı, sismik etkiler, zemin yapısı.
Usama El Shamy, and Natasha Zamani (2011)	Kuru granüler bir zemin üzerine inşa edilen kare şeklinde yayılan bir temel tabanı üzerine inşa edilen bir yapıyı incelemektedir. Zemin, taneciklerin koleksiyonu olarak idealize edilmiştir.	"discrete element method" (DEM) adlı üç boyutlu bir tanecik tabanlı teknik kullanılmaktadır.	Zemin-temel-yapı sistemlerinin sismik tepkisini incelemektedir. Yapılan analizde, zemin yapısı, temel tabanının zeminden ayrılması, tabanın kayması gibi etkilerin yanı sıra yapı dinamik özellikleri de dikkate alınmaktadır.
U. El Shamy (2021)	Doymuş granüler zemin yatağı üzerine kurulu yayılı temel sistemi.	Çok ölçekli yaklaşım, homojenleştirilmiş Navier-Stokes denklemleri ve diskret eleman yöntemi ile sıvılaşmaya duyarlı granüler zemin üzerine kurulu yayılı temel sisteminin deprem tepkisinin analizini içerir.	Doymuş granüler zemin yatağı, sıvılaşma eğilimi, temel yerleşimi, zemin sertliği, yan duvarlar ve tabanın etkisi gibi.
Majid Ghayoomi ve Shideh Dashti (2015)	Deneyler granüler zeminlerde gerçekleştirilmiştir.	Dinamik santrifüj deneyleri ile zemin-yapı etkileşimi incelenmiştir.	Yer hareketi yoğunluğu, frekans içeriği ve süresi gibi faktörler, SFSI ve site performansını etkiler.
Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Ahmed Almani, Agha Faisal Habib, Muhammad Auchar Zardari (2022)	Genişleyen şeyl.	Plaxis 2D FEM sonlu elemanlar yöntemi kullanıldı. (MC)	Su seviyesi değişiklikleri, yük, matris emme gibi faktörler.



Çizelge 1 (devamı) Literatür Taraması Özet Çizelgesi.

Yazarın adı	Zemin türü	Kullanılan yöntem (metod)	Etkiyen parametreler
Luboş Hruştinec 2013	Kumlu zemin.	FEM Sonlu elemanlar yöntemi kullanıldı. (MC)	Temel rijitliği ve şekli kare, dairesel ve şerit temel, bağlama durumları (iki yönlü bağ, tek yönlü bağ), sürtünme etkileri.
H. Ali, H. O. Abbas, S. H. Abed-Awn 2022	Katmanlı zemin yapısı	FEM Sonlu elemanlar yöntemi kullanıldı. (MC)	Binaların ve tesislerin stabilitesini sağlama çabası Temel tasarımı ve yük transferi Durağan ve dinamik yükler
Diego F. Gil, Cristhian C. Mendoza, Luis R. Vásquez-Varela, and Santiago Cano 2022	Ottawa kumu, Guamo ve Tumaco kumları gibi farklı tipteki zeminler	Sarsıntılı titreşim modunda zeminlere çevrimsel yüklemeler ileten tek serbestlik dereceli salınım cihazından oluşan bir fiziksel 1-g modeli oluşturmuşlardır. Ölçüm yöntemi olarak, bilgisayar görüntü kullanılarak dolaylı ölçümler alınmuştır.	Zemin üzerindeki yapıların devrilmesine etki eden temel faktörler, uyarma frekansı ve temel kenarında dikey deplasman genliği olarak belirlenmiştir. Zeminin türü: tanecik boyutu.
Sahar Jalili Hossein Javaheri Koupaei Hassan Sharafi Navid Ganjian 2021	Orta yoğunluklu kumlu zemin.	Mohr–Coulomb (MC) and hardening soil (HSM)	Kumlu yamaç, sığ temel mesafesi, eğim açısı, zemin davranış modelleri (MC ve HSM).
M.N. Elsiragy 2019	Kum.	(MC)	Jeotekstil iyileştirmesi, jeotekstil tipinin çekme modülü, temel altındaki dikey boşluk ve zemin sıklığı gibi etkileyen parametreleri inceledi.
K. Ziotopoulou, J. Montgomery 2017	Sıvılaşmaya duyarlı zeminler.	İki santrifüj deneyinin sonuçları, sayısal simülasyonların etkinliği açısından doğrulandı.	Sığ temellerin post-liquefaction reconsolidation (yeniden sıkışma) yer değiştirmelerini değerlendirmeyi amaçlıyor. Çalışmada, tabaka kalınlığı, zemin özellikleri ve yük taşıma basıncı gibi faktörlerin yer değiştirmeler üzerindeki etkisi inceleniyor.
Paravita Sri Wulandaria, Daniel Tjandraa 2015	Yumuşak zemin.	PLAXIS 2D (FEM)	Kazık-şap temel sisteminin yer değişmelerine etkisi incelenmiştir. Kazık sayısı, yer değişmeleri üzerindeki etkiyi değerlendirmek için incelenen temel parametrelerden biridir.



### III. YÖNTEM

#### A. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), karmaşık bir alanı daha küçük, daha basit ögelere bölerek mühendislik ve matematik problemlerini çözmek için kullanılan sayısal bir tekniktir. Yapısal analiz, ısı transferi, akışkanlar dinamiği ve elektromanyetik dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özünde, sonlu elemanlar yöntemi, ayrı bir eleman seti kullanarak sürekli bir sistemin davranışına yaklaşılarak çalışır. Bu elemanlar, düğüm adı verilen belirli noktalarda bağlanır ve toplu olarak problem alanını temsil eden bir ağ oluşturur. Etki alanını daha küçük ögelere bölerek FEM, karmaşık geometrilerin ve malzeme özelliklerinin temsilini sağlar. Her bir eleman, denge denklemleri ve malzemeyi oluşturan yasalar gibi yöneten fiziksel ilkelere dayalı olarak davranışını tanımlayan bir dizi denklemle tanımlanır. Bir öge içindeki davranış, ögenin düğümlerindeki yer değiştirmeler, sıcaklıklar veya gerilmeler gibi bilinmeyenlerin değerlerini enterpolasyon yapan enterpolasyon fonksiyonları kullanılarak tahmin edilir. Bu enterpolasyon işlevleri, sonlu sayıda parametre kullanarak bir öge içindeki sürekli davranışın temsiline izin verir. Problem alanı ögelere ayrıldıktan ve davranışlarını yöneten denklemler oluşturulduktan sonra, FEM tüm düğümlerdeki bilinmeyenleri ilişkilendiren küresel bir denklem sistemi oluşturur. Bu denklem sistemi, tüm problem alanının davranışını temsil eder. Bu sistemi sayısal olarak çözmek, sorunun çözümünü sağlar ve incelenen sistemin davranışına ilişkin içgörü sağlar. Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik analizinde çeşitli avantajlar sunar. Karmaşık geometrilerin ve malzeme davranışlarının modellenmesine izin vererek çok çeşitli mühendislik problemlerine uygulanabilir hale getirir. Mesh'i rafine ederek ve eleman sayısını artırarak daha yüksek hassasiyete izin vererek doğru çözümler sunar. Ek olarak FEM, doğrusal olmayan davranışları ve zamana bağlı fenomenleri işleyebilir, bu da onu gerçek dünya senaryolarını simüle etmek için uygun hale getirir.

Uygulamada, sonlu elemanlar yöntemi, özel yazılım programları kullanılarak uygulanır. Bu programlar, problem geometrisini tanımlamak, malzeme özelliklerini atamak ve ağı oluşturmak için ön işleme araçları sağlar. Ayrıca denklem sistemini çözmek için gerekli sayısal hesaplamaları yapan çözücüler sunarlar. Son işleme avantajları, analizden elde edilen sonuçların görselleştirilmesine ve analiz edilmesine olanak tanır.

Genel olarak, sonlu elemanlar yöntemi, mühendislerin ve bilim adamlarının karmaşık mühendislik problemlerini çözmelerini sağlayan güçlü bir sayısal tekniktir. Çeşitli koşullar altında yapıların, malzemelerin ve sistemlerin davranışını analiz etmek ve anlamak için esnek bir çerçeve sağlayarak mühendislik uygulamalarında daha iyi tasarımlara ve daha iyi karar vermeye yol açar.

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), karmaşık zemin-yapı etkileşimlerini analiz etme ve zemin ve yapıların sismik kuvvetlere tepkisini simüle etme yeteneğinden dolayı geoteknik mühendisliği ve deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. FEM'in nasıl çalıştığı ve bu alanlarda sağladığı avantajlar aşağıda açıklanmıştır:

**Problem Formülasyonu:** FEM'deki ilk adım, sistemin geometrisini tanımlamayı, sınır koşullarını belirlemeyi ve malzeme özelliklerini atamayı içeren problemi formüle etmektir. Geoteknik ve deprem mühendisliğinde bu, zemin katmanlarının, temellerin, istinat duvarlarının ve diğer yapısal bileşenlerin modellenmesini içerir.

**Ağ Oluşturma:** Problem tanımlandıktan sonra, alan, ağ oluşturma teknikleri kullanılarak daha küçük öğelere ayrıştırılır. Geoteknik mühendisliğinde bu elemanlar zemin hacimlerini temsil ederken, deprem mühendisliğinde hem zemin hem de yapısal elemanları temsil edebilirler. Kafes, sistemin temel özelliklerini ve davranışlarını doğru bir şekilde yakalayacak kadar ince olmalıdır.

**Eleman Formülasyonu:** Ağdaki her eleman, davranışını yöneten bir dizi denklem tarafından tanımlanır. Geoteknik mühendisliğinde, bu denklemler tipik olarak, elastik, plastik veya yapısal modeller gibi zemin davranış modellerini göz önünde bulundurarak zeminin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini temsil eder.

Deprem mühendisliğinde, elemanlar rijitlik, sönümlenme ve atalet kuvvetleri dahil olmak üzere yapısal davranışı da açıklayabilir.

**Denklemlerin Birleştirilmesi:** Bir sonraki adım, tüm elemanlardan gelen denklemleri küresel bir denklem sisteminde bir araya getirmektir. Bu sistem, ağdaki her bir düğümdeki bilinmeyenleri (yer değiştirmeler, gerilmeler ve gerinimler gibi) ilişkilendirerek tüm sistemin kapsamlı bir temsilini oluşturur.

**Denklemlerin Çözümü:** Denklem sisteminin sayısal olarak çözülmesi problemin çözümünü sağlar. Doğrudan veya yinelemeli çözücüler gibi çeşitli çözüm teknikleri kullanılabilir. Geoteknik ve deprem mühendisliğinde, zeminin doğrusal olmayan davranışını veya yapıların büyük deformasyonlar altındaki tepkisini yakalamak için doğrusal olmayan analiz gerekebilir.

**Son İşlem:** Çözüm elde edildikten sonra, sonuçları analiz etmek ve yorumlamak için son işlem teknikleri uygulanır. Bu, sistemin tepkisini değerlendirmek için yer değiştirmelerin, gerilmelerin, gerinimlerin ve diğer ilgili parametrelerin görselleştirilmesini içerir. Son işlem, zemin-yapı sisteminin davranışının anlaşılmasına ve yapıların sismik yükler altındaki güvenlik ve performansının değerlendirilmesine yardımcı olur.

## 1. Mohr-Coulomb

Mohr-Coulomb yenilme kriteri olarak da bilinen Mohr-Coulomb teorisi, zemin mekaniği ve dinamiğinde temel bir kavramdır. Farklı yükleme koşulları altında zeminlerin kayma dayanımını ve göçme davranışını anlamak için bir çerçeve sağlar. Teori, çeşitli geoteknik yapıları analiz etmek ve tasarlamak için geoteknik mühendisliği ve deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mohr-Coulomb teorisi, zeminin kayma dayanımının iki ana gerilme arasındaki etkileşim tarafından yönetildiği varsayımına dayanmaktadır: normal gerilme ( $\sigma$ ) ve kayma gerilme ( $\tau$ ). Teori, kayma geriliminin kesme dayanımı ( $\tau_s$ ) olarak bilinen kritik bir değere ulaşması durumunda kırılmanın meydana geldiğini belirtir. Kesme gerilme ile normal gerilme arasındaki ilişki, aşağıdaki şekilde doğrusal bir denklemle tanımlanır:

$$\tau = c + \sigma \tan(\varphi)$$

burada  $\tau$  kayma gerilmedir,  $c$  kohezyon kesişme noktasıdır,  $\sigma$  normal gerilmedir ve  $\phi$  iç sürtünme açısıdır. Kohezyon kesişme noktası ( $c$ ), normal gerilme sıfır olduğunda zeminin kayma mukavemetini temsil eder ve iç sürtünme açısı ( $\phi$ ) zeminin kaymaya karşı direncini temsil eder.

Geoteknik mühendisliğinde, şevlerin, istinat duvarlarının ve temellerin stabilitesini analiz etmek için Mohr-Coulomb teorisi kullanılır. Mühendisler, zeminin kayma direnci parametrelerini (kohezyon ve iç sürtünme açısı) dikkate alarak şev kaymasına karşı güvenlik faktörlerini belirleyebilir, temellerin taşıma kapasitesini değerlendirebilir ve uygun istinat yapıları tasarlayabilir.

Deprem mühendisliğinde, Mohr-Coulomb teorisi, zeminlerin sismik yüklemeye tepkisini incelemek için kullanılır. Teori, zeminlerin dinamik gerilme-şekil değiştirme davranışını dikkate alarak, zeminlerin sıvılaşma potansiyelini tahmin etmeye, şevlerin sismik koşullar altında stabilitesini değerlendirmeye ve depreme dayanıklı temeller ve yapılar tasarlamaya yardımcı olur.

Mohr-Coulomb teorisini geoteknik ve deprem mühendisliğinde uygulamak için, zeminin kayma mukavemeti parametrelerinin (kohezyon ve iç sürtünme açısı) laboratuvar veya yerinde testlerle belirlenmesi gerekir. Bu parametreler daha sonra çeşitli yüklemeye senaryoları altında zeminin davranışını simüle etmek için sonlu elemanlar veya sonlu farklar yöntemleri gibi sayısal analizlerde kullanılır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar, mühendislerin geoteknik yapıların stabilitesini, deformasyonlarını ve göçme potansiyellerini değerlendirmelerine ve güvenli ve verimli tasarımlarını sağlamalarına yardımcı olur.

Genel olarak, Mohr-Coulomb teorisi, zemin davranışı ve kayma mukavemeti hakkında temel bir anlayış sağlar ve geoteknik yapıların hem statik hem de dinamik koşullarda analiz edilmesi ve tasarlanması için bir temel görevi görür. Geoteknik mühendisliği ve deprem mühendisliğindeki uygulamaları, çeşitli inşaat mühendisliği projelerinin stabilitesini ve güvenliğini sağlamada hayati bir rol oynar.

Temellerin modellenmesinde geoteknik mühendisliğinde yaygın kullanımı ve uygulanabilirliği nedeniyle Mohr-Coulomb yöntemini kullanmayı tercih ettik. Mohr-Coulomb yöntemi, zemin davranışını analiz etmek ve temellerin

stabilitesini ve taşıma kapasitesini değerlendirmek için pratik ve güvenilir bir yaklaşım sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mohr-Coulomb yönteminin seçilmesinin ana nedenlerinden biri basitliği ve uygulama kolaylığıdır. Yöntem, zeminlerin kayma mukavemetini karakterize etmek için kohezyon (C) ve sürtünme açısı ( $\phi$ ) olmak üzere iki temel parametre kullanır. Bu parametreler, pratik mühendislik uygulamaları için uygun hale getiren laboratuvar veya saha testleri yoluyla kolayca belirlenebilir.

Mohr-Coulomb yönteminin bir diğer avantajı da hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerin karmaşık davranışını yakalama yeteneğidir. Farklı yükleme koşulları altında zemin tepkisinin kapsamlı bir analizine izin vererek kohezyon ve sürtünme arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurur. Bu, killi, kumlu ve karışık zeminler dahil olmak üzere geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan çok çeşitli zemin türleri için uygun hale getirir.

Ayrıca, Mohr-Coulomb yöntemi kapsamlı bir şekilde doğrulanmış ve ampirik verilere ve saha ölçümlerine göre kalibre edilmiştir. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve zemin davranışını ve temel performansını doğru bir şekilde tahmin etmede köklü bir geçmişe sahiptir. Güvenilirliği ve tutarlılığı, onu alandaki mühendisler ve araştırmacılar için popüler bir seçim haline getirdi.

Genel olarak, temelleri modellemek için Mohr-Coulomb yönteminin seçimi, geoteknik mühendisliğinde pratikliği, çok yönlülüğü ve kanıtlanmış performansı tarafından yönlendirilir. Geniş kabulü ve kapsamlı doğrulaması, onu temellerin stabilitesini ve tasarımını değerlendirmek için güvenilir ve yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım haline getirir.

## **2. Geoteknik ve Deprem Mühendisliğinde FEM'in Katkıları.**

Zemin-Yapı Etkileşimi: FEM, zemin ve yapısal elemanlar arasındaki karmaşık davranışı ve etkileşimleri yakalayarak, zemin-yapı etkileşiminin doğru bir şekilde modellenmesine izin verir. Bu, geoteknik ve deprem mühendisliğinde temellerin, istinat duvarlarının, tünellerin ve zemindeki diğer yapıların tepkisini ve stabilitesini anlamak için çok önemlidir.

Doğrusal Olmayan Davranış: FEM, sismik yükleme altında gerçekçi tepkiyi yakalamak için gerekli olan, zeminlerin ve yapıların doğrusal olmayan malzeme davranışını işleyebilir. Zemin ve yapısal elemanlar, deformasyonların, oturmaların ve göçme mekanizmalarının doğru tahminlerine izin veren doğrusal olmayan yapısal modellerle modellenebilir.

Dinamik Analiz: FEM, deprem mühendisliğinde çok önemli olan dinamik analizi mümkün kılar. Dalgaların zemin katmanları boyunca yayılması, zemin büyütme etkileri ve yapıların dinamik tepkisi dahil olmak üzere, zeminin ve yapıların sismik kuvvetlere tepkisini simüle edebilir. Bu, sismik performansın değerlendirilmesine ve yapıların depremlere dayanacak şekilde tasarlanmasına yardımcı olur.

Tasarım Optimizasyonu: FEM, geoteknik ve deprem mühendisliğinde optimizasyon ve hassasiyet analizi için kullanılabilir. Çeşitli tasarım alternatiflerini değerlendirerek, yapısal konfigürasyonların optimize edilmesine, uygun inşaat tekniklerinin seçilmesine ve sismik koşullar altında geoteknik sistemlerin güvenlik ve verimliliğinin iyileştirilmesine yardımcı olur.

Genel olarak, sonlu elemanlar yöntemi, geoteknik ve deprem mühendislerine karmaşık zemin-yapı sistemlerini simüle etmek ve analiz etmek için güçlü bir araç sağlar. Sistemin davranışının daha iyi anlaşılmasını, farklı koşullar altında tepkilerin doğru tahmin edilmesini ve deprem eğilimli alanlardaki geoteknik yapıların tasarımı ve analizi için bilgiye dayalı karar verilmesini sağlar.

### **3. Geoteknik ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları için Popüler Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) Tabanlı Yazılım Programları.**

Geoteknik mühendisliği ve deprem mühendisliği uygulamaları için özel olarak tasarlanmış, sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı, yaygın olarak kullanılan birkaç yazılım programı vardır. Bu programlar, çeşitli yükleme koşulları altında zemin-yapı sistemlerinin davranışını analiz etmek ve simüle etmek için güçlü araçlar sağlar. Bu alanlardaki bazı popüler FEM tabanlı yazılım programları şunları içerir :



## **a. PLAXIS 2D:**

PLAXIS 2D, geoteknik mühendislik analizi için özel olarak tasarlanmış kapsamlı bir FEM yazılım programıdır. Zemin deformasyonu, stabilite analizi, konsolidasyon, yeraltı suyu akışı ve dinamik analiz gibi çeşitli geoteknik problemlerin analizi için bir dizi modül sunar. PLAXIS 2D, temellerin, istinat duvarlarının, setlerin, tünellerin ve diğer geoteknik yapıların davranışını simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

### **i. PLAXIS 2D Yazılımının Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı.**

Sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı popüler bir yazılım programıdır. Mühendislerin zemin-yapı sistemlerinin davranışını iki boyutta modellemesine ve simüle etmesine olanak tanır.

PLAXIS 2D'nin nasıl çalıştığına dair ayrıntılı bir açıklama :

- **Geometrik Modelleme**

PLAXIS 2D'yi kullanmanın ilk adımı, zemin ve yapının geometrik bir modelini oluşturmaktır. Bu, zemin profilinin şekli, boyutları ve katmanları gibi geometrinin yanı sıra temeller, istinat duvarları veya kazıklar gibi yapısal elemanların konumu ve özelliklerinin tanımlanmasını içerir. Model, yazılımın, kullanıcıların geometriyi çizebileceği, içe aktarabileceği veya değiştirebileceği grafiksel kullanıcı arayüzü kullanılarak oluşturulabilir.

- **Ağ Üretimi ( Meshleme).**

Geometrik model tanımlandıktan sonra, PLAXIS 2D otomatik olarak bir sonlu eleman ağı oluşturur. Ağ, zemini ve yapısal alanları ayırıklaştıran üçgenler veya dörtgenler gibi küçük geometrik öğelerden oluşan bir ağdan oluşur. Ağ, alanı malzemelerin davranışını yöneten denklemlerin çözülebileceği daha küçük bölgelere ayırdığı için FEM analizinde çok önemli bir rol oynar.

- **Malzeme Özellikleri**

PLAXIS 2D'de farklı zemin ve yapı malzemeleri ilgili özellikleri ile tanımlanabilir. Zemin malzemeleri tipik olarak rijitlik, mukavemet, geçirgenlik ve konsolidasyon özellikleri gibi parametrelerle karakterize edilir. Yapısal malzemeler, elastik modül, Poisson oranı ve mukavemet parametreleri gibi özelliklerle tanımlanabilir. Bu özellikler, modeldeki karşılık gelen öğelere atanır.

- **Sınır Koşulları**

PLAXIS 2D, kullanıcıların zemin-yapı sistemine etki eden dış kısıtlamaları veya yükleri temsil eden çeşitli sınır koşullarını tanımlamasına olanak tanır. Bunlara sabit sınırlar, uygulanan kuvvetler, öngörülen yer değiştirmeler, su basınçları ve termal etkiler dahildir. Sınır koşulları, farklı yükleme senaryoları altında sistemin gerçekçi davranışını yakalamak için gereklidir.

- **Analiz Seçenekleri**

Model, geometri, ağ, malzemeler ve sınır koşulları ile tamamen tanımlandıktan sonra, kullanıcılar PLAXIS 2D'de analiz seçeneklerini ayarlayabilir. Yazılım, statik, sabit durum ve dinamik analizler dahil olmak üzere çeşitli analiz türleri sunar. Kullanıcılar eldeki soruna göre analiz tipini, zaman adımlarını, yakınsama kriterlerini ve diğer ilgili parametreleri belirtebilir.

- **Çözüm Prosedürü**

PLAXIS 2D, tanımlanan model için zemin mekaniğinin yönetici denklemlerini çözmek için FEM'i kullanır. Program, zemin-yapı sisteminin denge, uyumluluk ve kurucu ilişkilerinden türetilen büyük bir cebirsel denklem sistemini çözmek için sayısal teknikleri kullanır. Çözüm prosedürü, yakınsama sağlanana kadar bilinmeyen değişkenleri (yer değiştirmeler, gerilmeler ve boşluk basınçları) yinelemeli olarak günceller.

- **Sonuçları Görselleştirme**

Analiz tamamlandıktan sonra PLAXIS 2D, sonuçları yorumlamak ve analiz etmek için bir dizi görselleştirme aracı sağlar. Kullanıcılar yer değiştirmelerin, gerilmelerin, boşluk basınçlarının veya güvenlik faktörlerinin kontur çizimleri gibi grafik çıktılar üretebilir. Ayrıca oturma değerleri, zemin kuvvetleri veya belirli konumlardaki yapısal tepkiler gibi sayısal sonuçlar elde edebilirler. Bu sonuçlar, mühendislerin sistemin davranışını anlamasına ve kararlılığını, deformasyonunu ve güvenliğini değerlendirmesine yardımcı olur.

PLAXIS 2D'nin kolay arayüzü, sağlam ağ üretimi, malzeme modelleri ve güçlü analiz avantajları, onu geoteknik mühendisleri için değerli bir araç haline getirir. Karmaşık zemin-yapı etkileşimlerini simüle etmelerine, farklı yükleme koşulları altında geoteknik sistemlerin davranışını değerlendirmelerine ve

geoteknik projelerde tasarım, inşaat ve risk azaltma için bilinçli kararlar vermelerine olanak tanır.

## **ii. PLAXIS 2D İle Elde Edilen Önemli Sonuçlar**

- **Deformasyon Analizi**

PLAXIS 2D, farklı yükleme koşulları altında zemin ve yapıların tahmin edilen deformasyonlarını ve oturmalarını hesaplayabilir. Deformasyonların büyüklüğü ve dağılımı hakkında bilgi sağlayarak mühendislerin geoteknik yapıların stabilitesini ve performansını değerlendirmesine olanak tanır.

- **İç Kuvvetler ve Gerilmeler**

PLAXIS 2D, zemin ve yapısal elemanlar içindeki iç kuvvetleri ve gerilmeleri belirleyebilir. Mühendislerin geoteknik yapıların güvenliğini ve tasarımını değerlendirmesine izin vererek, kuvvetlerin ve gerilme konsantrasyonlarının dağılımı hakkında bilgi sağlar.

- **Kayma Dayanımı ve Stabilite Analizi**

PLAXIS 2D şevlerin, setlerin ve istinat duvarlarının güvenliğini değerlendirmek için stabilite analizi yapabilir. Kayma, devrilme, taşıma gücü gibi göçme mekanizmalarına karşı emniyet katsayılarını hesaplayabilir. Bu, tasarımların optimize edilmesine ve olası hasar modlarının belirlenmesine yardımcı olur.

- **Yeraltı Suyu Analizi:**

PLAXIS 2D, doymuş ve doymamış zeminlerde yeraltı suyu akışını simüle edebilir ve analiz edebilir. Boşluk basıncı dağılımını, sızıntı hızlarını ve su akış yollarını hesaplayabilir. Bu bilgi, şevlerin stabilitesini değerlendirmek, oturma analizi yapmak ve suyun geoteknik yapılar üzerindeki etkilerini anlamak için çok önemlidir.

- **Deprem ve Dinamik Analiz**

PLAXIS 2D, deprem kaynaklı yer hareketleri de dahil olmak üzere dinamik yükleme koşullarını simüle edebilir. İvme, hız ve yer değiştirmeler gibi dinamik yanıt parametrelerini hesaplayabilir. Bu, sismik tasarım ve zemin-yapı etkileşim sistemlerinin dinamik davranışını değerlendirmek için özellikle önemlidir.

- **İnşaat Sıralaması ve Aşamalı Kazı**

PLAXIS 2D, inşaat sıralarının ve kademeli kazıların analizine izin verir. Hafriyat, zemin kaldırma ve yapısal elemanların montajının zaman içindeki etkilerini simüle edebilir. Bu, inşaat faaliyetlerinin bitişik yapılar üzerindeki etkisinin ve kazı stabilitesinin değerlendirilmesine yardımcı olur.

Genel olarak PLAXIS 2D, geoteknik yapıların davranışını ve performansını değerlendirmek için kapsamlı bir dizi analiz yeteneği sağlar. Mühendislerin geoteknik projelerin tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında bilinçli kararlar almasına yardımcı olarak güvenliklerini ve optimum performanslarını sağlar.

#### **b. ABAQUS**

ABAQUS, geoteknik ve deprem mühendisliği dahil olmak üzere çok çeşitli mühendislik disiplinlerini kapsayan çok yönlü bir FEM yazılımıdır. Doğrusal olmayan zemin davranışını, büyük deformasyonları ve dinamik yükleme koşullarını dikkate alarak karmaşık zemin-yapı etkileşimi problemlerini modellemek ve analiz etmek için gelişmiş avantajlar sağlar. ABAQUS, zorlu geoteknik problemlerin üstesinden gelmede sağlamlığı ve esnekliği ile bilinir.

#### **c. FLAC**

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua), geoteknik analiz için özel bir FEM yazılım programıdır. Özellikle zeminlerin, kayaların ve diğer jeolojik malzemelerin davranışını simüle etmek için çok uygundur. FLAC, doğrusal olmayan zemin davranışının modellenmesine, birleşik hidro-mekanik analize ve dinamik analize izin verir. Şev stabilitesi, kazı kaynaklı zemin hareketleri ve yer altı inşaat projelerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **d. OpenSees**

OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation), özellikle deprem mühendisliği uygulamaları için tasarlanmış açık kaynaklı bir FEM yazılım platformudur. Sismik yükler altındaki yapıların davranışını modellemek ve simüle etmek için esnek bir çerçeve sağlar. OpenSees, deprem kuvvetlerine maruz kalan yapıların tepkisini doğru bir şekilde yakalamak için çok çeşitli malzeme modelleri, eleman türleri ve analiz algoritmaları sunar.

## e. SAP2000

SAP2000, FEM avantajlarını içeren genel amaçlı bir yapısal analiz ve tasarım yazılımıdır. Geoteknik mühendisliğine özgü olmamakla birlikte, zeminle etkileşime giren yapıların tepkisini analiz etmek için kullanılabilir. SAP2000, statik, dinamik ve sismik analiz dahil olmak üzere doğrusal ve doğrusal olmayan analiz için gelişmiş analiz özellikleri sunar. Genellikle binaları, köprüleri ve diğer inşaat mühendisliği yapılarını tasarlamak ve analiz etmek için kullanılır.

Bu yazılım programları, FEM'in geoteknik ve deprem mühendisliğinde uygulanmasını kolaylaştırmak için kullanıcı dostu arayüzler, güçlü modelleme avantajları ve gelişmiş analiz araçları sağlar. Mühendislerin, çeşitli geoteknik ve sismik koşullarda geoteknik yapıların güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için doğru simülasyonlar gerçekleştirmesine, farklı tasarım alternatiflerini değerlendirmesine ve bilinçli kararlar vermesine olanak tanır.

## B. Vakaların Tanıtımı (Zemin Etütlerinden Alınan Geoteknik Parametreler)

### 1. VAKA (1) Parametreleri, Kumlu Zemin Örneği (Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmıştır).

Çizelge 2. VAKA (1) tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler, (Kumlu Zemin Örneği Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmıştır).

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	17	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	20	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	$13 \cdot 10^3$	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.3	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	1	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	30	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 2'ye göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 17 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 20 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doygun durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ ,  $13.10^3$  kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.3 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanal genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 1 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 30 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, zemin davranışının anlaşılması, yapısal analizlerin yapılması ve mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için önemlidir.

## **a. Tasarımda Kullanılacak Geoteknik Parametrelerin Seçimi**

### **i. Young Modülü (Elastic Modulus)**

Young modülü, bir malzemenin elastik davranışını ifade eden bir parametredir. Elastik davranış, malzemenin bir yük uygulandığında ne kadar şekil değiştirdiğini ve yük kaldırıldığında eski şeklini ne kadar geri kazandığını tanımlar. Young modülü, bir malzemenin gerilmeye tepkisini belirtir ve yüksek bir Young modülü, malzemenin sert ve katı olduğunu gösterirken, düşük bir Young modülü daha esnek bir davranışı ifade eder.

Örneğin, verilen değer olan  $13 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  (veya MPa cinsinden 13 GPa) gibi bir Young modülü değeri, zeminin sert veya katı bir malzeme olduğunu ve büyük deformasyonlara karşı direnç gösterebileceğini gösterir. Bu tür bir değer seçimi, genellikle proje gereksinimlerine, zeminin gerçek özelliklerine ve geoteknik mühendislerinin deneyimine dayanır.

## ii. Poisson Oranı

Poisson oranı, bir malzemenin yanıt verme şeklini tanımlayan bir parametredir. Bir malzemenin uzunlamasına gerilip kısaltıldığında, yanıt olarak yanlardan genişler. Poisson oranı, bu yanıtın nasıl gerçekleştiğini ifade eder. Pozitif bir Poisson oranı, malzemenin uzunlamasına gerildiğinde yanlardan genişlediği anlamına gelir. Negatif bir Poisson oranı ise tam tersini ifade eder.

Verilen değer olan 0.3 gibi bir Poisson oranı, zeminin genellikle tipik bir değerdir. Bu, zeminin eşdeğer bir şekilde uzunlamasına gerildiğinde yanlardan nasıl genişleyeceğini belirtir. Poisson oranı, aynı zamanda zeminin sıkıştırılabilirliği ve davranışını anlamak için kullanılır.

Mukavemet "Strength" terimi, zeminin dayanım özelliklerini belirtirken, "kohezyon," "sürtünme açısı" ve "genleşme açısı" gibi değerler ise zeminin davranışını daha ayrıntılı bir şekilde tanımlar. İşte bu parametrelerin anlamları ve neden verilen değerlerin seçildiği hakkında daha fazla bilgi:

## iii. Kohezyon (c)

Kohezyon, zeminin içsel yapısından kaynaklanan, zemin tanecikleri arasındaki çekme kuvveti olarak tanımlanabilir. Kohezyon, zeminin kendi kendine yapışma kapasitesini ifade eder. Kohesif zeminler (kil, çamur gibi) genellikle yüksek kohezyon değerlerine sahiptir. Verilen değer olan  $1 \text{ kN/m}^2$ , zeminin düşük kohezyon özelliklerine sahip olduğunu ve kendiliğinden yapışma kapasitesinin sınırlı olduğunu gösterir.

## iv. Sürtünme Açısı ( $\phi'$ )

Sürtünme açısı, granüler zeminlerin içsel sürtünme direncini ifade eder. Zemin tanecikleri arasındaki sürtünme nedeniyle zemin yüklemelerine karşı dirençli olurlar. Genellikle granüler zeminler (kum, çakıl gibi) daha yüksek sürtünme açalarına sahiptir. Verilen değer olan  $30^\circ$ , zemin taneciklerinin yük

altında kaymaya karşı dirençli olduğunu ve bu tür bir zeminin sürtünme açısının bu değerde seçildiğini gösterir.

#### i. Genleşme Açısı ( $\psi$ )

Genleşme açısı, zeminin kendiliğinden genleşme veya sıkışma yeteneğini tanımlar. Bu parametre, zeminin hacim değişikliklerine nasıl yanıt verdiğini ifade eder. Genleşme açısı genellikle kil gibi kohesif zeminler için kullanılır.

Verilen değer olan  $0^\circ$ , zeminin hacim değişikliklerine neredeyse yanıt vermediğini ve sıkışmaya karşı direnci olduğunu gösterir.

Değerlerin Seçimi: Bu değerlerin seçimi, saha deneyleri, laboratuvar testleri ve benzer projelerden elde edilen deneyim gibi faktörlere dayanır. Zeminin gerçek davranışını yansıtacak şekilde bu değerlerin seçilmesi önemlidir. Geoteknik mühendisler, genellikle zeminin tipine, özelliklerine, proje gereksinimlerine ve tasarım standartlarına uygun olarak bu değerleri seçerler.

## 2. VAKA (2) Parametreleri, Bakırköy İlçesi Yeşilyurt mahallesi killi zemin (siltli kil, kil, kireçtaşı ardalanımı), Yerel zemin sınıfı ZC.

Çizelge 3'te, istanbul ili, Bakırköy İlçesi, Yeşilyurt Mahallesi, Ürgüplü Caddesi 47 Pafia, 662 Ada, 8 Parsel'de zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenmektedir.

Çizelge 3. VAKA (2) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	17.77	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	18.77	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	5773	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.38	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	55.81	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	9	$^\circ$
Genleşme açısı	$\psi$	0	$^\circ$



Malzeme parametreleri, Çizelge 3'e göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 17.77 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doymuş birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 18.77 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doymuş durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ , 5773 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.38 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanıl genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 55.81 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 9 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, zemin davranışının anlaşılması, yapısal analizlerin yapılması ve mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için önemlidir.

### **3. VAKA (3) Parametreleri, Sultangazi ilçesi 150 yıl mahallesi (Yerel zemin sınıfı ZD).**

Bu çalışma, İstanbul ili, Sultangazi ilçesi, 50, yıl mahallesi, Pafta, 2632 Ada, 54 numaralı parselde yapılacak konut amaçlı inşaat projesi için hazırlanmıştır.

Çizelge 4. VAKA (3) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	18.338	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	19.338	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	37951.736	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.42128	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	77.473	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	2	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 4'e göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 18.338 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 19.338 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doygun durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ , 37951.736 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.42128 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanal genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 77.473 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 2 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, zemin

davranışının anlaşılması, yapısal analizlerin yapılması ve mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için önemlidir.

#### **4. VAKA (4) Parametreleri, Silivri İlçesi, Büyük Çavuşlu Mahallesi, (Yerel zemin sınıfı ZC), Kum Arabantlı Sert Yeşil Kumlu Siltli Kil.**

İstanbul İli, Silivri İlçesi, Büyük Çavuşlu Mahallesi, İstanbul Caddesi üzerinde bulunan ve Silivri Belediyesi sınırları içerisinde kalan F20A22D3A Pafta, 4928 Ada, 47 Parsel 695,94 m<sup>2</sup> ve 41.257400"

Enlem, 28.066335" boylam koordinatlarındadır.

Çizelge 5. VAKA (4) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreler.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	18.603	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	19.603	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	48124.174	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.4	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	112.16	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	25	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 5'e göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 18.603 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doymuş birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 19.603 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doymuş durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ , 48124.174 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.4 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanal genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 112.16 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 25 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, zemin davranışının anlaşılması, yapısal analizlerin yapılması ve mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için önemlidir.

##### **5. VAKA (5) Parametreleri, Büyükçekmece İlçesi, Güzelce Mahallesi, Kumlu kil, Yerel Zemin Sınıfı ZD.**

Çizelge 6, İstanbul İli, Büyükçekmece İlçesi, Güzelce Mahallesi, 484 Ada 1 Parselde HÜSEYİN PAŞAHAN adına, ait arsanın inşaat projesi için hazırlanmıştır.

Çizelge 6. VAKA (5) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	18.466	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	19.466	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	26319.087	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.365	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	103,88	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	9.26	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 6'ya göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 18.466 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 19.466 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doygun durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ , 26319.087 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.365 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanıl genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 103.88 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 9.26 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, zemin davranışının anlaşılması, yapısal analizlerin yapılması ve mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için önemlidir.

## **6. VAKA (6) parametreleri, Fatih İlçesi, Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Yerel Zemin Sınıfı ZC, Çakılıl Siltli Kumlu Sert Kil Zemin.**

Çizelge 7, İstanbul ili, Fatih İlçesi, Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Müftü Hamamı sokak üzerinde yer alan 457 Pafta, 2464 Ada, 39 Parsel' de konut projesi kapsamında zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Çizelge 7. VAKA (6) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	18.66	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	19.66	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	45000	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.394	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	54.66	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	12.14	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 7'ye göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme modeli "Mohr-Coulomb" olarak belirtilmiştir. Bu modelde zeminin mukavemet davranışı, belirli bir kohezyon değeri ve sürtünme açısı kullanılarak tanımlanır.

- Malzemenin davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 18.66 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 19.66 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doygun durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü  $E'$ , 45000 kN/m<sup>2</sup> (45 bin kN/m<sup>2</sup>) olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.394 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanal genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c'_{ref}$ , 54.66 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder.

- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 12.14 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 0 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, yapısal analizlerin yapılması, mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi ve zemin davranışının anlaşılması için önemlidir.

**7. VAKA (7) Parametreleri, Tuzla İlçesi İçmeler Mahallesi, Yerel zemin sınıfı (ZB), Sedef Adası Kireçtaşı Üyesine Ait Koyu Kül Renkli Kızılımsı Kalsit Damarı Kırıklı Çatlaklı Kaya Zemin.**

İstanbul ili. Tuzla ilçesi, İçmeler Mahallesi, 236EF3B Pafta, 6051 Ada, 10 Parselde Zemin ve Temel Etüt Veri Çizelgesi hazırlanmıştır.

Çizelge 8. VAKA (7) için zemin etüdü sonuçları ve tasarımda kullanılacak geoteknik parametreleri.

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	22	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	23	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	5.605 x10 <sup>6</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.39	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	0	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	35	°
Genleşme açısı	$\psi$	5	°

Malzeme parametreleri, Çizelge 8'e göre belirlenen Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizlerde, malzemenin davranışını aşağıdaki gibi sergilemektedir:

- Malzeme modeli "Mohr-Coulomb" olarak belirtilmiştir. Bu modelde zeminin mukavemet davranışı, belirli bir kohezyon değeri ve sürtünme açısı kullanılarak tanımlanır.

- Malzemenin davranış türü "Drained" olarak belirtilmiştir, yani zeminin drenajı serbesttir ve suyun drenajına izin verilir. Bu durumda, zeminin gerilme durumları drenaj koşullarına uygun şekilde değerlendirilir.

- Malzemenin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_{unsat}$ , 22 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

- Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı  $\gamma_{sat}$ , 23 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin doygun durumdaki ağırlığını ifade eder.

- Young modülü E', 5.605 ×10<sup>6</sup> kN/m<sup>2</sup> (5.605 milyon kN/m<sup>2</sup>) olarak belirtilmiştir. Bu değer, malzemenin elastik özelliklerini temsil eder.

- Poisson oranı  $\nu'$ , 0.39 olarak verilmiştir. Bu değer, malzemenin yanal genişlemeye tepkisini ve elastik deformasyonlarını ifade eder.

- Kohezyon  $c_{ref}$ , 0 kN/m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Kohezyon, malzemenin içsel yapısından kaynaklanan mukavemet özelliğini ifade eder. Bu durumda kohezyon etkisi yok kabul edilir.

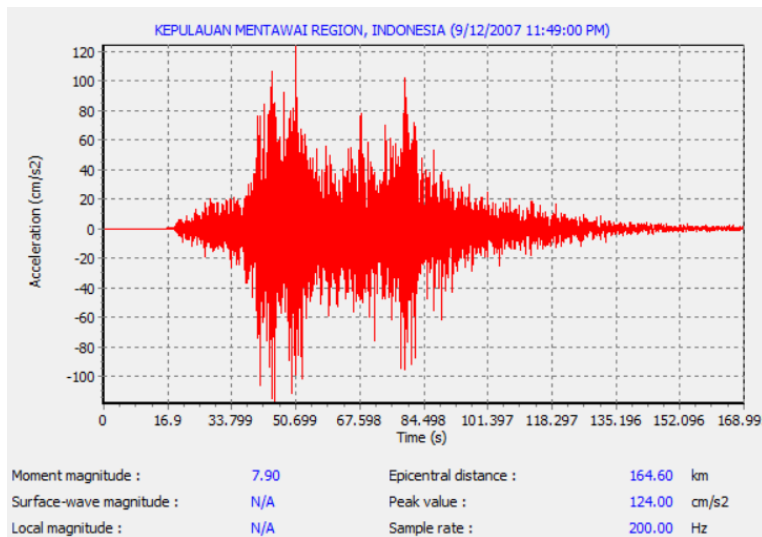
- Sürtünme açısı  $\phi'$ , 35 derecedir. Bu değer, malzemenin içsel sürtünme özelliğini ve zemin parçacıklarının birbirine göre nasıl hareket ettiğini ifade eder.

- Genleşme açısı  $\psi$ , 5 derecedir. Bu değer, malzemenin genleşme ve büzülme davranışını ifade eder.

Bu parametreler, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak zemin davranışının analiz edilmesinde kullanılır. Malzemenin bu özellikleri, yapısal analizlerin yapılması, mukavemet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi ve zemin davranışının anlaşılması için önemlidir.

### C. Kullanılacak depremler:

#### 1. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia.



Şekil 1. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia deprem kaydı.



Çizelge 9. 12/9/2007'de Endonezya'daki Kepulauan Mentawai Bölgesi depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Project															
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for															
September 12, 2007, Kepulauan Mentawai Region, Indonesia Earthquake (posted 09/28/2007)															
Mw 7.9, 09/12/2007, 23:49 UTC, 09/13/2007, 06:49 AM Local, 2.506 S, 100.906 E, 30 km depth, Event ID# us2007hec6															
Inst type	Inst S/N	Recorder Location	Owner	Lat deg	Lon deg	Dist km	Az deg	Ch No	Sensor type	Orient deg	PGA cm/s/s	PGV cm/s	PSA at:		
													0.3 s	1.0 s	3.0 s
K2	590	Sikuai Island, West Sumatra	CTO/USGS	-1.1247	100.3534	165	338	1	FBA-2g	360	124	7.6	41.1	6.3	1.2
								2	FBA-2g	UP	42	-6.8	14.5	4.9	2.3
								3	FBA-2g	90	-114	8.3	22.3	6.5	1.7

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{124}{7.6} = 16.316$$

Endonezya'nın Kepulauan Mentawai bölgesinde meydana gelen 12 Eylül 2007 tarihli depreminin neden olduğu zemin hareketinin düzeltilmiş pik yer ivmesi, hızı ve psödospektral ivme değerlerini gösteriyor (28/09/2007 tarihinde yayınlandı).

Depremin büyüklüğü 7.9 MW, 09/12/2007, 23:49 UTC, 13/09/2007, 06:49 yerel saat ile, 2.506 S, 100.906 D, Derinlik 30 km, Olay Kimlik Numarası# us2007hec6 olarak bildirilmiştir.

Bu veriler, farklı istasyonların depremin zemin hareketine olan etkilerini ölçmek amacıyla kullanılan sismograf ekipmanlarının ölçümlerini içerir.

Çizelge 9'e göre bu verileri içermektedir:

- İstasyon Adı (Sta): PSKI
- Enstrümantasyon Türü (Inst): K2
- Cihaz Türü (Inst): 590
- Kaydedici Konumu (Recorder Location): Sikuai Adası, Batı Sumatra
- Sahibi (Owner): CTO/USGS
- Enlem (Lat): -1.1247
- Boylam (Lon): 100.3534
- Uzaklık (Dist): 165 km
- Açık (Az): 338 derece
- Kanal (Ch): 1
- Sensör Tipi (Sensor): FBA-2g

- Sensör Yönü (Orient): 360 derece
- En Yüksek Pik Yer İvmesi (PGA): 7.6 cm/s<sup>2</sup>
- En Yüksek Pik Yer Hızı (PGV): 41.1 cm/s
- 0.3 s, 1.0 s ve 3.0 s için psödospektral ivme (PSA) değerleri: 6.3 cm/s<sup>2</sup>, 1.2 cm/s<sup>2</sup>, 2.3 cm/s<sup>2</sup>

Çizelge 9'da, USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi tarafından sağlanmış ve veriler bu kaynaktan elde edilmiştir. Veri analizi sürecinde, PGA değerlerini içeren sütunun bir sonraki sütundaki PGV değerlerine bölünmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bölme işlemi, Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir,

Bu işlemin sonucunda elde edilen oranlar arasından en büyük değer seçilmiştir. Bu durum, PGA/PGV oranının en yüksek noktasının belirlenmesi anlamına gelmektedir. Yani, her istasyon için hesaplanan PGA/PGV oranları içerisinde en büyük oran seçilerek analizde kullanılmıştır.

Seçilen değeri sarı renkli bir işaretle işaretlenmektedir. PGA değeri (cm/s/s) 124'i PGV değeri (cm/s) 7.6'ya böldüğümüzde 16 civarında değerini elde ettik.

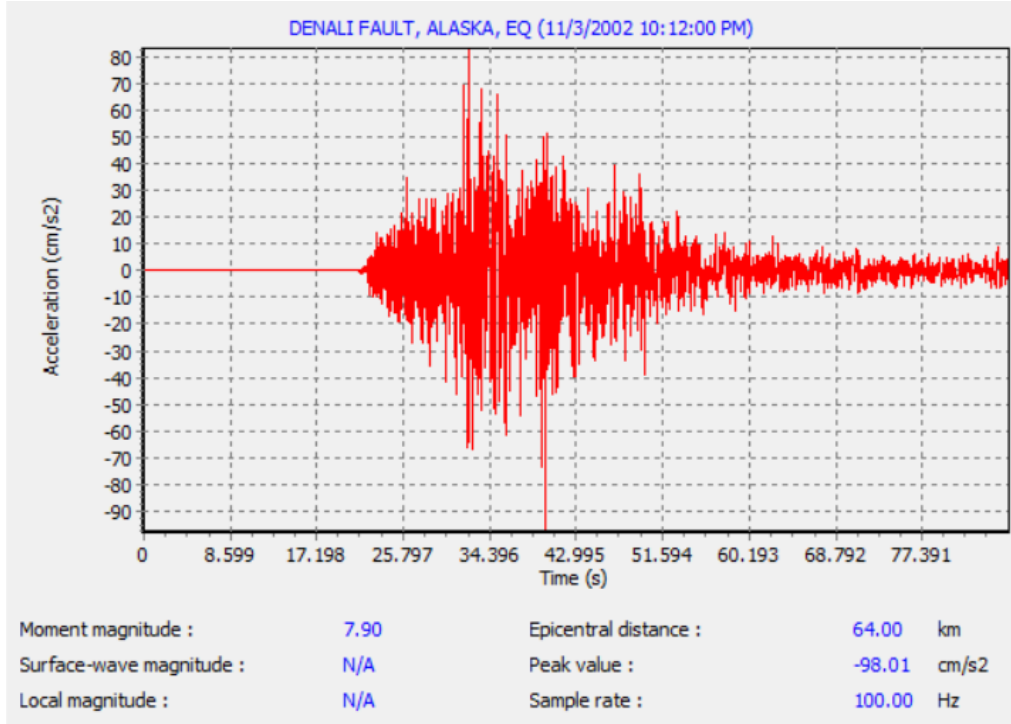
Bu adımların ardından, elde edilen en büyük PGA/PGV oranı ile ilişkilendirilmiş istasyonun zemin hareket analizi PLAXİS 2D programı kullanılarak yapılmıştır.

Bu program, zeminin depremin etkisi altında nasıl davrandığını modelleme ve simüle etme yeteneğine sahiptir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarından zeminde meydana gelen değişim, yani deplasman değeri elde edilmiştir. Bu deplasman değeri, depremin zemin üzerindeki etkisinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Sonuç olarak, bu analiz süreci, USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi tarafından sağlanan verilerin değerlendirilmesi ve analizinde kullanılmıştır. Bu verilerin PGA/PGV oranlarına bölünmesi ve en yüksek oranın seçilmesiyle elde edilen sonuçlar, depremin zemindeki etkilerini anlamak ve değerlendirmek adına önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. PLAXİS 2D programı ise bu analiz sürecini desteklemek ve depremin etkilerini simüle etmek için kullanılmıştır.

## 2. Denali Fay, Alaska



Şekil 2. Denali Fay, Alaska deprem kaydı.

Çizelge 10. 11/04/2002 tarihinde Alaska Denali Fayı depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Program													
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity Values for													
November 03, 2002, Denali Fault, Alaska Earthquake (posted 11/04/2002; updated 05/08/2006)													
Mw 7.9, 11/03/2002, 22:12 UTC, 11/03/2002 01:12 PM AKST, 63.517 N, 147.525 W, 5 km depth													
Sta Code	Inst type	Inst S/N	Recorder Location	Owner	Lat deg	Lon deg	Dist km	Az deg	Ch No	Sensor type	Orient deg	PGA cm/s <sup>2</sup>	PGV cm/s
R109	CMG5TD	5596	AK: R109 (temp)	ANSS/UA	63.3953	-148.6468	57.6	257	1	CMG5	360	107.30	12.95
									2	CMG5	90	58.57	-6.15
									3	CMG5	UP	48.49	5.72
Carlo	CMG5TD	5595	AK: Carlo (temp)	ANSS/UA	63.5514	-148.8093	64.0	274	1	CMG5	360	-86.14	10.38
									2	CMG5	90	-98.01	7.56
									3	CMG5	UP	-70.21	-8.51

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{98.01}{7.56} = 12.964$$

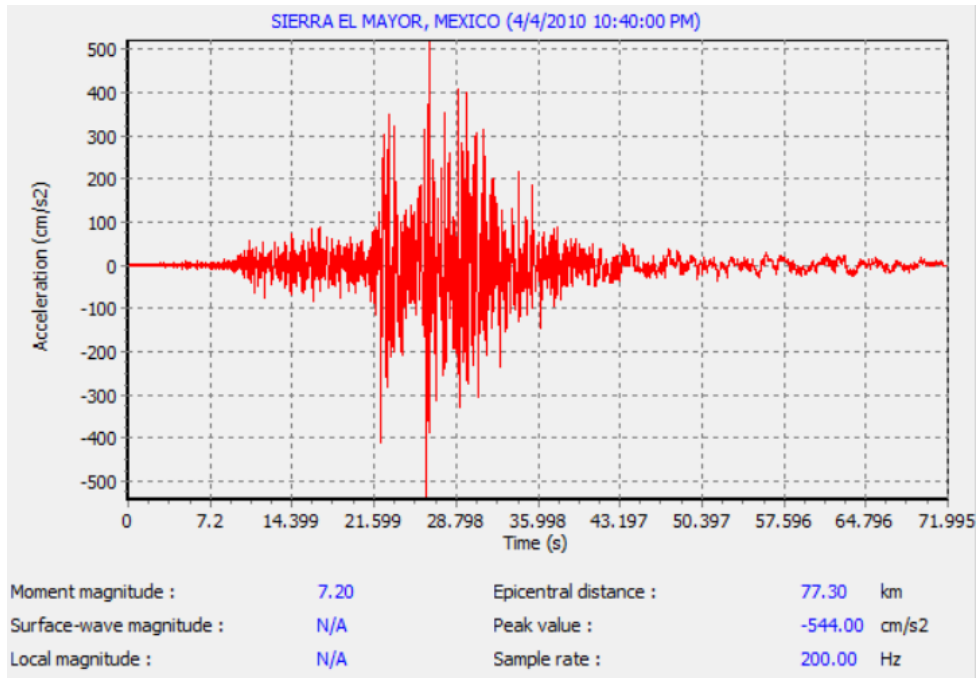
Çizelge 10'da 11/04/2002 tarihinde (05/08/2006 tarihinde güncellendi) Alaska Denali Fayı Deprem büyüklüğü: 7.9 Tarih ve Saat: 03/11/2002, 22:12 UTC Yerel Saat: 03/11/2002, 13:12 AKST Enlem: 63.517 N Boylam: 147.525 W Derinlik: 5 km

Burada verilen ifade, bir depremin Peak Ground Acceleration (PGA) değerini Peak Ground Velocity (PGV) değerine böldüğümüzde elde edilen bir oranı ifade eder. Bu oran, depremin yer yüzeyinde yarattığı en yüksek ivme (PGA) ile yer yüzeyindeki en yüksek hız (PGV) arasındaki ilişkiyi gösterir.

Verilen örnekte, Deprem için elde edilen PGA değeri  $98.01 \text{ cm/s}^2$  ve PGV değeri  $7.56 \text{ cm/s}$ 'dir. Bu iki değeri birbirine böldüğümüzde, 12.964 elde edilir. Bu oran, depremin ivme ile hız arasındaki oranını gösterir ve herhangi bir birim kullanmaksızın birimsiz bir sayıdır.

Bu oranın yüksek olması, depremin yer yüzeyinde yüksek ivmeye kıyasla daha düşük hız ürettiği anlamına gelir. Bu tür oranlar, depremin karakteristik özelliklerini ve yer yüzeyine olan etkisini anlamada kullanılabilir. Özellikle yapısal mühendislik ve deprem mühendisliği gibi alanlarda, bu tür oranlar deprem hasarını ve etkilerini değerlendirmede önemli bir role sahip olabilir.

### 3. Sierra El Mayor, Mexico



Şekil 3. Sierra El Mayor, Mexico deprem kaydı.

Çizelge 11. 04/04/2010 tarihinde Sierra El Mayor, Mexico depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Project																
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for																
April 04, 2010, Sierra El Mayor, Mexico Earthquake (posted 04/06/2010; updated 12/06/2012)																
Mw 7.2, 04/04/2010, 22:40 UTC, 02/03/2010, 03:40 PM PDT, 32.128 N, 115.303 W, 10.0 km depth, Regional Network ID# ci14607652																
Sta Code	Inst type	Inst S/N	State: City; Recorder Location	Owner	Lat deg	Lon deg	Dist km	Az deg	Ch No	Sensor type	Orient deg	PGA cm/s/s	PGV cm/s	PSA 5% damping %g		
													0.3 s	1.0 s	3.0 s	
5053	K2	725	CA: Calexico; Fire Station	USGS	32.6695	-115.4925	62.6	344	1	FBA-2g	360	-258	-38.5	65.1	22.7	9.69
									2	FBA-2g	UP	233	-12.0	21.7	10.0	7.32
									3	FBA-2g	90	266	40.6	73.7	40.1	12.40
5054	K2	2407	CA: Bond's Corner; Omlin Residence	USGS	32.6930	-115.3382	62.7	357	1	EpiSen	90	-270	-19.4	82.9	18.0	6.80
									2	EpiSen	360	189	-25.1	42.0	19.7	5.26
									3	EpiSen	UP	-106	6.9	18.5	6.7	3.97
931	K2	440	CA: El Centro; 12, Meloland Cattle Co	USGS	32.7177	-115.6379	72.6	334	1	FBA-2g	360	-325	72.8	70.6	75.6	13.00
									2	FBA-2g	UP	-269	-17.0	27.3	14.8	6.26
									3	FBA-2g	90	-398	70.1	81.2	60.7	12.90
5058	Etna	2010	CA: El Centro; 11, McCabe School	USGS	32.7517	-115.5952	74.4	338	1	EpiSen	90	576	-63.2	246.0	72.3	9.23
									2	EpiSen	360	434	58.8	211.0	46.6	10.70
									3	EpiSen	UP	-247	20.5	49.3	12.3	9.33
5055	Etna	2037	CA: Holtville; Post Office	USGS	32.8114	-115.3786	76.1	355	1	EpiSen	90	-185	22.7	53.8	21.9	9.28
									2	EpiSen	360	185	33.2	46.5	18.9	5.20
									3	EpiSen	UP	-96	8.1	14.6	5.4	3.32
464	Etna	2027	CA: El Centro; Meadows Union Sch	USGS	32.8000	-115.4746	76.3	348	1	EpiSen	90	-195	-29.6	39.6	28.2	6.52
									2	EpiSen	360	-183	23.7	52.4	23.4	5.56
									3	EpiSen	UP	95	-8.3	14.6	3.9	3.15
412	K2	589	A: El Centro; 10, Regional Hospital	USGS	32.7806	-115.5681	76.5	341	1	FBA-2g	230	-374	-47.5	114.0	68.4	9.06
									2	FBA-2g	UP	209	-10.2	23.3	12.1	4.76
									3	FBA-2g	320	357	-44.8	136.0	34.6	10.30
5165	Etna	2040	CA: El Centro; Differential Array	USGS	32.7968	-115.5359	77.3	344	1	EpiSen	90	496	-38.4	142.0	69.4	6.41
									2	EpiSen	360	-544	28.7	153.0	36.1	6.57

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{544}{28.8} = 18.889 \text{-----}(1)$$

Bu ifade (1), belirli bir depremin sismik verilerindeki en yüksek Peak Ground Acceleration (PGA) değerinin Peak Ground Velocity (PGV) değerine bölünerek hesaplanan bir oranı ifade ediyor. Bu oran, depremin yer yüzeyindeki ivmesinin yer yüzeyindeki hızına bölünerek elde edilir. Bu özel ölçüm sonucunda, belirli bir depremin en yüksek ivme ve hız değerlerini karşılaştırarak bu oranın hesaplandığı anlamına gelir. Örneğin, belirli bir depremin en yüksek (PGA/PGV) oranı 18.889 olarak hesaplanmışsa, bu depremin yer yüzeyindeki ivme ve hızının bu oranla ilişkilendirildiğini gösterir.

USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi Nisan 04, 2010, Sierra El Mayor, Meksika Depremi için Ön Değerlendirilmiş Düzeltme Yapılmış Pik yer ivmesi ve Hızı ile Psödo-Spektal ivme Değerleri (04/06/2010 tarihinde yayınlandı; 12/06/2012 tarihinde güncellendi)

Mw 7.2, 04/04/2010, 22:40 UTC, 02/03/2010, 03:40 PM PDT, 32.128 N, 115.303 B, 10.0 km derinlik, Bölgesel Ağ Kimlik Numarası: ci14607652

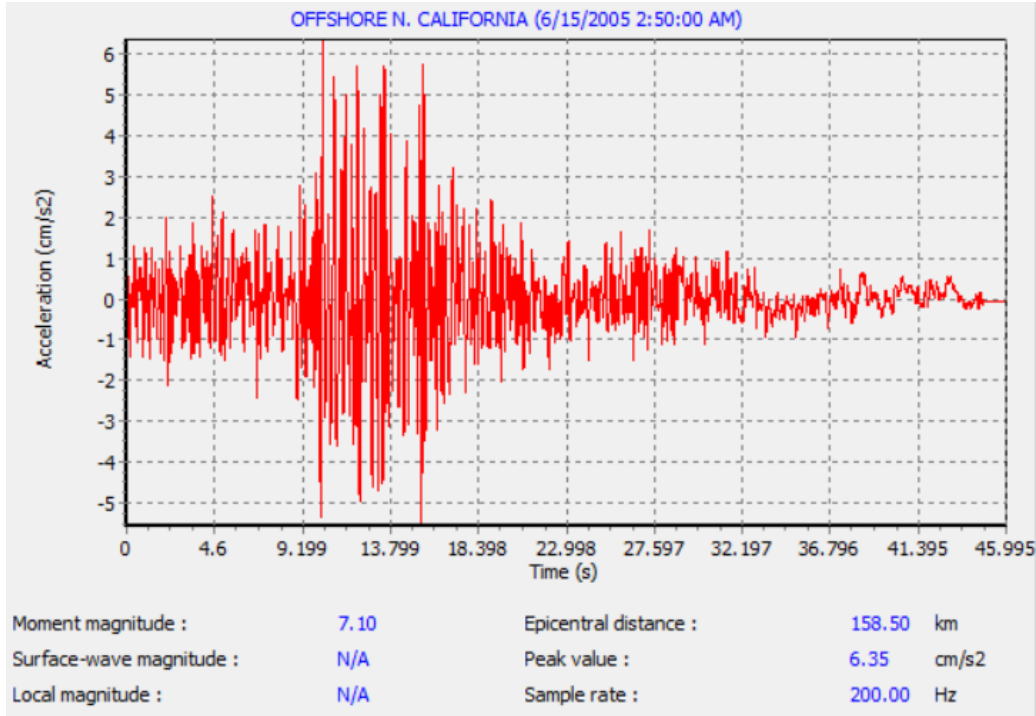
Bu veriler, USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi tarafından sağlanmış olan ve 2010 yılında meydana gelen Sierra El Mayor, Meksika Depremine ilişkin ön değerlendirilmiş Düzeltme Yapılmış Pik yer ivme ve Hız verilerini içerir.

Deprem büyüklüğü (Mw) 7.2 olarak belirtilmiştir ve depremin tarihi, saatleri, enlem ve boylam koordinatları, derinlik gibi temel bilgiler verilmiştir.

Bu veriler, depremin yer yüzeyinde yarattığı ivme (Peak Ground Acceleration - PGA) ve hız (Peak Ground Velocity - PGV) değerlerini içerir. Ayrıca, Pseudo-Spectral Acceleration (PSA) değerleri de sunulmuştur. Bu PSA değerleri, depremin etkilerinin yapısal tasarım ve risk değerlendirmesi gibi alanlarda daha ayrıntılı analizler için kullanılabilir.

Bu tür veriler, deprem etkilerini anlamada ve gelecekteki depremlerin etkilerini tahmin etmede büyük öneme sahiptir. Araştırmacılar ve mühendisler, bu tür verileri kullanarak yapıların depreme karşı dayanıklılığını değerlendirebilir ve deprem riskini azaltıcı tedbirler alabilirler. Ayrıca, bu veriler, deprem aktivitesinin izlenmesi ve anlaşılmasına yönelik bilimsel çalışmalarda da kullanılabilir.

#### 4. Offshore Northern California, CA



Şekil 4. Offshore Northern California, CA deprem kaydı.

Çizelge 12. 15/06/2005 tarihinde Offshore Northern California, CA depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Program															
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for															
June 15, 2005, Offshore Northern California, CA Earthquake (posted 06/17/2005; updated 09/27/2005)															
Mw 7.1, 06/15/2005, 02:50 UTC, 06/14/2005, 07:50 PM PDT, 41.329 N, 125.863 W, 21.0 km depth, Regional Network ID# usziae															
Inst	Inst	State: City; Recorder Location	Owner	Lat	Lon	Dist	Az	Ch	Sensor	Orient	PGA	PGV	PSA at:		
type	S/N			deg	deg	km	deg	No	type	deg	cm/s/s	cm/s	0.3 s	1.0 s	3.0 s
Etna	2039	CA: Ferndale; Centerville B&B	USGS	40.544	-124.354	128	124	1	EpiSen	90	-11.40	1.54	4.29	0.907	0.192
								2	EpiSen	360	13.30	-2.31	4.79	0.759	0.275
								3	EpiSen	UP	6.20	0.71	1.79	0.370	0.198
Etna	2003	CA: Ferndale; Bunker Hill FAA	USGS	40.498	-124.295	133	124	1	EpiSen	90	5.27	1.30	2.47	0.429	0.130
								2	EpiSen	360	-3.23	-0.99	1.12	0.455	0.135
								3	EpiSen	UP	-1.17	0.44	0.37	0.210	0.084
Etna	2021	CA: Eureka; South Bay School	USGS	40.735	-124.207	154	115	1	EpiSen	270	-11.70	-1.06	3.31	1.350	0.200
								2	EpiSen	180	13.60	1.91	1.96	0.780	0.260
								3	EpiSen	UP	-4.91	-0.59	1.00	0.506	0.185
Etna	2023	CA: Arcata; Humboldt State Univ	USGS	40.874	-124.075	159	108	1	EpiSen	90	6.35	0.52	2.89	0.227	0.096
								2	EpiSen	360	-5.17	0.59	1.31	0.175	0.092
								3	EpiSen	UP	1.78	-0.36	0.57	0.172	0.051

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{6.35}{0.52} = 12.212$$

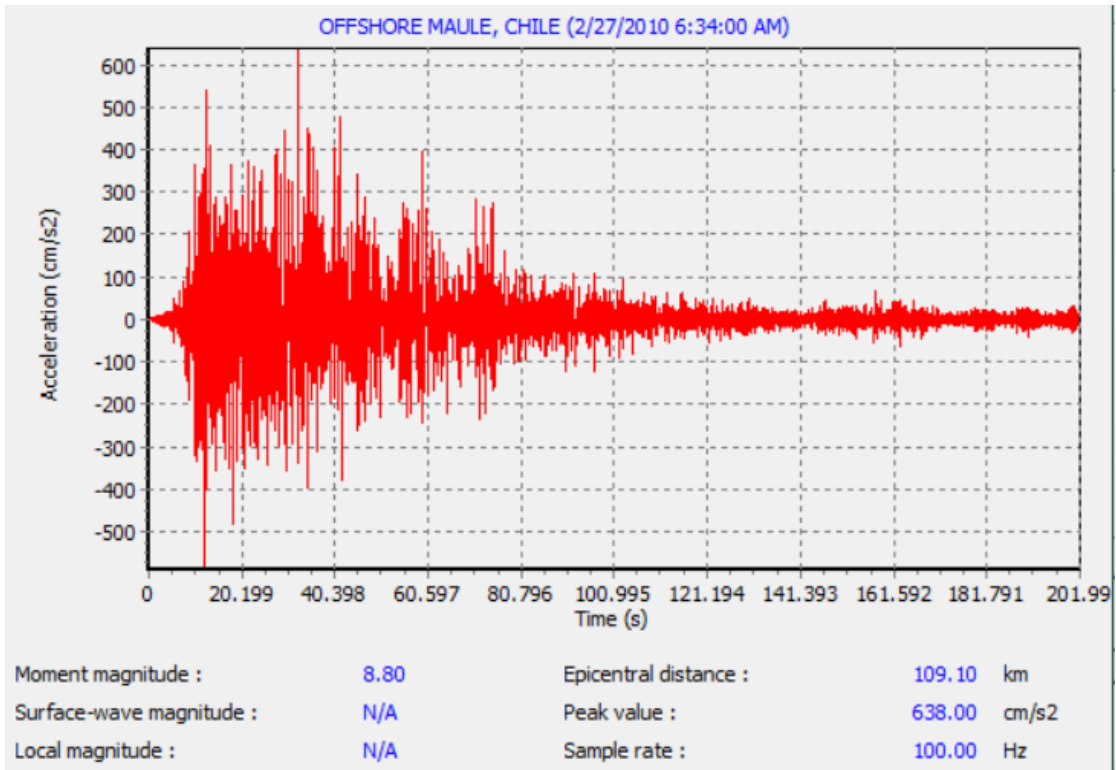
"Max (PGA/PGV) = 6.35/0.52 = 12.212" ifadesi, belirli bir deprem olayının Peak Ground Acceleration (PGA) değerini Peak Ground Velocity (PGV) değerine böldüğümüzde elde edilen oranın hesaplandığını ifade eder. Bu oran, belirli bir depremin zemin hareketlerinin hızını ivmeye göre ne kadar etkilediğini ölçmeye yönelik bir değerlendirmedir. Örneğin, burada hesaplanan 12.212 oranı, depremin ivme değerlerinin zemin hareket hızlarına göre yaklaşık 12.212 kat daha büyük olduğunu gösterir. Bu tür değerlendirmeler, deprem etkilerinin incelenmesi ve depremin oluşturduğu zemin hareketlerinin yapılar veya altyapılar üzerindeki etkisini anlamak için kullanılabilir.

USGS Ulusal Güçlü Hareket Programı Haziran 15, 2005, Offshore Northern California, CA Depremi İçin Ön İşlenmiş Pik Zemin Hızı ve İvme Değerleri (yayınlanma tarihi: 17/06/2005; güncelleme tarihi: 27/09/2005)

Mw 7.1, 15/06/2005, 02:50 UTC, 14/06/2005, 07:50 PM PDT, 41.329 N, 125.863 W,

21,0 km derinlik, Bölgesel Ağ Kimliği# usziae

## 5. Offshore Maule, Chile



Şekil 5. Offshore Maule, Chile deprem kaydı.

Çizelge 13. 27/02/2010 tarihinde Offshore Maule, Chile depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Project														
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for														
February 27, 2010, Offshore Maule, Chile Earthquake (posted 05/05/2010)														
Mw 8.8, 02/27/2010, 06:34 UTC, 02/27/2010, 03:34 AM Local Time, 35.909 N, 72.733 W, 35.0 km depth, Regional Network ID# us2010tffan														
Sta Code	Inst type	Inst S/N	Country: City; Recorder Location	Owner	Lat deg	Lon deg	Dist km	Az deg	Ch No	Sensor type	Orient deg	PGA cm/s/s	PGV cm/s	SA 5% damping %
CCSP	Etna	6493	Chile: San Pedro de la Paz; Colegio Concepción	NMI-ERC	-36.8442	-73.1087	109.1	198	1	EpiSen	97	-594	45	109 81 8.05
									2	EpiSen	7	638	-38	142 49 7.61
									3	EpiSen	UP	571	-25	84 29 4.12

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{638}{38} = 16.789$$

"Max (PGA/PGV) = 638/38 = 16.789" ifadesi, belirli bir deprem olayında hesaplanan pik yer ivmesinin yer ivmesi hızına oranının, 638 birimlik değere sahip olduğunu ve aynı şekilde yer ivmesi hızınının 38 birimlik değere sahip olduğunu göstermektedir. Bu hesap sonucunda, yer ivmesi hızının yer ivmesine oranının 16.789 olduğu anlamına gelmektedir. Bu değer, deprem sırasında yerde meydana gelen ivme ile hızın oranını ifade eder. Yani, yerin titremesi sırasında yerde meydana gelen ivmenin hızına oranı 16.789 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 13'e göre USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi



Şubat 27, 2010, Offshore Maule, Şili Depremi İçin Ön İşlenmiş Düzeltme Yapılmış Pik Yer İvme ve Hız Değerleri ve Psödo-Spektral İvme Değerleri (05/05/2010 tarihinde yayınlandı)

Büyüklik (Mw): 8.8

Tarih: 27/02/2010

Saat (UTC): 06:34

Yerel Saat: 27/02/2010, 03:34

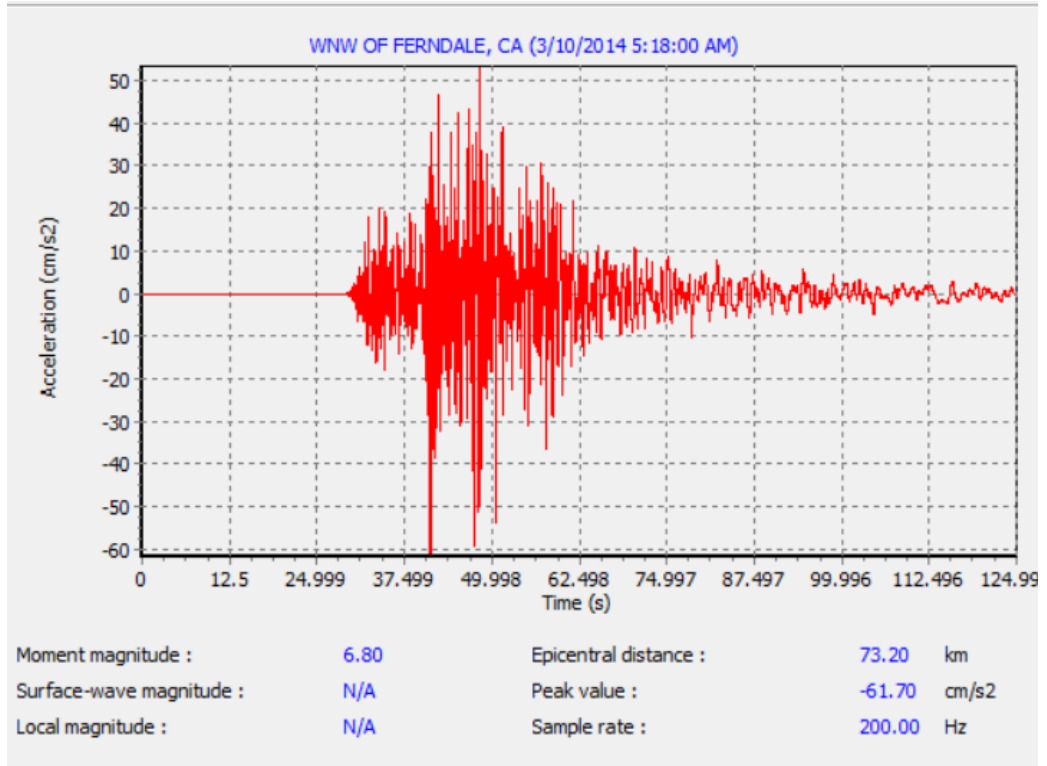
Enlem: 35.909 N

Boylam: 72.733 W

Derinlik: 35,0 km

Bölgesel Ağ Kimlik Numarası: us2010tfan

## 6. WNW of Ferndale, California



Şekil 6. WNW of Ferndale, California deprem kaydı.

Çizelge 14. 10/03/2014 tarihinde WNW of Ferndale, California depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Project																
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for																
March 10, 2014, WNW of Ferndale, California Earthquake (posted 03/11/2014)																
Mw 6.8, 03/10/2014, 05:18 UTC, 03/09/2014, 21:18 PM PDT, 40.821 N, 125.128 W, 7.0 km depth, Regional Network ID# nc72182046																
Sta	Inst	Inst	State; City; Recorder Location	Owner	Lat	Lon	Dist	Az	Ch	Sensor	Orient	PGA	PGV	PSA 5% damping %g		
Code	type	S/N			deg	deg	km	deg	No	type	deg	cm/s/s	cm/s	0.3 s	1.0 s	3.0 s
1725	K2	2515	CA:Ferndale;Lost Coast Ranch	USGS	40.5441	-124.3544	65.5	295	1	EpiSen	90	39.1	-3.4	6.76	3.48	1.210
									2	EpiSen	360	-40.5	3.5	8.40	2.87	1.370
									3	EpiSen	UP	19.7	1.6	4.04	1.49	0.535
1584	Etna	4369	CA:Ferndale;Bunker Hill, FAA	USGS	40.4976	-124.2945	70.7	297	1	EpiSen	90	-16.0	1.9	4.11	2.20	0.708
									2	EpiSen	360	-11.6	-2.0	2.63	1.03	0.630
									3	EpiSen	UP	-6.1	0.9	1.38	1.10	0.348
1023	Etna	1990	CA:Ferndale;Fire Station	FVFD	40.5762	-124.2637	73.2	291	1	EpiSen	90	-61.7	-4.6	19.50	4.48	1.080
									2	EpiSen	360	58.8	5.1	16.40	4.92	0.950
									3	EpiSen	UP	25.7	2.5	5.43	2.39	0.625

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{61.7}{4.6} = 13.413$$

"Max (PGA/PGV) = 61.7/4.6 = 13.413" ifadesi, bir depremin Peak Ground Acceleration (Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration- PGA) değerini Peak Ground Velocity (PGV) değerine böldüğümüzde elde edilen oranı temsil etmektedir. Bu oranın değeri 13.413 olarak hesaplanmıştır.

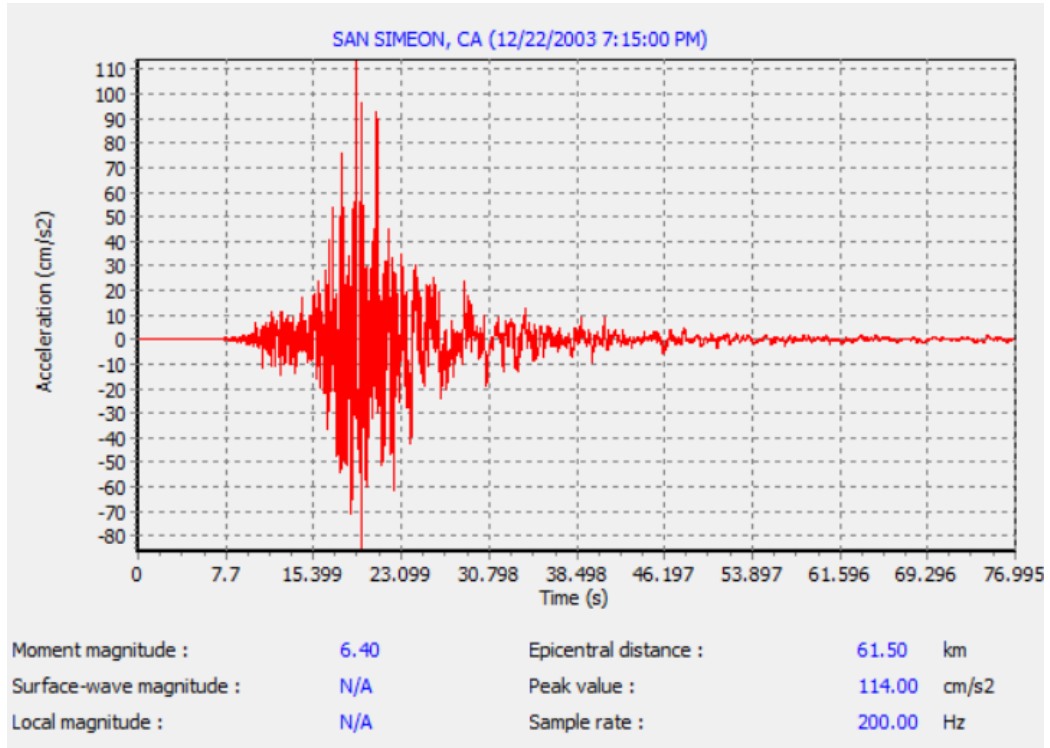
Peak Ground Acceleration (PGA), yer yüzeyinin deprem sırasında en yüksek hızda hareket ettiği anı ifade ederken, Peak Ground Velocity (PGV) ise yer yüzeyinin en yüksek hızda titreştiği anı ifade eder. Bu oranın yüksek çıkması, depremin sırasında yer yüzeyinin hızla hareket ettiğini ve titreştiğini gösterir. Bu, depremin etkisinin ölçümünde ve anlamada kullanılan önemli bir parametredir.

Çizelge 14'e göre USGS Ulusal Güçlü Hareket Projesi

Mart 10, 2014, California Ferndale'nin Kuzeybatısında Meydana Gelen Deprem İçin Ön Çıkarılmış Pik Yer İvme ve Hız Değerleri (03/11/2014 tarihinde yayınlandı)

Mw 6.8, 03/10/2014, 05:18 UTC, 03/09/2014, 21:18 PM PDT, 40.821 N, 125.128 W, 7.0 km derinlik, Bölgesel Ağ Kimliği# nc72182046

## 7. San Simeon, CA



Şekil 7. San Simeon, CA deprem kaydı.

Çizelge 15. 22/12/2003 tarihinde San Simeon, CA depreminin sismik etkilerini ölçen veriler.

USGS National-Strong Motion Program														
Preliminary Corrected Peak Ground Acceleration and Velocity and Pseudo-Spectral Acceleration Values for														
December 22, 2003, San Simeon, CA Earthquake (posted 12/22/2003; updated 02/02/2004)														
Mw 6.4, 12/22/2003, 19:15 UTC, 12/22/2003, 11:15 AM PST, 35.706 N, 121.102 W, 7.6 km depth, Regional Network ID# nc40148755														
Sta	Inst	Inst	State: City; Recorder Location	Owner	Lat	Lon	Dist	Az	Ch	Sensor	Orient	PGA	PGV	PSA at:
Code	type	S/N			deg	deg	km	deg	No	type	deg	cm/s/s	cm/s	0.3 s 1.0 s 3.0 s
1083	Etna	1429	CA: San Luis Obispo; Rec Center	USGS	35.285	-120.661	61.5	139	1	FBA-2g	360	114.0	-8.5	23.40 8.420 2.6400
									2	FBA-2g	UP	47.3	10.5	12.80 5.730 5.1800
									3	FBA-2g	90	161.5	-13.4	25.60 9.340 5.1300
1747	Etna	1406	CA: Coalinga; Fire Station	USGS	36.137	-120.363	82.1	54	1	FBA-2g	270	-23.6	-3.1	3.75 3.150 1.0200
									2	FBA-2g	UP	15.9	2.8	3.63 3.770 1.0700
									3	FBA-2g	360	-27.6	4.5	5.89 7.100 1.0900

$$\text{Max} \left( \frac{PGA}{PGV} \right) = \frac{114}{8.5} = 13.412$$

"Max (PGA/PGV) = 114/8.5 = 13.412" ifadesi, verilen deprem olayı için en yüksek Peak Ground Acceleration (PGA) değerinin Peak Ground Velocity (PGV) değerine bölünmesi sonucu elde edilen oranı ifade etmektedir. Bu oran, depremin yer yüzeyindeki ivmelenmenin hızına oranla ne kadar büyük olduğunu gösterir. Daha yüksek bir oran, yer yüzeyinin ivmelenme açısından daha belirgin bir şekilde etkilendiğini gösterir. Örneğin, burada belirtilen oran (PGA/PGV) = 13.412, depremin yer yüzeyindeki ivmelenmenin hızına göre 13.412 kat daha

fazla olduğunu ifade eder. Bu oran, depremin etkisinin ivmelenme ve hız açısından ne kadar güçlü olduğunu değerlendirmek için kullanılır.

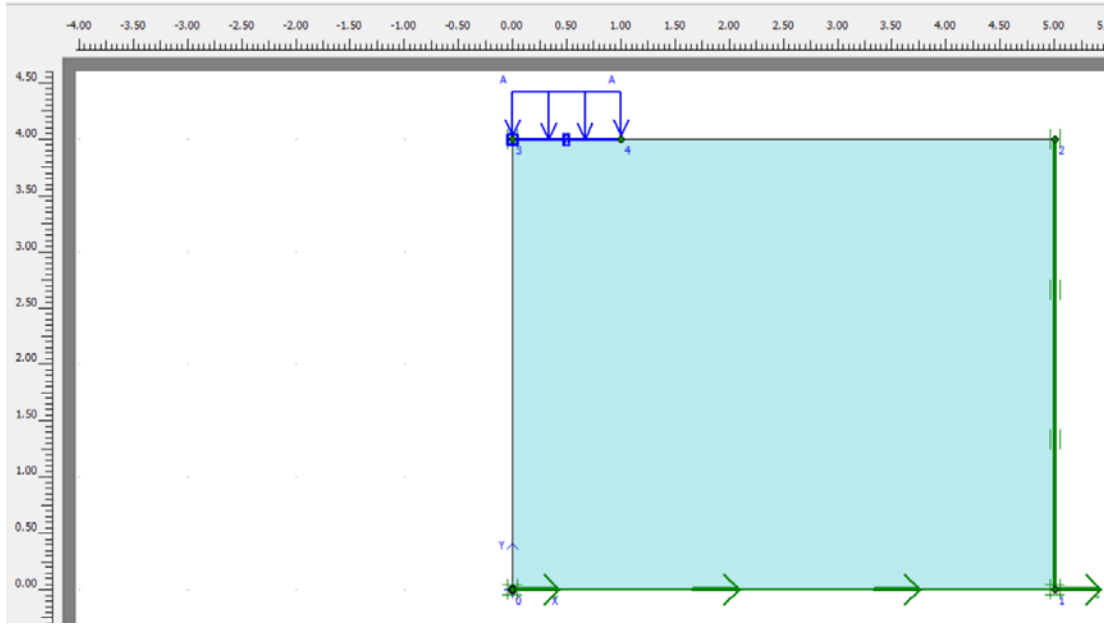
Çizelg 15'e göre USGS Ulusal Güçlü Hareket Programı

Aralık 22, 2003 tarihli San Simeon, CA Depremi için Önceden Düzeltilmiş Pik yer ivme ve Hız Değerleri (12/22/2003 tarihinde yayımlandı; 02/02/2004 tarihinde güncellendi)

Mw 6.4, 12/22/2003, 19:15 UTC, 12/22/2003, 11:15 AM PST, 35.706 N, 121.102 W, 7.6 km derinlik, Bölgesel Ağ Kimliği# nc40148755

#### D. PLAXIS 2D Modelleme ve Analiz.

PLAXIS 2D yazılımını kullanarak zemin modellenmesi ve analiz işlemlerini özetlemektedir.



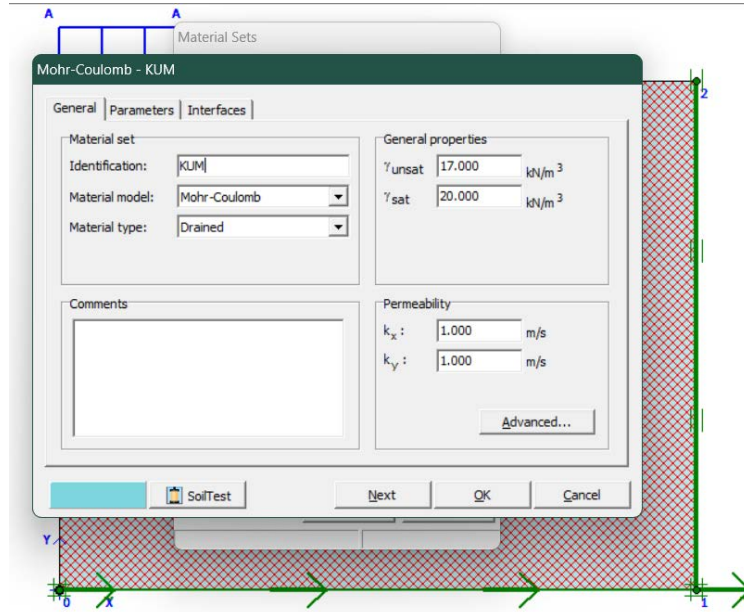
Şekil 8. PLAXIS 2D ile Yüklü Zemin Kesiti modeli.

Şekil 8'de, PLAXIS 2D yazılımını kullanılarak oluşturulmuş bir yüklü zemin kesiti modelini göstermektedir. Bu model, gerçek dünya koşullarını simüle etmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 8'de, zeminin alt kısmında farklı özelliklere sahip katmanlar bulunmaktadır. Yukarıda yer alan katman, 350 kilo Pascal sabit yük tarafından yüklenen bir yapı veya yüke ait temeli temsil etmektedir. Bu temelin altında ise dört metre yüksekliğinde ve beş metre genişliğinde bir kesit şeklinde zemin tabakası yer almaktadır.

PLAXIS 2D'nin sonlu eleman analizi avantajları sayesinde, zeminin bu yük altında nasıl davrandığı detaylı bir şekilde incelenebilir. Bu analizde, farklı parametreler hesaplanarak zeminin taşıma kapasitesi, yer değiştirmeleri ve gerilme dağılımı gibi faktörler değerlendirilebilir. Şekil, geoteknik mühendisliği alanındaki araştırmaların ve yapı analizlerinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için PLAXIS 2D'nin ne kadar önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

Bu bölümde, beş metre genişliğinde ve dört metre yüksekliğinde enine kesit alanına sahip bir kumlu zeminin, PLAXIS 2D yazılımı kullanılarak nasıl modelleneceğine dair detaylı bir açıklama sunulmuştur.

- İlk adım olarak, PLAXIS 2D programında yeni bir proje oluşturulur. Bu proje, kumlu zeminin geometrik parametrelerini içerecektir. Modellemeye başlamadan önce, dairesel temelin çapını iki metre ve yüksekliğini bir metre olarak ayarlamak gerekmektedir. Ayrıca, zemin alanının boyutlarını da belirtmek önemlidir; bu alanın eni beş metre, yüksekliği ise dört metredir.



Şekil 9. PLAXIS 2D Zemin Modellemesi ve Malzeme Tanımı.

Zemin özellikleri ataması, Şekil 9'de görüldüğü gibi ikinci adımda gerçekleşir. Kumlu zemine uygun malzeme özellikleri atanmalıdır. Bu özellikler arasında zemin tipi, birim hacim ağırlık, sürtünme açısı ve kohezyon gibi faktörler yer almaktadır. Bu parametrelerin, laboratuvar testlerinden elde edildi.

## 1. PLAXIS 2D Yazılımında Zemin Modellenmesi İçin Malzeme Tanımlama Adımları.

- **Material Set (Malzeme Seti):**

"Identification" kısmında "kum" adını bir malzeme seti oluşturuldu. Bu adım, analizin hangi zemin malzemesi üzerinde gerçekleştirileceğini belirlemek için kullanılır. Malzeme seti, zeminin mekanik davranışını temsil eden parametreleri içerir.

- **Material Model (Malzeme Modeli):**

"Mohr-Coulomb" seçimi, malzeme seti (kum) için Mohr-Coulomb yöntemini kullanmamızın nedeni, bu yöntemin mevcut geoteknik verilerimiz ve parametrelerimizle tamamen uyumlu olmasıdır. Mohr-Coulomb yöntemi, zeminin mekanik davranışını tanımlayan parametreleri (kayma dayanımı ve sürtünme açısı gibi) içermesi nedeniyle bu duruma en iyi şekilde uyan bir seçenektir.

Mohr-Coulomb yöntemi, kumlu zemin gibi granüler malzemelerin davranışını modellemek için yaygın olarak kullanılan bir malzeme modelidir. Bu yöntem, zeminin içsel sürtünme özelliklerini ve kayma dayanımını hesaba katarak gerçekçi sonuçlar üretir. Zeminin basınç ve gerilme altında nasıl davrandığını anlamak için ideal bir seçenektir. Bu nedenle, mevcut zemin koşullarımıza en uygun ve güvenilir sonuçları elde etmek amacıyla Mohr-Coulomb yöntemini tercih edilmektedir. Bu yöntem, geoteknik analizlerimizde zemin davranışını etkili bir şekilde modellememize olanak tanır ve gerçek dünya koşullarına daha yakın sonuçlar sağlar.

- **Material Type (Malzeme Türü):**

"Drained" seçimi, kumlu zeminin drenaj koşullarını temsil eder. Drained koşullar altında, zeminin suyunu tahliye edebileceği ve suyun zeminin davranışını etkilemediği varsayılır. Bu tür koşullar genellikle zeminin drenajının iyi olduğu durumlar için geçerlidir.

Kum, drenaj kapasitesi genellikle iyi olan bir zemin türüdür. Yağış veya sızan suyun hızla tahliye edildiği ve suyun zemin davranışını büyük ölçüde etkilemediği durumlarda, "drained" koşullar kullanmak yaygın bir yaklaşımdır. Sonuç olarak, "Drained" malzeme türü seçimi ise kumun drenaj kapasitesini

yansıtır ve suyun zeminin davranışını büyük ölçüde etkilemediği durumları temsil eder. Bu adımlar, zemin-yapı etkileşimi analizlerinizin daha gerçekçi sonuçlar üretmesini sağlar.

- **Genel Özellikler (General Properties):**

PLAXIS 2D yazılımının kullanımı sırasında, zemin özelliklerini belirlemek önemli bir adımdır ve bu amaçla "General Properties" sekmesi kullanılır. Bu sekme, zeminin mekanik davranışını modellerken kullanılacak temel özellikleri ayarlamayı sağlar. Özellikle, gama unsat (doymamış) ve gama sat (doymuş) gibi zemin birim ağırlığı parametrelerini belirlemek, zeminin davranışını anlamak için önemlidir.

Gama unsat, zeminin doymamış durumdaki birim ağırlığını temsil eder. Bu değer, zeminin porozite ve nem içeriği gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Örneğin, kum zeminin gama unsat değeri  $17 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlendi. Bu değer, kumun havayı içerdiği durumu yansıtır.

Diğer yandan, gama sat, zeminin doymuş durumdaki birim ağırlığını temsil eder. Bu değer, zeminin tamamen su ile doymuş halini ifade eder. Bu özellik su içeren zeminler için önemlidir. Örneğin, kum zeminin gama sat değeri  $20 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlendi. Bu değer, kumun tamamen suyla doygun olduğu durumu yansıtır.

Gama unsat ve gama sat değerlerini belirlerken, zeminin gerçek dünya koşullarına en iyi şekilde uyum sağlaması ve modelin doğruluğunu artırması hedeflenmiştir. Bu değerler, zeminin taşıma kapasitesini, yer değiştirmesini ve genel davranışını etkiler. Bu nedenle, bilimsel doğruluk ve güvenilirlik sağlamak amacıyla gama unsat ve gama sat değerlerinin dikkatlice seçilmesi önemlidir.

Sonuç olarak, "General Properties" sekmesinde belirlediğimiz gama unsat ve gama sat değerleri, kum zeminin mekanik davranışını anlamak ve modellemek için temel oluşturur. Bu değerler, zeminin yük taşıma kapasitesini ve deformasyon davranışını etkilerken, modelin güvenilir ve gerçekçi sonuçlar üretmesine yardımcı olur.

- **Permabilite (geçirgenlik):**

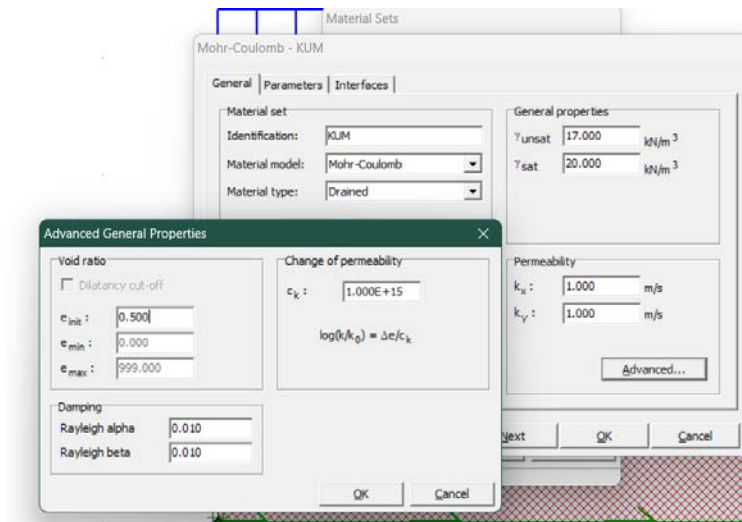
permabilite (geçirgenlik) katsayıları, zeminin suyun ne kadar hızlı geçebileceğini ve drenaj özelliklerini belirlemek için kullanılan önemli parametrelerdir. PLAXIS yazılımında permabilite katsayıları belirlemek, gerçek dünya koşullarını simüle etmek ve zeminin su hareketi davranışını anlamak için oldukça kritik bir adımdır.

Kum zeminin geçirgenlik özellikleri, suyun zeminden ne kadar hızlı geçebileceğini etkiler. Bu, özellikle zeminin taşıma kapasitesini ve drenaj özelliklerini anlamak için önemlidir. Permabilite katsayıları, zeminin porozitesi, tane boyutu ve mineralojisi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir.

$K_x$  ve  $K_y$  permabilite katsayıları, sırasıyla yatay (x) ve dikey (y) yöndeki su geçirgenliğini temsil eder. Eşitlik durumu ( $K_x = K_y = 1$ ) nedeniyle, suyun her iki yönde de benzer hızda geçtiği anlamına gelir. Bu, kum zeminin drenaj özelliklerini simüle etmek için kullanışlıdır, çünkü suyun her iki yönde de benzer şekilde hareket etmesi beklenebilir.

Sonuç olarak, permabilite katsayıları zeminin su hareketi davranışını anlamak ve analiz etmek için önemli bir role sahiptir. PLAXIS 2D yazılımında bu katsayıları belirlemek, zeminin gerçek dünya koşullarına ne kadar yakın bir şekilde simüle edildiğini ve suyun zeminden nasıl geçtiğini anlamamıza yardımcı olur.

- **Rayleigh Sönümlenme Parametreleri ve Değer Seçimi:**



Şekil 10. Rayleigh Sönümlenme Değer Seçimi.



Şekil 10'da görüldüğü gibi "Advanced General Properties" (Gelişmiş Genel Özellikler) bölümü, zeminin davranışını daha ayrıntılı bir şekilde tanımlamak ve özelleştirmek için kullanılan bir seçenektir.

sönümlenme, yapıların veya zeminin titreşimler sırasında nasıl davrandığını anlamak için önemli bir faktördür. sönümlenme katsayıları, titreşimlerin enerjisini emme yeteneğini ifade eder. Rayleigh sönümlenme, bu amacı gerçekleştirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Rayleigh sönümlenme, iki parametre olan "alpha" ve "beta" ile tanımlanır. Bu parametreler titreşim analizinde kullanılan matematiksel ifadelerdir. "Alpha" ve "beta" değerleri, genellikle yapının veya zeminin dinamik özelliklerine, titreşim frekanslarına ve diğer faktörlere bağlı olarak belirlenir.

Bu değerler genellikle analizin türüne, yapı veya zeminin davranışına ve benzeri faktörlere göre mühendisler veya araştırmacılar tarafından belirlenir. Önceden belirlenmiş yaygın değerler olabilir veya spesifik bir analize uygun değerler seçilebilir.

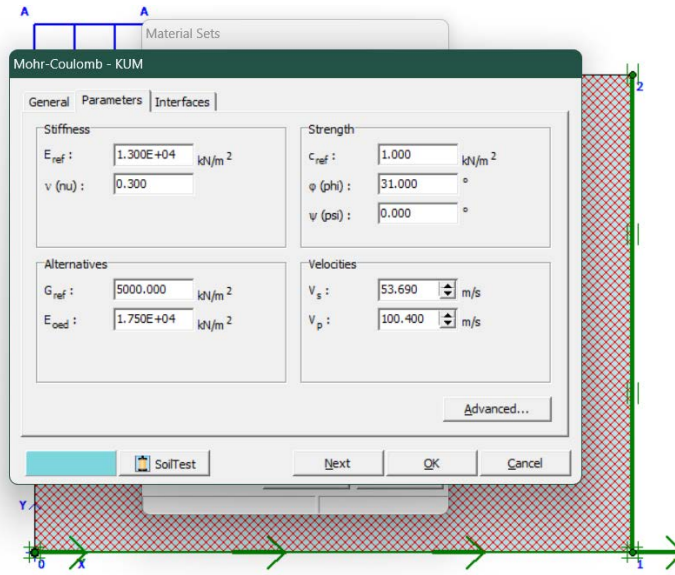
Genellikle bu değerlerin neden belirli bir değere (örneğin 0.01) ayarlandığına dair bir genel bir kural yoktur. Bu değerler, yapı veya zeminin dinamik özellikleri, titreşim frekansları, analizin türü gibi bir dizi faktöre bağlı olarak belirlenir.

0.01 gibi yaygın bir değer seçilmiştir, çünkü bu değer genellikle iyi sonuçlar üretir ve birçok pratik uygulamada kullanılır. Ancak, özel bir analiz veya yapı için daha uygun olabilecek farklı değerler de seçilebilir. Bazı durumlarda, mühendisler deneme yanılma yoluyla farklı değerleri test ederek en iyi sonuçları elde ederler.

Sonuç olarak, "Advanced General Properties" bölümündeki sönümlenme parametreleri (Rayleigh alpha ve beta) titreşim analizlerinde kullanılır ve bu değerler genellikle yapı veya zeminin özelliklerine ve analiz gereksinimlerine bağlı olarak belirlenir.

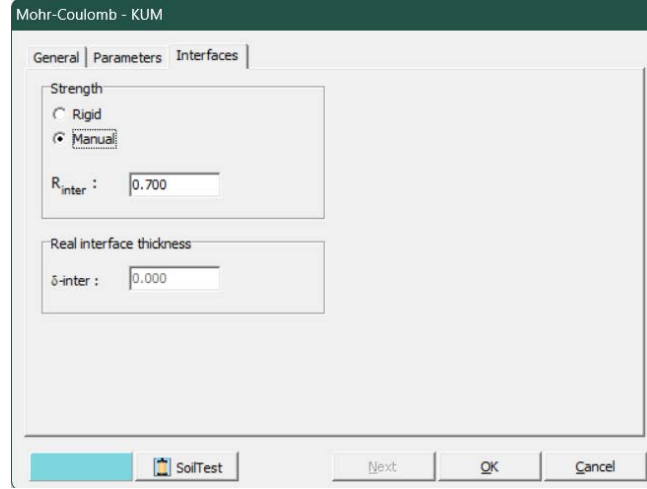
Çizelge 16. Kumlu Zemin Örneği (Plaxis Eğitim Kılavuzundan Alınmış).

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr-Coulomb	-
Malzemenin davranış türü	Type	Drained	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{unsat}$	17	kN/m <sup>3</sup>
Doygun Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{sat}$	20	kN/m <sup>3</sup>
Young modülüsü	$E'$	$13 \cdot 10^3$	kN/m <sup>2</sup>
Poisson oranı	$\nu'$	0.3	-
Kohezyon	$c'_{ref}$	1	kN/m <sup>2</sup>
Sürtünme açısı	$\phi'$	30	°
Genleşme açısı	$\psi$	0	°



Şekil 11. Zemin Parametreleri ve Değer Seçimi.

Şekil 11'de ve Çizelge 16'da görüldüğü gibi Young modülü ve Poisson oranı gibi temel zemin parametrelerinin anlamları ve neden bu değerlerin seçildiğine dair detaylar 2.3.1.kısımında ayrıntıdan bahsedildi.



Şekil 12. Interface Mukavemet Değerinin Seçimi.

- **Interface Mukavemet Değerinin Seçimi:**

PLAXIS 2D yazılımında zemin davranışını modellerken, "interface" veya arayüzler, farklı zemin katmanları veya yapı malzemeleri arasındaki etkileşimleri simüle etmek için kullanılır. Interface, zemin ve yapı arasındaki temas noktasını temsil eder ve bu noktada oluşabilecek etkileşimleri hesaba katarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar.

"Strength" (mukavemet) seçeneği, bu arayüzlerdeki mukavemet parametresini belirtir. Bu mukavemet parametresi, interface'in iki tarafındaki malzemelerin temas noktasında nasıl davrandığını, ne kadar kuvvet taşıyabileceğini ve hangi koşullarda çökebileceğini tanımlar.

Şimdi, "manual" ve "rigid" seçeneklerini ve bu seçeneklerin ne anlama geldiğini detaylı bir şekilde açıklayalım:

- **Manual Seçimi:**

"Manual" seçeneği, kullanıcının kendisi için arayüz mukavemet değerini belirleyebileceği anlamına gelir. Yani, kullanıcı bu seçeneği seçtiğinde, arayüzün taşıyabileceği maksimum kuvveti, gerilme veya diğer mukavemet parametrelerini elle girme yeteneğine sahip olur.

Genellikle, laboratuvar deneyleri veya saha verileri gibi somut bilgilere dayanarak, belirli bir arayüzün gerçek mukavemet özelliklerini daha iyi tahmin edebilir. Bu şekilde, analizin daha gerçekçi sonuçlar üretmesini sağlamak ve

yapılan simülasyonun gerçek dünya koşullarına daha yakın olmasını sağlamak amaçlanır.

- **Rigid Seçimi:**

"Rigid" seçeneği ise, arayüzün katı ve rijit bir şekilde davrandığı anlamına gelir. Yani, arayüzün deforme olmadan veya taşıma kapasitesini düşünmeden sadece geometrik bir bağlantı olarak ele alındığı durumu ifade eder.

Eğer arayüz gerçekte oldukça sert ve deformasyona dirençliyse veya arayüzün davranışını belirlemek için yeterli veri yoksa, "rigid" seçeneği tercih edilebilir. Ancak bu seçenek, arayüzün gerçek mukavemet davranışını dikkate almaksızın daha basit bir yaklaşım olduğu için sonuçlar gerçek dünyadaki koşulları tam olarak yansıtmayabilir.

Sonuç olarak, "manual" seçeneği kullanıcının daha fazla kontrol sağladığı ve gerçekçi mukavemet özelliklerini yansıtabileceği bir seçenektir. "Rigid" seçeneği ise daha basit ve idealize edilmiş bir durumu temsil eder, ancak gerçek zemin davranışını tam olarak yansıtmayabilir. Seçim, analizin amacına, mevcut verilere ve gerçek zemin davranışına olan güvene bağlı olarak yapılmalıdır.

" $R_{intr}=0.7$ " olarak belirtilen bir mukavemet değeri seçilmiştir.

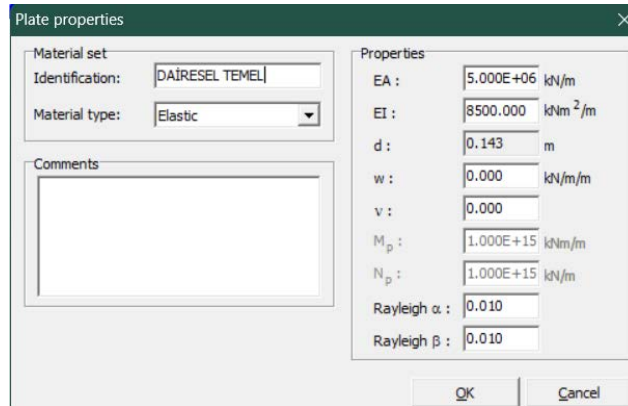
Bu değer, arayüzün taşıyabileceği yük miktarını ifade eder ve nedeni aşağıdaki faktörlere dayanabilir:

- Deneyim ve Benzer Projeler:** Kullanıcı, benzer projelerden veya deneyimlerden yola çıkarak bu değeri seçmiş olabilir. Önceki projelerde elde edilen sonuçlara dayanarak benzer bir arayüzün genellikle bu değer civarında bir mukavemete sahip olduğu gözlemlenmiş olabilir.
- Laboratuvar ve Saha Verileri:** Mukavemet değerleri genellikle laboratuvar deneyleri veya saha verileri temel alınarak belirlenir. Örneğin, zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen arayüz mukavemeti değerleri, bu parametrenin seçiminde kullanılabilir.
- Tasarım ve Güvenlik Faktörleri:** Proje gereksinimleri ve güvenlik faktörleri, mukavemet değerini etkileyebilir. Yapının

güvenliğini sağlamak ve beklenmedik durumlar için yeterli bir güvenlik marjını korumak amacıyla mukavemet değeri belirlenirken, tasarım kodlarına veya standartlara uyum sağlanabilir.

- iv. **Zemin Türü ve Yapının Tipi:** Zemin türü (kohesif, granüler) ve yapının tipi (temel, kazık vb.) de mukavemet değerini etkileyebilir. Farklı zemin türleri ve yapılarda farklı arayüz mukavemetleri beklenir.
- v. **Yapılan Saha Gözlemleri:** Projenin özgün saha koşulları ve yapılan yerinde gözlemler de mukavemet değerini etkileyebilir. Yapılan incelemeler sonucu arayüz mukavemeti hakkında daha kesin bir fikir elde edilebilir.

## 2. Dairesel Temel Malzemesinin Oluşturulması.



Şekil 13. Dairesel Temel Malzemesinin Oluşturulması.

"Material Sets" bölümünde "Project Database Set Type: Plate" seçeneği kullanılarak bir daireseel temel için malzeme oluşturulması ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

- **Material Sets Oluşturma:**
  - Sol üst köşede bulunan menüden "Material Sets" sekmesine tıklanır.
- **Project Database Set Type: Plate Seçimi:**
  - "Material Sets" bölümünde, "Project Database Set Type" seçeneğine tıklanır ve "Plate" (Levha) seçeneği seçilir.

- **Malzeme Oluşturma:**

- "Add" veya "New" düğmesine tıklanarak yeni bir malzeme oluşturma işlemi başlatılır.
- "Name" (Ad) bölümüne "Dairesel Temel" adı girilir.

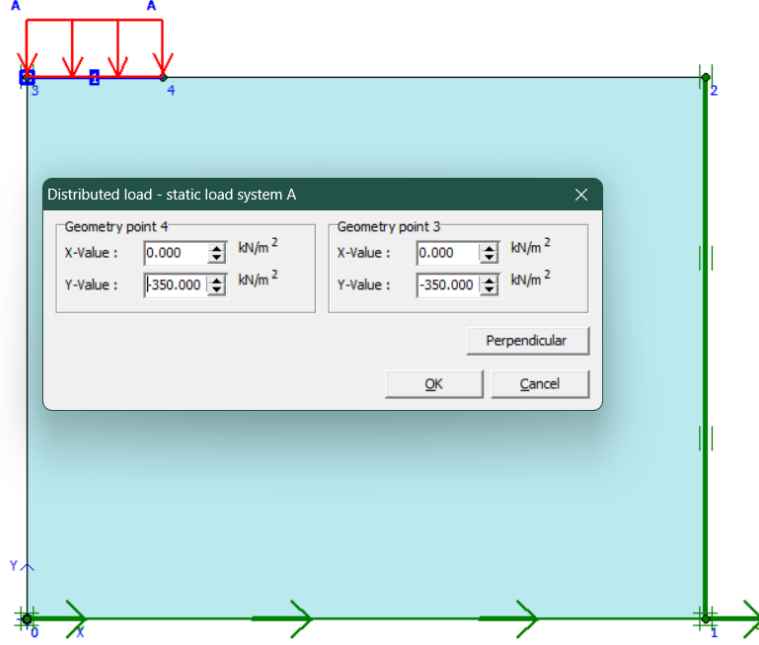
- **Material Type Elastik Seçimi:**

- "Material Type" bölümünde, "Elastic" (Elastik) seğeneği seçilir.

- **Properties (Özellikler) Bölümü:**

"Properties" (Özellikler) bölümünde aşağıdaki değerler belirtilir:

- $EA = 5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ : EA, malzemenin elastik birim alan (Elastic Modulus) değerini ifade eder. Bu değer, malzemenin sertliğini yansıtır ve yüksek bir EA değeri, malzemenin katı bir yapısına işaret eder. Seçilen değer, temelin taşıma kapasitesini ve davranışını etkileyen önemli bir faktördür.
- $EI = 8500 \text{ kNm}^2/\text{m}$ : EI, malzemenin elastik bükülme rijitliğini ifade eder. Temelin eğilme davranışını belirler ve bu değer temelin bükülme direncini gösterir. Seçilen değer, temelin yapısal bütünlüğü açısından kritik bir rol oynar.
- $d = 0.143 \text{ m}$ : "d" değeri, temelin kalınlığını ifade eder ve fiziksel boyutunu belirtir. Seçilen değer, temelin yüzey alanını ve yük taşıma kapasitesini belirler.
- Plaxis 2D programı, EA (Elastic Modulus) ve EI (Elastic Bending Stiffness) gibi malzeme özellikleri ile temel kalınlığı (d) arasındaki ilişkiyi kullanarak temel kalınlığını otomatik olarak hesaplamaktadır. Bu, yapısal analizlerde temel tasarımının optimize edilmesini sağlar.



Şekil 14. Statik Yük Sistemi A İçin Dağıtılmış Yük Uygulaması.

### 3. Statik Yük Sistemi ve Dağıtılmış Yük Uygulaması.

"Distributed Load" özelliği ile statik yük sistemi A'nın nasıl uygulandığını sistemli bir şekilde açıklamaktadır. Yükün uygulama noktaları, yükün yönü ve büyüklüğü özenle ele alınacaktır.

- **Dağıtılmış Yük Penceresinin Açılması:**

- Üst menüden "Distributed Load" penceresi açılır.

- **Noktaların Tanımlanması:**

- Yükün uygulanacağı noktalar "Geometry Point 4" ve "Geometry Point 3" ile tanımlanır.

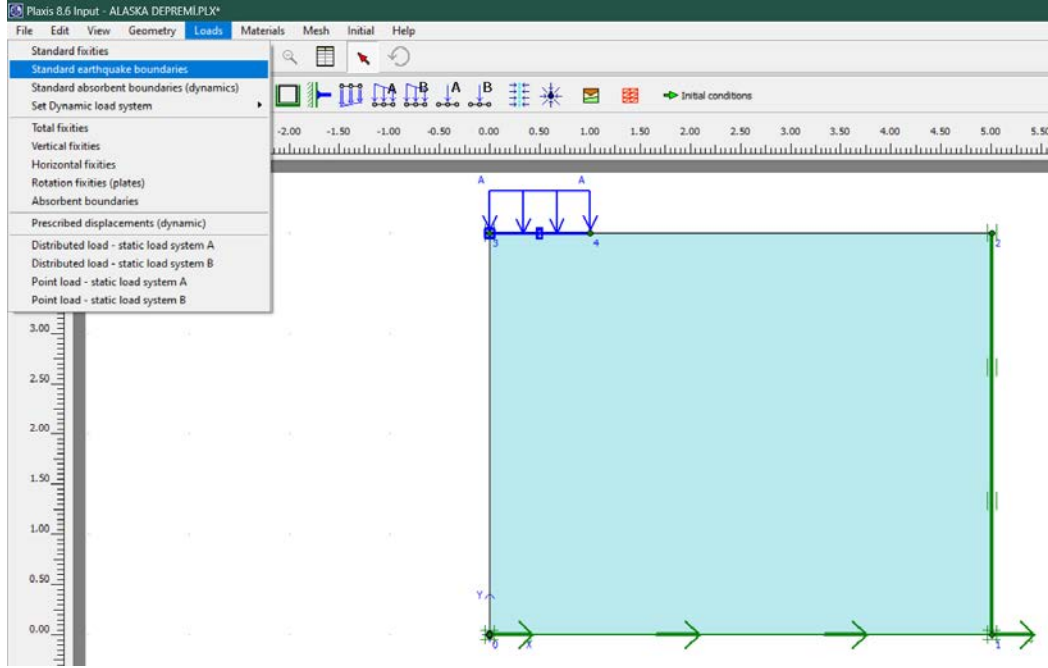
- İlk noktada, x değeri 0  $\text{kn/m}^2$  ve y değeri -350  $\text{kn/m}^2$  olarak ayarlanır.

- İkinci noktada da aynı şekilde x değeri 0  $\text{kn/m}^2$  ve y değeri -350  $\text{kn/m}^2$  olarak belirlenir.

- **Yükün Aşağı Yönlendirilmesi:**

- Yükün aşağı yönlendirilmesi için y yönünde negatif bir değer kullanılmalıdır.

- Bu nedenle,  $y$  değerleri negatif olarak ayarlanarak yük aşağı yönlendirilir.



Şekil 15. Deprem Yüklerinin Modellenmesi.

#### 4. Deprem Yüklerinin Modellenmesi: Standard Earthquake Boundaries.

"Load" sekmesinden "Standard Earthquake Boundaries" seçeneği, yapısal analizlerde deprem yüklerinin modellenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılır. Bu seçenek, analizin gerçekçi sonuçlar üretmesini sağlamak ve yapıların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla kullanılır.

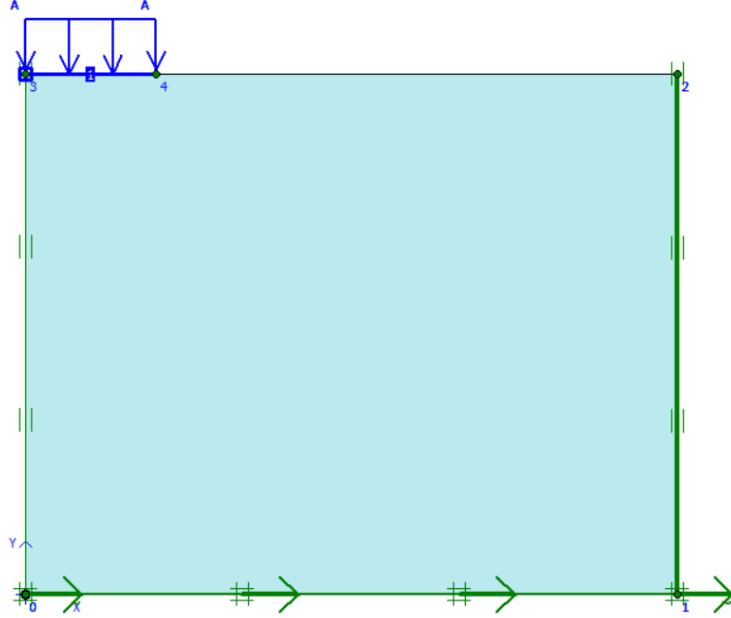
##### a. Standard Earthquake Boundaries Tercih Edilme Nedenleri.

- **Realistik Deprem Yüğü Modellenmesi:** Bu seçenek, gerçek depremlere benzer yükleri modellemek için tasarlanmıştır. Deprem yüklerinin yapının farklı yönlerine nasıl etki edeceğini gerçekçi bir şekilde değerlendirmek istediğinizde kullanışlıdır.
- **Deprem Etkilerini Değerlendirme:** Deprem yükleri, yapıların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını değerlendirmek ve yapısal güvenliği sağlamak için önemlidir. Bu seçenek, yapıların deprem etkilerine karşı nasıl tepki vereceğini analiz etmek için kullanılır.
- **Yerel Yönetmelik ve Standartlara Uyum:** Birçok ülkenin inşaat yönetmelikleri, deprem yüklerini ve dayanıklılık gereksinimlerini belirler.



"Standard Earthquake Boundaries" seçeneği, yerel yönetmeliklere ve standartlara uygun olarak deprem yüklerini modellemenizi sağlar.

**Seçimin Amacı:** "Standard Earthquake Boundaries" seçeneği, farklı yönlerdeki deprem etkilerini değerlendirmek ve yapının deprem dayanıklılığını test etmek için kullanılır. Depremi farklı yönlerden nasıl etki edeceğini anlamak, yapının tasarımını ve güvenliğini optimize etmeye yardımcı olur.



Şekil 16. "Fixity" (Sabitlik).

## 5. Sabitlik (Fixity)

Plaxis programında, yapıların ve zeminin etkileşimini daha gerçekçi bir şekilde modellemek için noktalara veya öğelere belirli hareket ve yer değiştirme sınırlamaları ve koşulları tanımlamak amacıyla kullanılır. Belirli noktaların sabitlenmesi, yapısal-geoteknik etkileşimlerin daha doğru bir şekilde modellenmesine yardımcı olur ve bunun birkaç nedeni vardır:

- **Yapısal-Geoteknik Etkileşimlerin Gerçekçi Temsili:**

"Fixity", yapılar ile zemin arasındaki gerçek etkileşimleri daha doğru bir şekilde temsil etmeye yardımcı olur. Modellenen yapıların belirli hareket derecelerini sınırlayarak veya kısıtlayarak, yapının zeminle gerçek etkileşim koşullarını daha iyi yansıtmayı mümkün olur.

- **Yapının Gerçek Sınırlamalarının Tanımlanması:**

Tasarım veya çevresel koşullara dayanarak, belirli noktaların sabitlenmesi veya hareket sınırlamaları getirilmesi gerekebilir. "Fixity" kullanarak bu sınırlamaları tanımlayarak, modellemeyi gerçek koşullara daha iyi uygun hale getirebilirsiniz.

- **Sonuçların Etkisinin Değerlendirilmesi:**

"Fixity" ile belirli noktaları sabitleyerek veya hareketini kısıtlayarak, bu sınırlamaların yapının davranışına nasıl etki ettiğini değerlendirebilirsiniz. Bu, yapının farklı yük ve hareketlere nasıl tepki verdiğini anlamak için önemlidir.

- **Deplasman ve Şekil Değişikliklerinin Hesaplanması:**

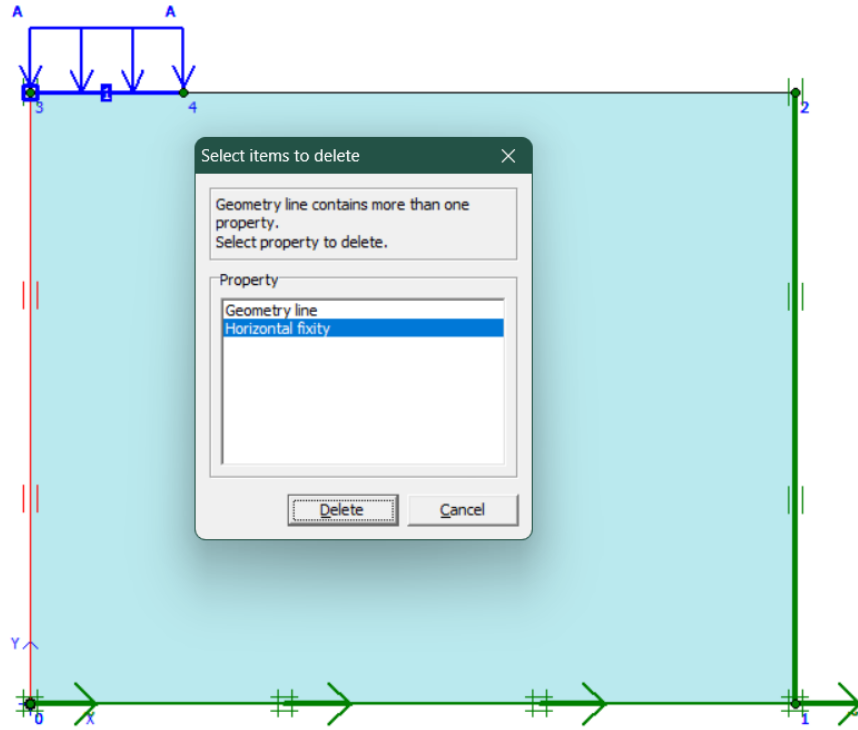
"Fixity" belirleyerek, yapıların deplasman ve şekil değişikliklerini hesaplamaya yardımcı olabilirsiniz. Bu, yapıların doğru bir şekilde tasarımı yapmak ve farklı yüklerin ve etkilerin yapının performansını nasıl etkilediğini anlamak için önemlidir.

- **Stabilite ve Destek Sağlama:**

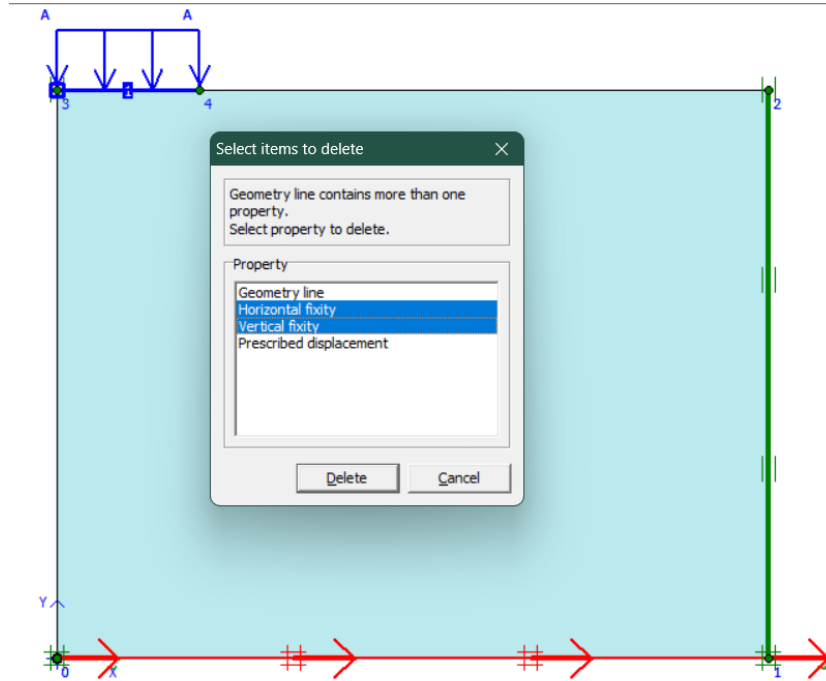
Bazı durumlarda, "Fixity" belirlemek, yapıların stabilitesini sağlamak veya belirli noktalara ek destek sağlamak için gereklidir.

Genel olarak, "Fixity", yapıların ve zeminin etkileşimlerini daha gerçekçi bir şekilde modellemek için kullanılır ve yapıların daha güvenli ve etkili bir şekilde tasarlanmasına yardımcı olur.

### a. Yatay ve Düşey Sabitleme Silme İşlemleri.



Şekil 17. Yatay Sabitlemenin Silinmesi 1 adım.



Şekil 18. Yatay ve düşey Sabitlemenin Silinmesi 2 adım.

Bu bölümde şekil 17 ve 18’de, "select items to delete" bölümünde "Horizontal Fixity" seçeneğinin silinmesi işlemi ele alınmaktadır. Bu işlem,

modelin yarım kesit olarak modellendiği durumlarda merkezden gelen sabitlemelerin gerekli olmadığı durumlar için gerçekleştirilir.

### Adımlar:

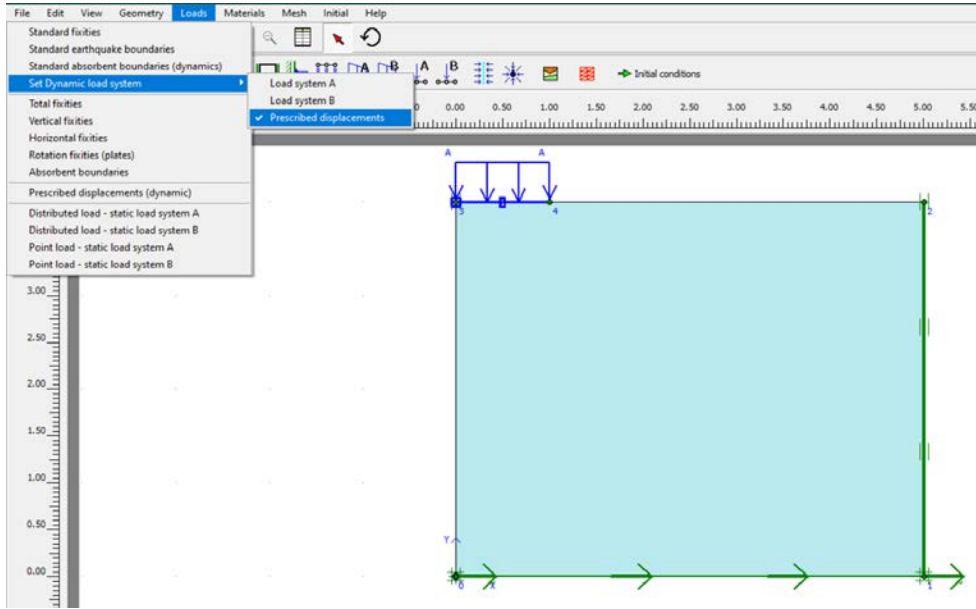
#### 1. "Select Items to Delete" Bölümüne Erişim:

- Sol üst köşede yer alan menüden "select items to delete" bölümüne tıklanır.

#### 2. Yatay Sabitlemenin Silinmesi:

- "Horizontal Fixity" seçeneğinin silinmesi işlemi, yapı modelinin yarım kesit olarak tasarlandığı senaryolarda gerçekleştirilir. Bu tür senaryolarda, modelin merkezinden gelen yatay sabitlemeye ihtiyaç duyulmayabilir.
- Bu nedenle, "Horizontal Fixity" seçeneği işaretlenir ve silme işlemi gerçekleştirilir.

### 6. Dinamik Yük Sistemi Oluşturulması ve Tahmini Yer Değiştirme Analizi.



Şekil 19. Dinamik Yük Sistemi Oluşturma ve Tahmin Edilen Yer Değiştirmenin Belirlenmesi.

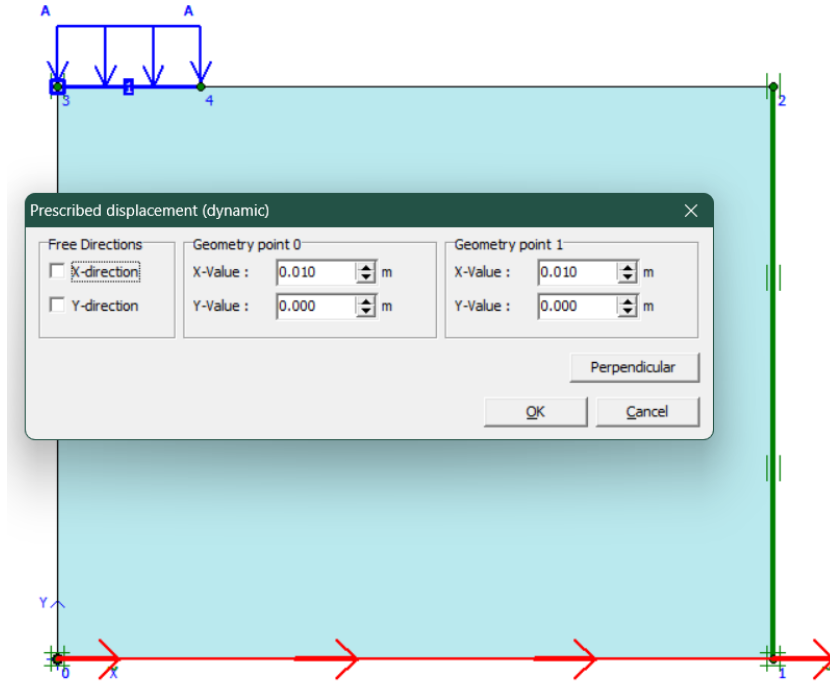
#### • Dinamik Yük Sistemi Oluşturma:

- Sol üst köşedeki menüden "Load" sekmesine tıklanır.
- Ardından, "Set Dynamic Load System" seçeneği seçilir.

- **Tahmin Edilen Yer Değiştirme Belirleme:**

- Dinamik yük sistemi oluşturulduktan sonra, "Prescribed Displacement" seçeneği kullanılır.
- Bu aşamada, tahmin edilen yer değiştirme değerleri belirlenir. Tahmin edilen yer değiştirmeler, analizdeki dinamik etkileri ve yapısal tepkileri anlamak için kullanılır.
- Tahmin edilen yer değiştirme değerleri, farklı noktalarda ve eksenlerde tanımlanabilir. Bu, yapısal davranışın farklı bölgelerini ve yönlerini değerlendirmek için önemlidir.

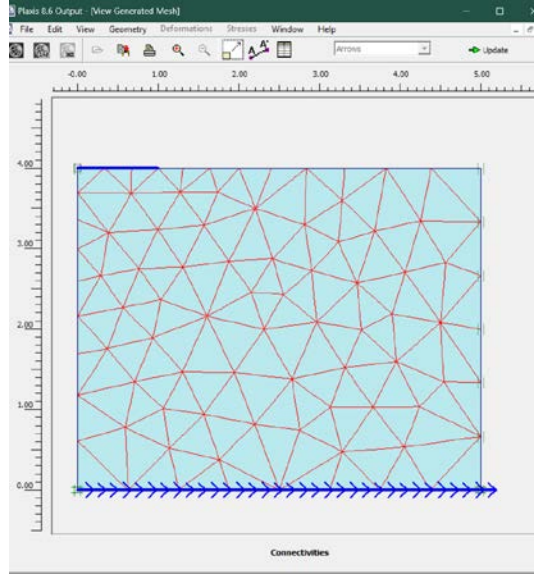
**a. PLAXIS 2D 'de  $x = 0.01$  "Geometri noktası 0" ve "geometri noktası 1" İçin Yer Değiştirme Simülasyonu: (Prescribed Displacement ile Dinamik Analiz).**



Şekil 20. Yer Değiştirme Simülasyonu (Dinamik).

## 7. PLAXIS 2D'de Meshleme.

Yapı ve Zemin Modellerinin Hassas Analizi İçin Bölümlendirme İşlemi



Şekil 21. Plaxis Programında Meshleme.

PLAXİS 2D programında meshleme (mesheleme) işlemi, zemin veya yapı modellerinin daha küçük ve yönetilebilir parçalara bölünmesi anlamına gelir. Bu parçalar, elemanlar ve düğümler olarak adlandırılır. Meshleme, yapıların veya zeminin davranışını daha hassas bir şekilde analiz etmek, yükleme, sınırlama ve etkileşim koşullarını belirlemek amacıyla yapılır. İşte Plaxis programında meshleme işlemi ve neden yapılması gerektiği hakkında daha fazla bilgi:

- **Meshleme İşlemi:**

- **Eleman ve Düğüm Seçimi:**

İlk adım olarak, modelinizi oluşturduktan sonra meshleme işlemine başlamak için eleman ve düğüm türlerini seçilir. Genellikle üçgen veya dörtgen elemanlar tercih edilir.

- **Bölme (Partitioning):**

Modeli daha küçük bölümlere bölmeye başlanır. Bölme, elemanların sayısını ve modelin karmaşıklığını belirler. Daha fazla bölme, daha hassas sonuçlar elde edebilir, ancak hesaplama süresi de artabilir.

- **Meshleme İşlemi:**

Seçtiğiniz eleman türüne göre bölünmüş alanları elemanlara dönüştürsünüz. Her eleman, belirli özelliklere sahip olur (örneğin, boyut, malzeme özellikleri vb.).

### ➤ **Düğümler ve Bağlantılar:**

Her elemanın köşesinde düğümler bulunur. Bu düğümler, elemanlar arasındaki bağlantıları temsil eder ve sınırlama veya yüklemeleri iletme için kullanılır.

- **Neden Meshleme Yapılır:**

- **Hesaplama Hassasiyeti:**

Meshleme, modelinizi daha küçük parçalara böldüğü için daha hassas sonuçlar elde etmenizi sağlar. Özellikle karmaşık yapılar veya zemin profilleri için önemlidir.

- **Yükleme ve Sınırlama:**

Meshleme, yükleme ve sınırlama koşullarını belirlemek için kullanılır. Her elemana özgü yüklemeler veya sınırlamalar uygulayarak modelin gerçek davranışını simüle edilir.

- **Etkileşim Analizi:**

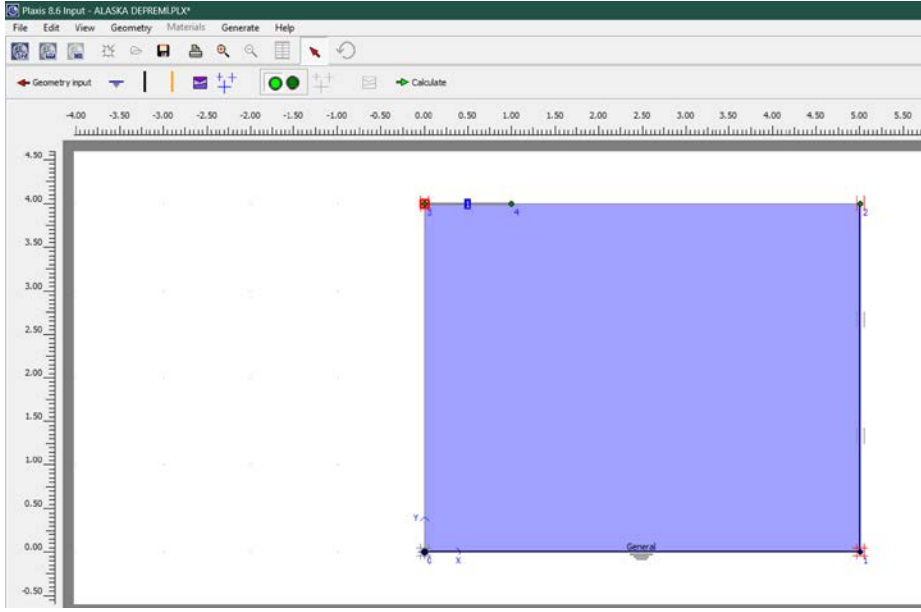
Yapıların veya zeminin etkileşimini analiz etmek için meshleme önemlidir. Elemanlar arasındaki etkileşimler, modelin daha gerçekçi sonuçlar vermesini sağlar.

- **Geometri ve Malzeme Değişiklikleri:**

Meshleme, yapı veya zemin geometrisi veya malzeme özellikleri değiştirildiğinde modele kolayca uygulanabilir.

Sonuç olarak, meshleme PLAXİS 2D programında yapı veya zemin modellerini daha küçük elemanlara bölmek ve daha hassas analizler yapmak için kullanılan önemli bir adımdır.

## 8. PLAXİS 2D Programında Su Seviyesi Belirleme.



Şekil 22. " Su Seviyesi Belirleme"

PLAXİS 2D programında "Water Level" veya "Su Seviyesi" belirleme adımını içerir. Bu adım, modeli oluşturduktan ve mühendislik parametrelerini ayarladıktan sonra gerçekleştirilir.

- **PLAXİS 2D programında su seviyesinin nasıl belirleneceğine dair adımlar yer almaktadır:**

"Geometry" görünümüne geçilir. Bu görünümde, model ve zemin profil görülebilir.

Üst menüden "Define" veya "Tanımla" seçeneğine tıklanarak devam edilir.

Açılan alt menüden "Water Level" veya "Su Seviyesi" seçeneğine tıklanarak devam edilir.

"Water Level" penceresi açıldı. Bu pencerede, su seviyesini belirlemek için uygun yükseklik girildi. Su seviyesi, zemin profilinin ne kadarını kaplayacağını gösterilir.

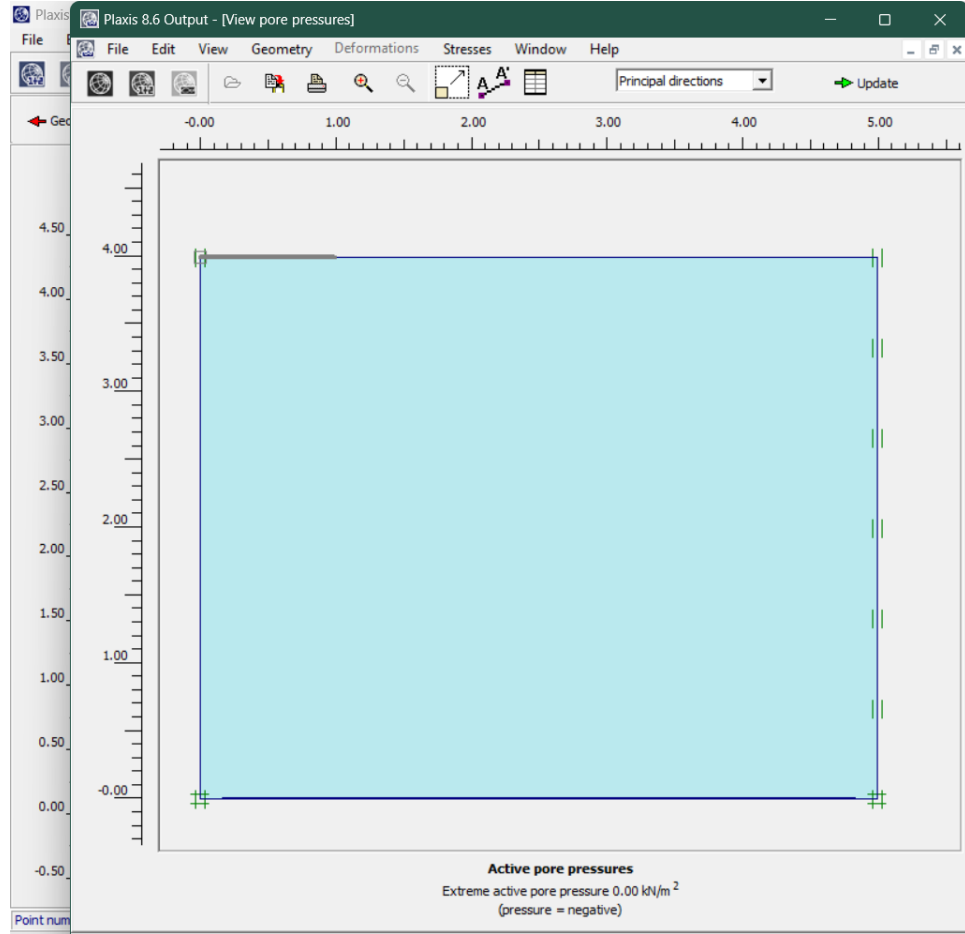
Uygun yüksekliği girdikten sonra, işlemi onaylamak için "OK" veya "Tamam" düğmesine tıklanarak devam edilir.

Bu işlem sonucunda, su seviyesi belirlenmiş oldu ve analiz bu su seviyesi değeri üzerinden gerçekleştirilir. Eğer modelde su bulunmuyorsa ve zemin



koşulları suyun etkisini gerektirmiyorsa, su seviyesini zemin profilinin altından veya belirli bir yükseklikte belirleyerek model ayarlanır.

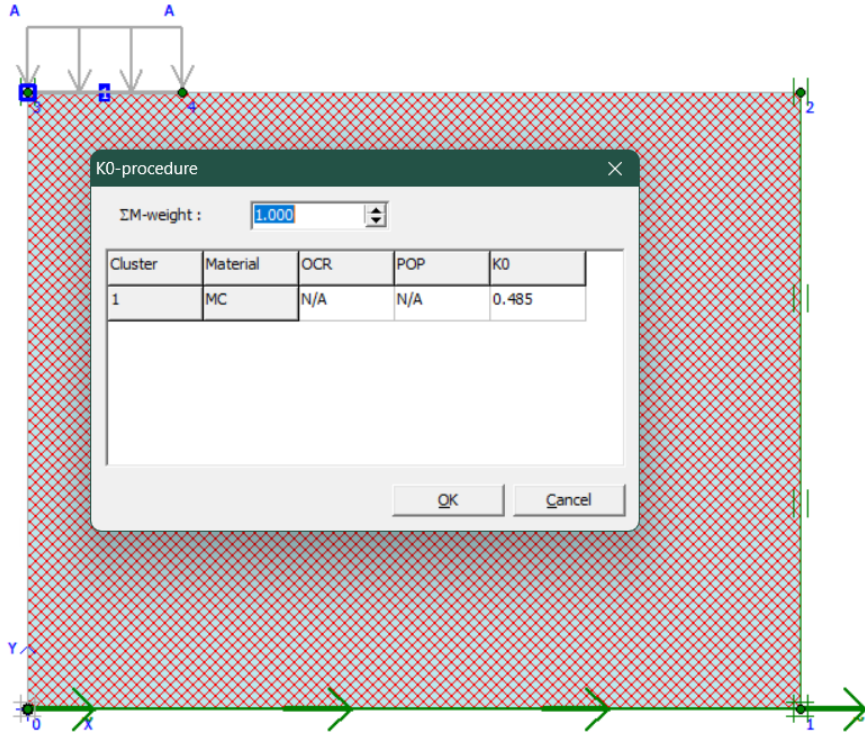
## 9. PLAXİS 2D Programında Sıfır Değerli Durumda Aktif Gözenek Basıncının Belirlenmesi.



Şekil 23. : " PLAXİS 2D Programında Aktif Gözenek Basıncının Belirlenmesi: Sıfır Değerli Durum "

PLAXİS 2D programında aktif gözenek basıncının belirlenmesi, projenin çalışıldığı alanda su bulunmadığı durumda önemli bir adımdır. Su seviyesi veya suyun etkisi olmadığında, aktif gözenek basıncı değeri sıfır olarak kabul edilir. Bu durumda, yeraltı suyunun veya diğer su kaynaklarının zeminin davranışı üzerindeki etkisi göz ardı edilir ve analizler sıfır gözenek basıncı varsayımıyla gerçekleştirilir. Bu yaklaşım, projenin su etkisi olmayan senaryolarının değerlendirilmesi ve zemin davranışının anlaşılması açısından önemlidir. PLAXİS 2D programının bu şekilde kullanılması, mühendislik projelerinin daha sağlam ve güvenilir sonuçlarla değerlendirilmesine olanak sağlar.

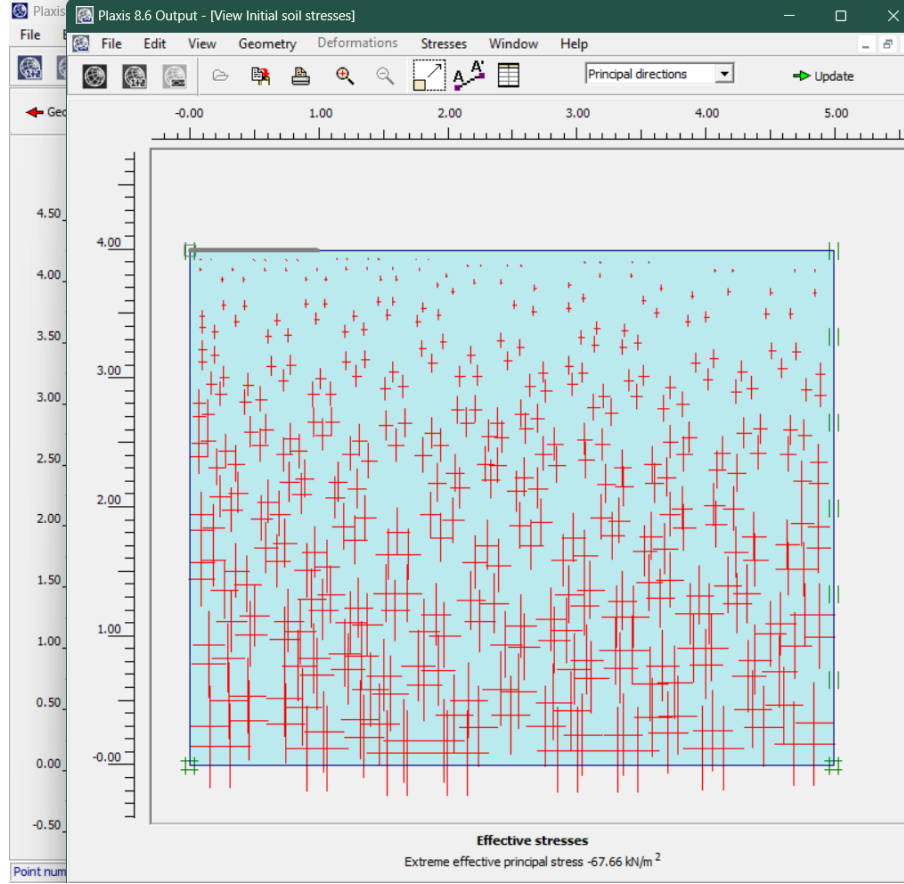
## 10. PLAXIS 2D Programında K0 (Başlangıç Efektif Gerilme Oranı) ve Zemin Davranışı.



Şekil 24. K0 (Başlangıç Efektif Gerilme Oranı)

PLAXIS 2D programında "K0" (Initial Effective Stress Ratio - Başlangıç Efektif Gerilme Oranı) terimi, zeminin başlangıçta efektif gerilme oranını ifade eder. Başlangıçta zeminin ne kadar sıkıştırılmış veya gevşemiş olduğunu gösteren bir parametredir. Efektif gerilme oranı (K0), zeminin inşaat öncesi durumunu ve sıkıştırma durumunu belirlemek için kullanılır. Bu değer, zeminin doğal sıkışma veya gevşeme derecesini yansıtır. Efektif gerilme oranı, bir malzemenin çevresel koşullara ve tarihsel yüklerle ne kadar maruz kaldığını gösterir. Daha yüksek bir K0 değeri, zeminin daha fazla gevşemiş olduğunu veya daha düşük bir K0 değeri ise zeminin daha fazla sıkıştırılmış olduğunu gösterebilir. Zeminin K0 değeri, genellikle laboratuvar testleri veya yerinde incelemeler sonucunda belirlenir. Bu değer, zeminin davranışını anlamak ve geoteknik analizlerde kullanmak için önemlidir. PLAXIS 2D programında K0 değeri, zeminin davranışının modellenmesinde ve analizlerin yapılmasında kullanılır.

## 11. PLAXİS 2D Programıyla Basınç ve Efektif Girilme Hesaplamaları ve Sonuçların İncelenmesi.



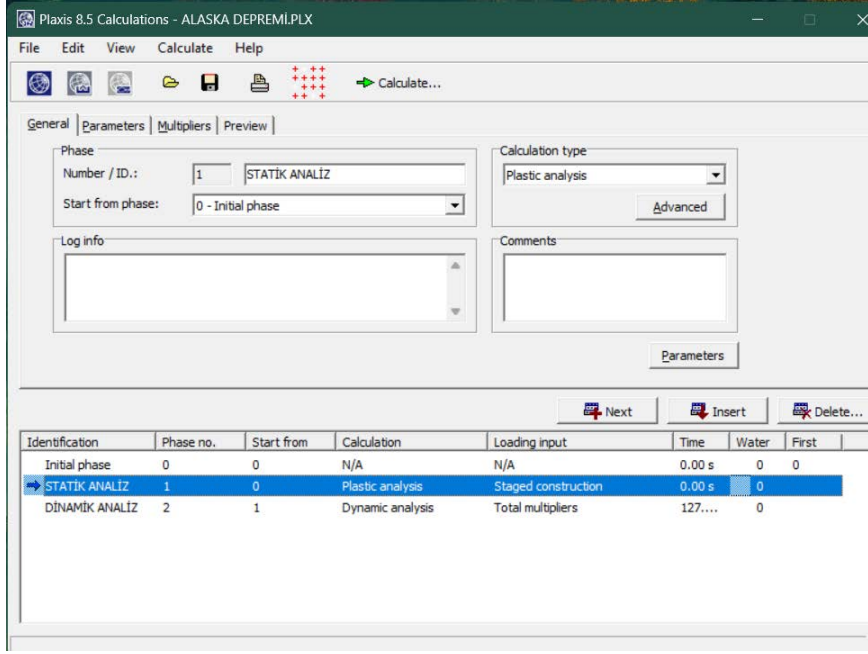
Şekil 25. Efektif girilme.

Basınç ve Efektif girilme Hesaplamaları:

PLAXİS 2D programında efektif girilme hesaplamalarını yaparken, her bir noktada bulunan toplam gerilme ve porozite değerlerini kullanarak Efektif girilme hesaplanabilir. Bu hesaplamalar, zeminin içindeki suyun durumu ve gerilmelerin nasıl etkilendiğini gösterir.

- **Sonuçların İncelenmesi:**

Analiz sonuçlarını inceleyerek efektif girilme dağılımını ve zemin davranışını anlayabilirsiniz. PLAXİS 2D programı, çeşitli grafikler ve Çizelgeler aracılığıyla bu sonuçları görsel olarak sunar.

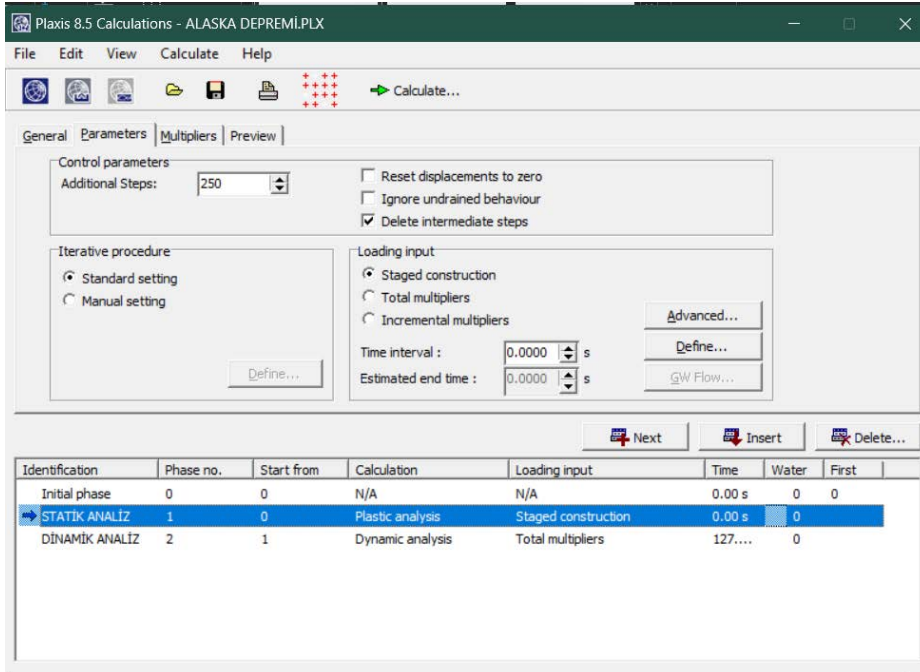


Şekil 26. Statik analiz.

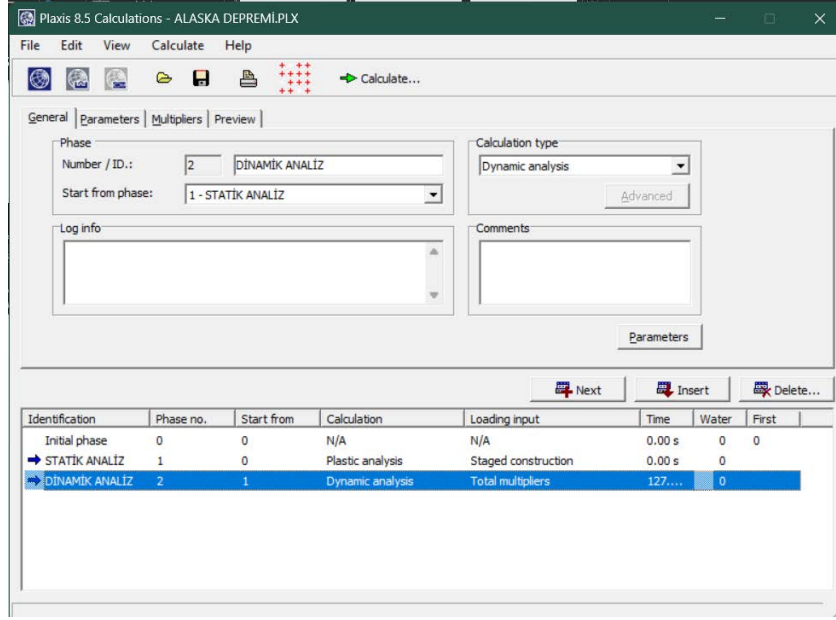
## 12. PLAXİS 2D'de Statik Ve Dinamik Analiz.

- **Analiz Türünün Seçilmesi:**

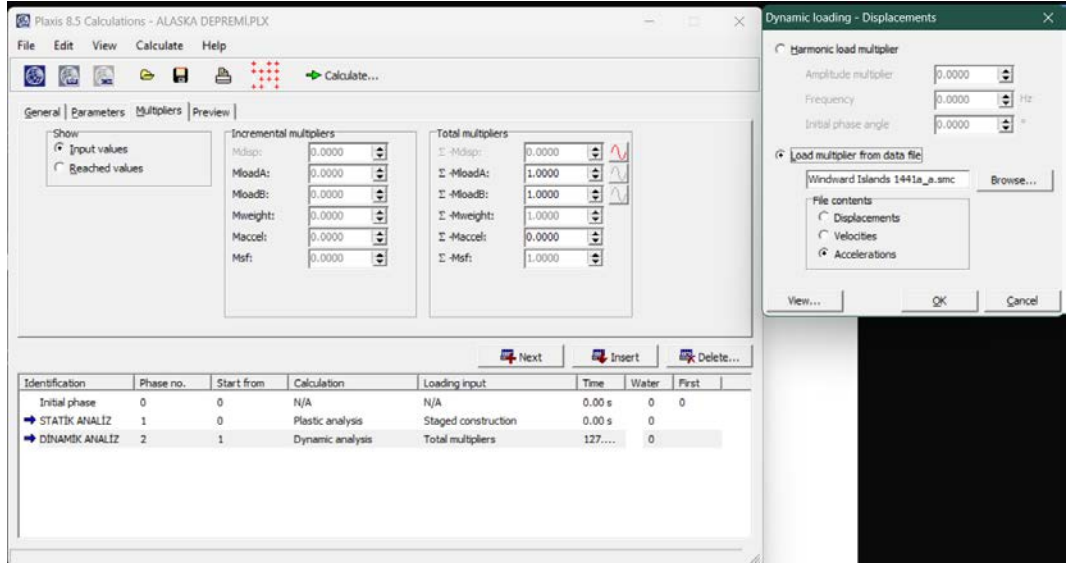
Statik analizde, zeminin elastik davranışı dikkate alınır ve plastik deformasyonlar göz ardı edilir. Bu nedenle, "Static Analysis" bölümünde statik analiz türünü seçmelisiniz.



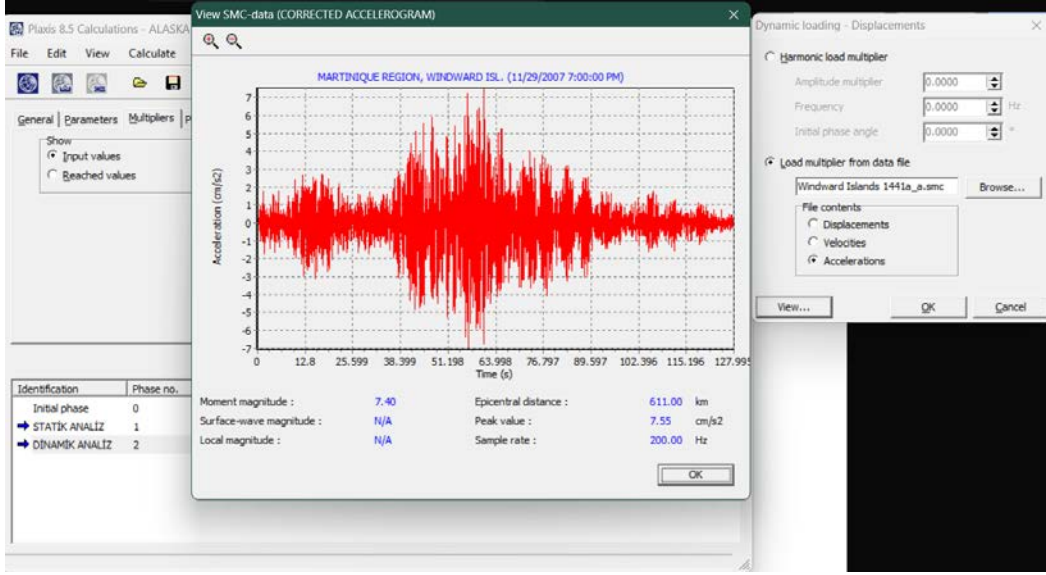
Şekil 27. Statik analiz aktif edilmesi.



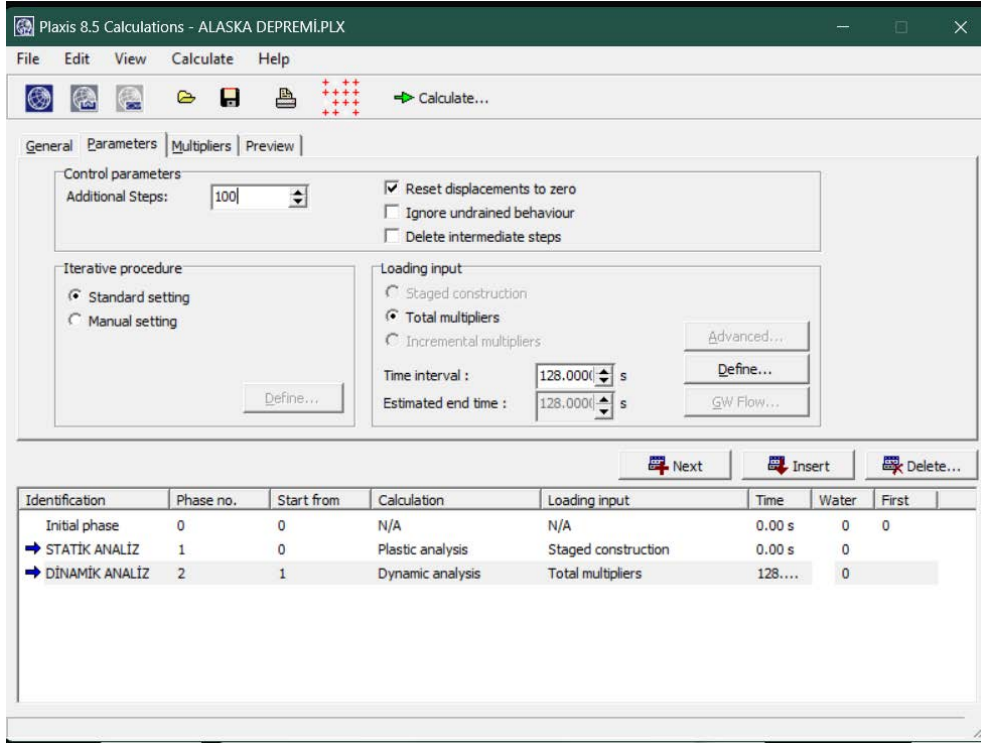
Şekil 28. Dinamik analiz aktif edilmesi.



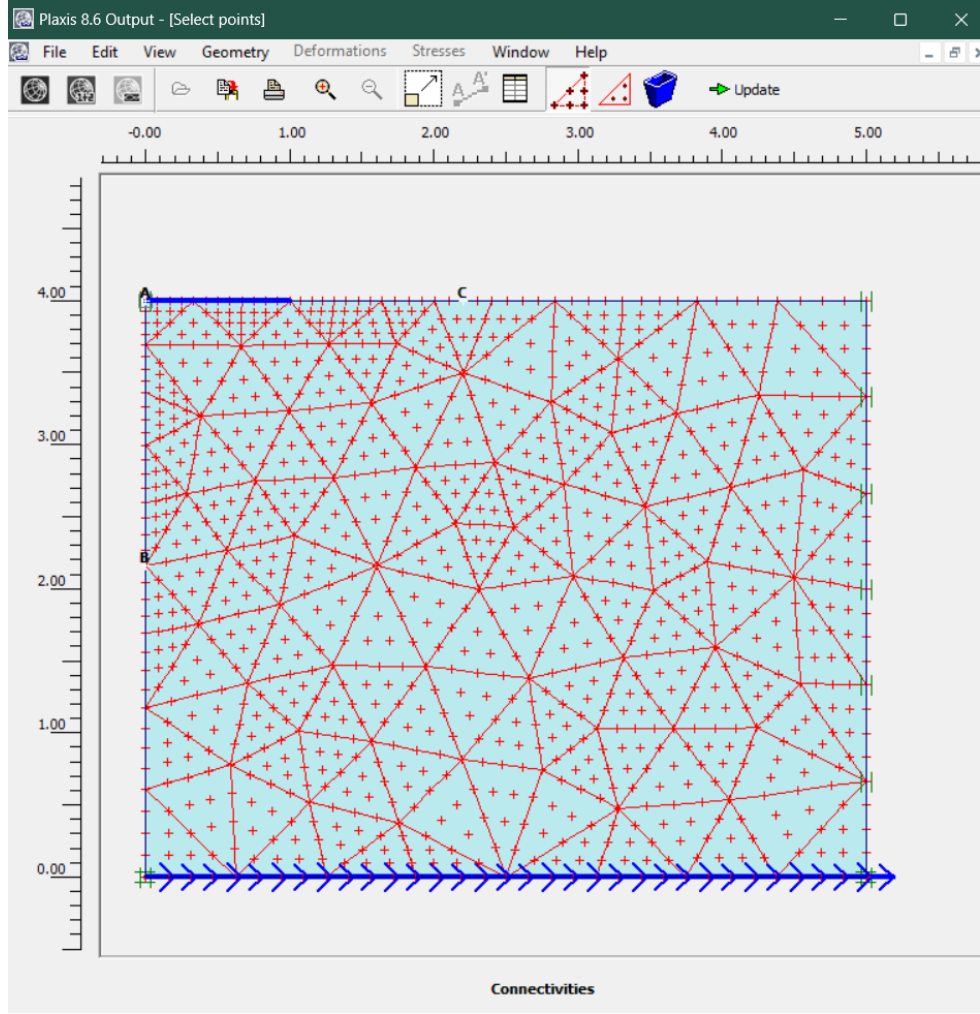
Şekil 29. total multipliers den kırmızı işarete tıklayarak ve load multipliers from data file, Browse tıklayarak deprem kaydı smc uzantısından seçilmesi.



Şekil 30. Browse tıklayarak deprem kaydı smc uzantısından seçmekten sonra deprem kaydı açılması, deprem süresini kontrol edilmesi.



Şekil 31. (Time interval) de deprem süresi saniye cinsinden yazılması.



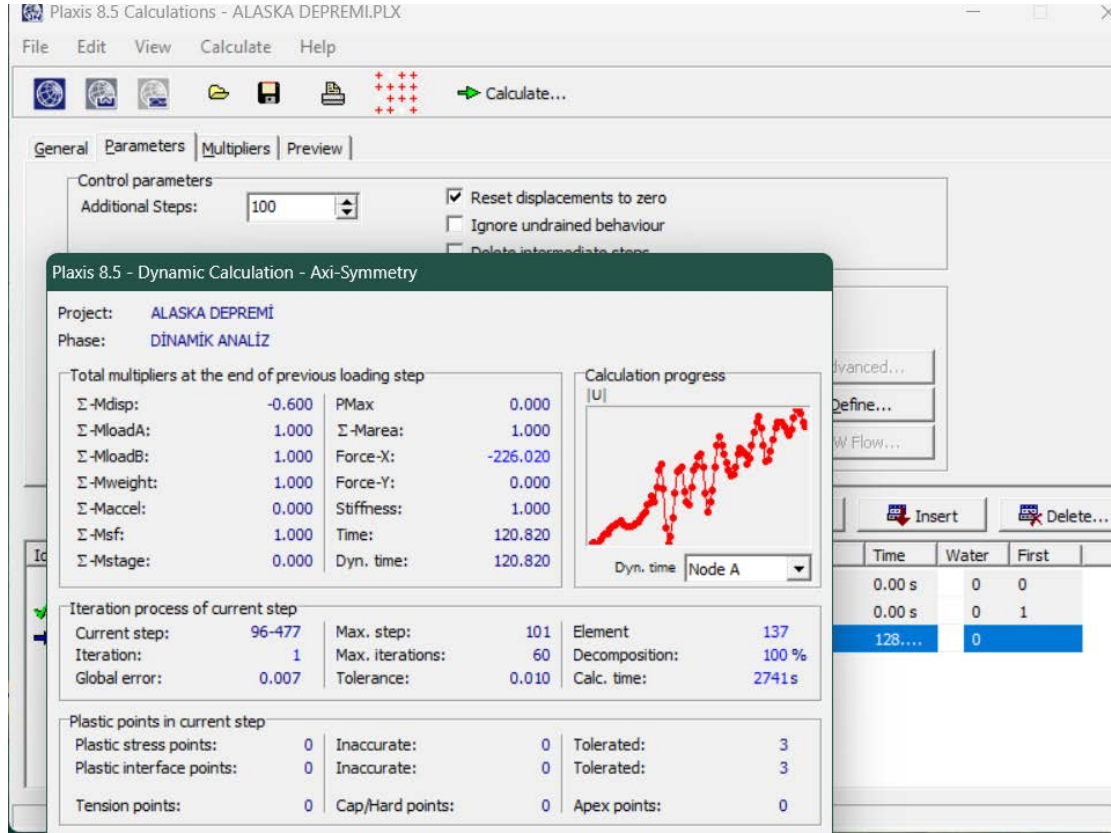
Şekil 32. PLAXİS 2D programında hesaplamalar yaparken belirli bir noktayı seçerek o noktada çeşitli parametreleri hesaplanması.

- **Hesaplamaların Yapılacağı Noktayı Seçilmesi.**

Hesaplamaları yapmak istenen noktayı belirlemek için "Geometry" sekmesine gidilir. Burada modele eklenmiş zemin tabakaları ve yapı elemanları görünecektir. İlgili noktayı seçmek için tıklamak yeterlidir.

- **Hesaplamaların Belirlenmesi:**

Seçilen noktada yapılacak hesaplamaları belirlemek önemlidir. Örneğin, yer değiştirmeleri, iç kuvvetleri, gerilmeleri veya ivmeleri hesaplamak gibi farklı parametreleri hesaplanabilir.



Şekil 33.: Analizin Yapılması.

- **Analizin Yapılması:**

Hesaplamaları seçtikten sonra, "Run Calculation" veya benzeri bir düğmeye tıklayarak analizi başlatılır. Program, seçilen noktada belirlenen hesaplamaları gerçekleştirecektir.

- **Sonuçların İncelenmesi:**

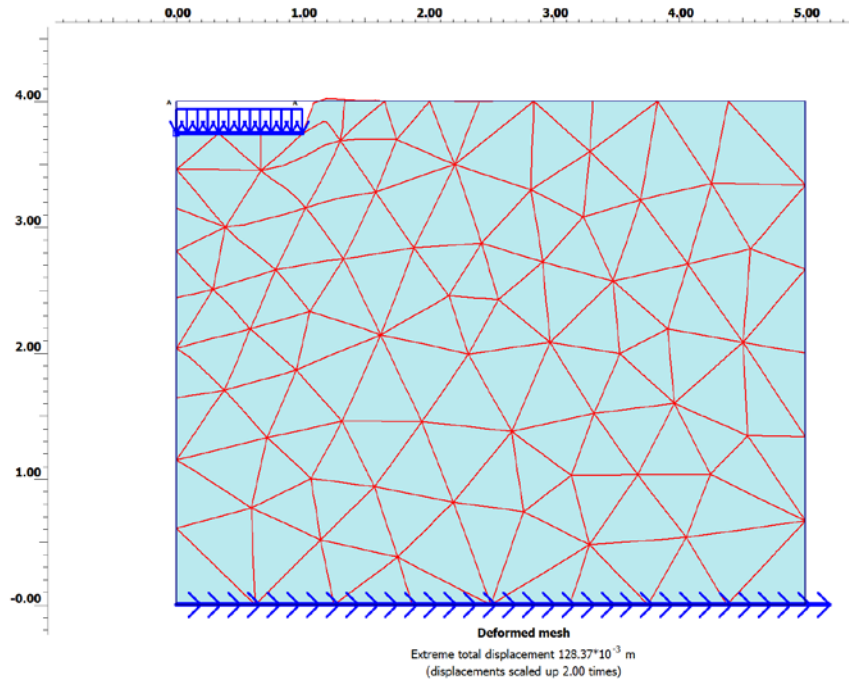
Analiz tamamlanır, program seçilen noktada hesaplanan parametrelerin sonuçlarını sunar. Bu sonuçları "Results" sekmesi altında inceleyebilir ve grafiklerle görselleştirebilir.



## IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.

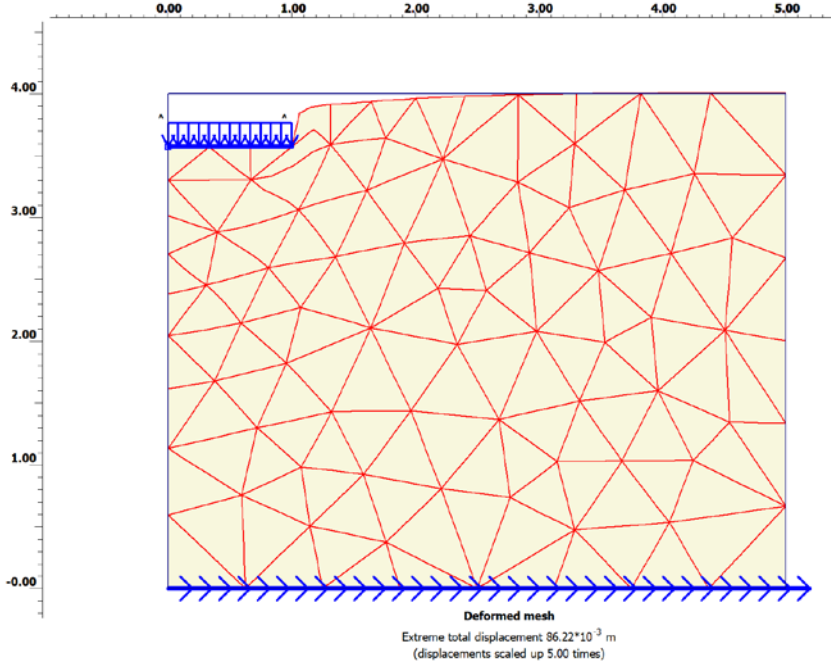
### A. PLAXİS 2D’de Verilerin Sunumu ve Analiz Bulguları.

Elde edilen sonuçları inceleyerek, seçilen noktanın davranışını anlayabilir. Bu, yapı tasarımını optimize etmek veya zemin davranışını analiz etmek için önemlidir.



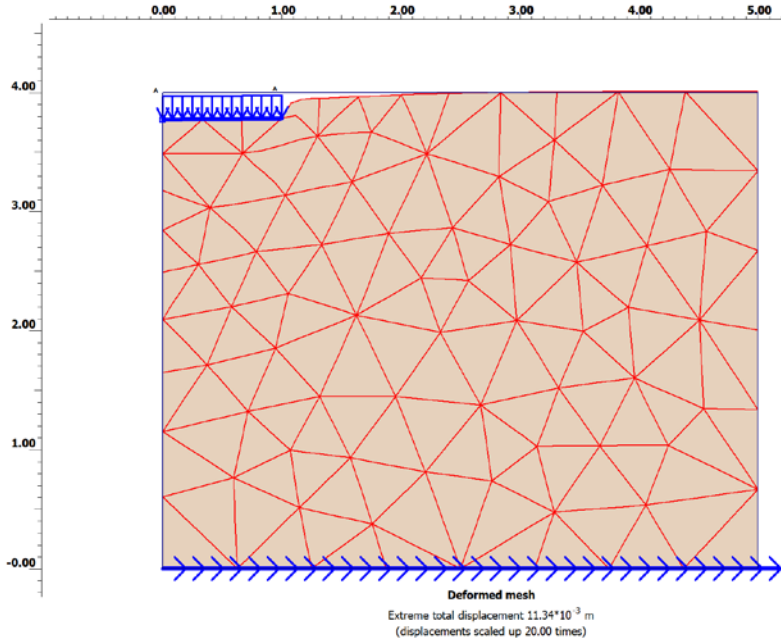
Şekil 34. Kumlu zeminde 2 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

Şekil 34’te deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi iki kat büyüterek göstermektedir. Bu, görüntülenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan iki kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.



Şekil 35. Bakırköy zeminde 5 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

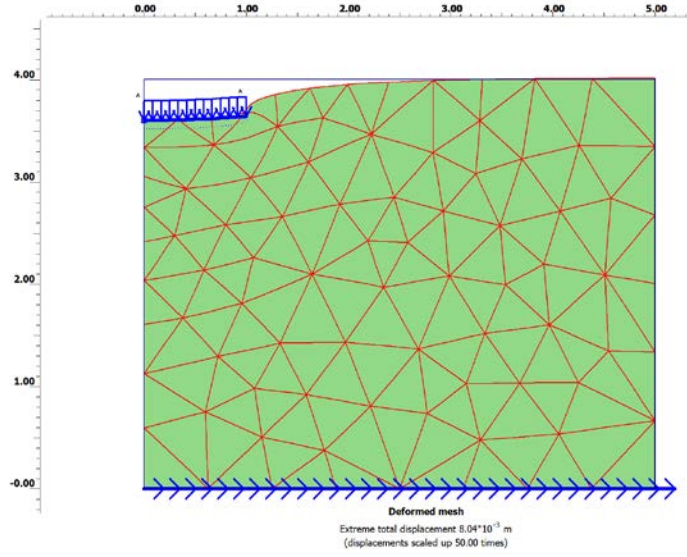
Şekil 35’te Siltli Kil, Kil, Kireçtaşı Ardalanımı Bir Zemin (ZC- Bakırköy İlçesi) için deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 5 kat büyütür göstermektedir. Bu, görüntülenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan 5 kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.



Şekil 36. Sultangazi İlçesi 20 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

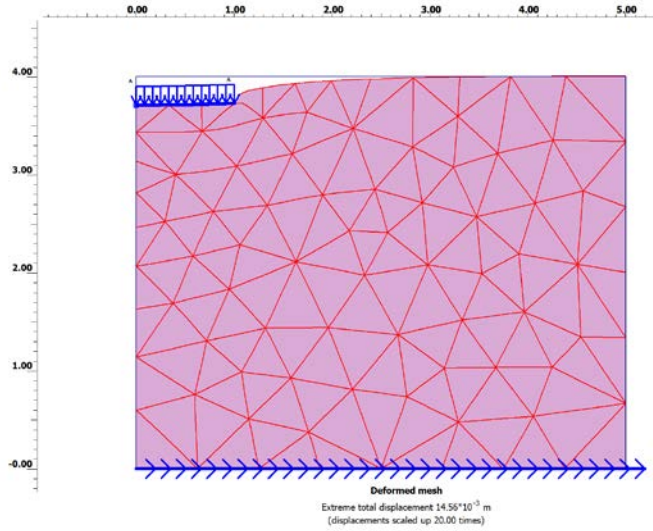
Şekil 36’da Yeşil Siltli Kil Zemin (ZD- Sultangazi İlçesi) deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 20 kat büyütür göstermektedir. Bu,

görüntülenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan 20 kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.



Şekil 37. Silivri ilçesi için 50 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

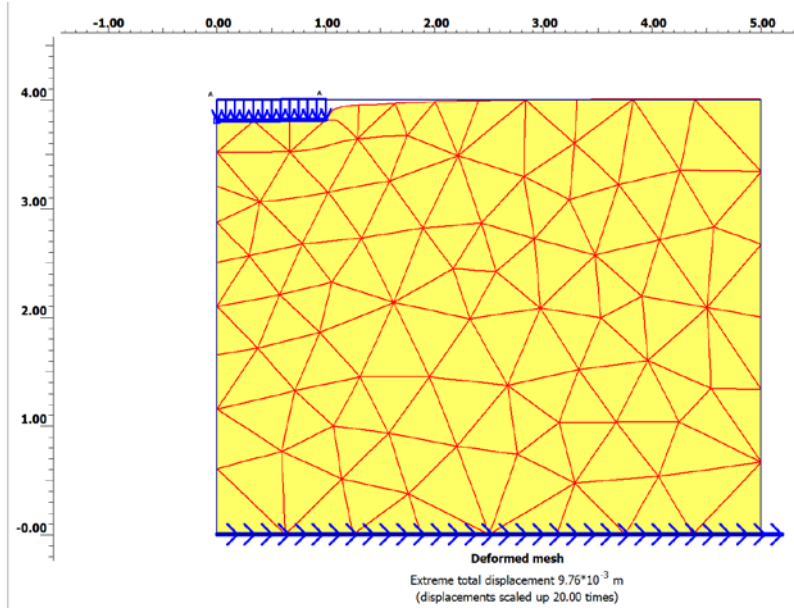
Şekil 37’de Kum Abaranlı Sert Yeşil Kumlu Siltli Kil Zemin (ZC- Silivri İlçesi) için deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 50 kat büyütürken göstermektedir. Bu, görüntülenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan 50 kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.



Şekil 38. Büyükçekmece İlçesi için 20 Kat Büyütülmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

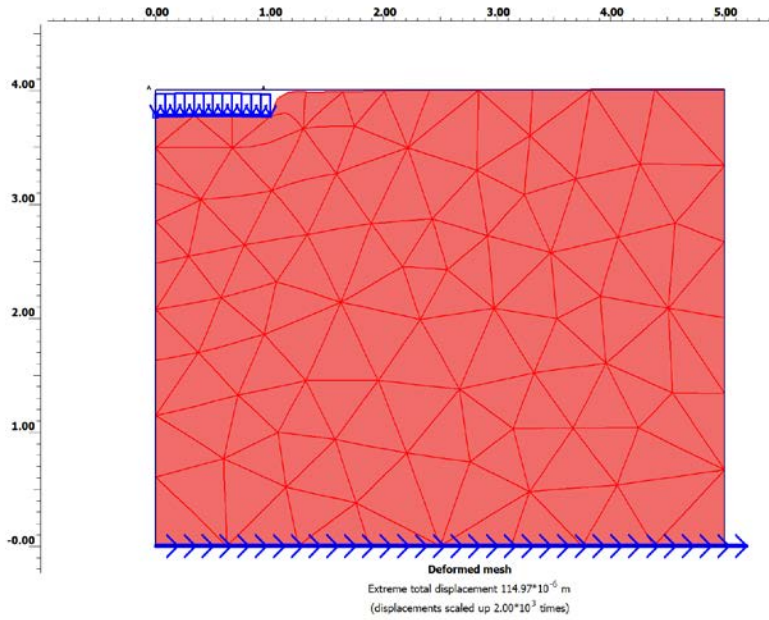
Şekil 38’de Sarımsı-Yeşilimsi Renkli Killi Kum Zemin (ZD- Büyükçekmece İlçesi) için deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 20 kat büyütürken göstermektedir. Bu, görüntülenen yer

değiştirmenin gerçekte olduğundan 20 kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.



Şekil 39. Fatih İlçesi için 20 Kat Büyütölmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

Şekil 39'da Çakıllı Siltli Kumlu Sert Kil Zemin (ZC- Fatih İlçesi) için deformasyona uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 20 kat büyütörek göstermektedir. Bu, göröntölenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan 20 kat daha büyük bir ölçekte gösterildiği anlamına gelir.

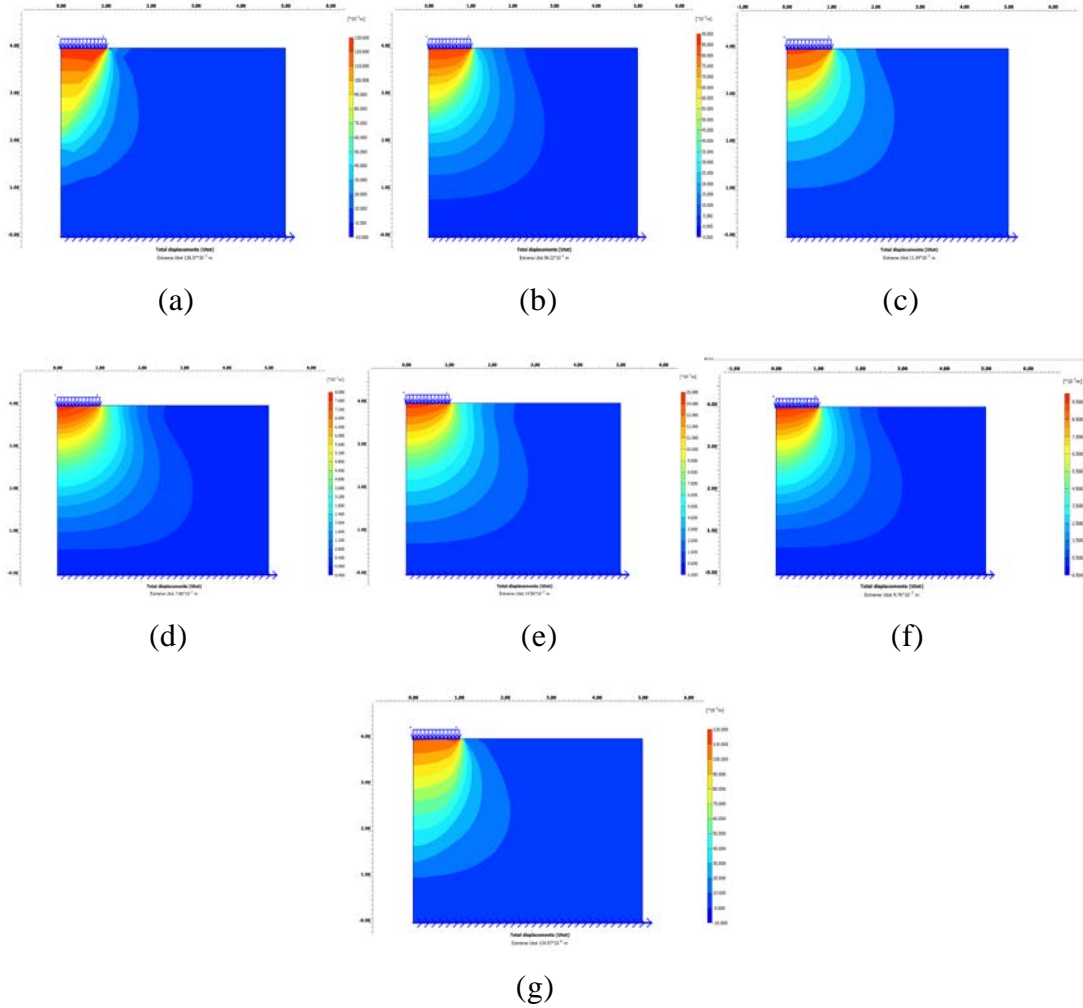


Şekil 40. Tuzla İlçesi için 2000 Kat Büyütölmüş Deformasyonlu Ağ Yapısı.

Şekil 40'ta Sedef Adası Kireçtaşı Üyesine Ait Koyu Kül Renkli Kızılımsı Kalsit Damarı Kırıklı Çatlaklı Kaya Zemin (ZB- Tuzla İlçesi) için deformasyona

uğramış ağ yapısı, toplam yer değiştirmeyi 2000 kat bŸyŸterek gŸstermektedir. Bu, gŸrŸntŸlenen yer değiştirmenin gerçekte olduğundan 2000 kat daha bŸyŸk bir Ŗlçekte gŸsterildiđi anlamına gelir.

## 1. Statik Analizi



şekil 41. Statik yŸkŸ 350 kPa olan sığ dairesel temelin yer değiştirmesinin statik analizinin sonucu, her şekilde temel altında farklı zemin bulunmaktadır. "(a) Kumlu zemin vakasında toplam yer değiştirme, b) ZC- BakırkŸy İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (c) ZD- Sultangazi İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (d) ZC- Silivri İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (e) ZD- BŸyŸkçekmece İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (f) ZC- Fatih İlçesi vakasında toplam yer değiştirme, (g) ZB- Tuzla İlçesi vakasında toplam yer değiştirme.

"PLAXIS 2D programından elde edilen renkli gŸrŸntŸ, temeldeki yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Renkli gŸlgeleme yŸntemi kullanılarak yer değiştirmenin derecesi vurgulanmıştır; doğrudan temelin altında kırmızı renkli alanlar en bŸyŸk yer değiştirmeyi ifade ederken, sarıdan maviye doğru renkler değişir ve daha az yer değiştirmeyi temsil eder.

Görüntüye bakıldığında, kırmızı renk doğrudan temel merkezinin altında yoğunlaşmıştır, bu bölgede en büyük yer değiştirme değerini gösterir. Renkler merkezden uzaklaştıkça yavaşça kırmızıdan sarıya ve ardından maviye doğru değişir; bu da yer değiştirmenin giderek azaldığını gösterir.

Bu yöntemle, mühendisler büyük yer değiştirme bölgelerini ve daha az yer değiştirme olan bölgeleri renk tonlarına göre belirleyebilirler, bu da sonuçları analiz etmelerine ve temel ve yapı tasarımında uygun kararları almalarına yardımcı olur.

PLAXIS 2D kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yedi görüntü, sabit bir yük olan 350 kilo Pascal'lık yükü dairesel sığ temel üzerindeki yer değiştirmeleri göstermektedir. Her bir görüntü, farklı bir zemin koşulunu temsil etmekte olup başlangıçta belirli bir zemin üzerindeki yer değiştirmeyi yansıtmaktadır.

**Şekil (a):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temelin altında kumlu zemin bulunmaktadır.

**Şekil (b):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temel altında siltli kil, kil, kireçtaşı ardalanı bir zemin bulunmaktadır.

**Şekil (c):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temel altında yeşil siltli kil bir zemin bulunmaktadır.

**Şekil (d):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temel altında kum abarantlı sert yeşil kumlu siltli kil bir zemin bulunmaktadır.

**Şekil (e):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temel altında sarımsı-yeşilimsi renkli killi kum bir zemin bulunmaktadır.

**Şekil (f):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelini yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir.. Temel altında çakıllı siltli kumlu sert kil bir zemin bulunmaktadır.

**Şekil (g):** Bu görüntü, 350 kPa statik yük ile yüzey temelinin yer değiştirmesinin statik analizinin sonucunu göstermektedir. Temel altında sedefadası kireçtaşı üyesine ait koyu kül renkli kızılımsı kalsit damarı kırıklı çatlaklı kaya bir zemin bulunmaktadır.

Çizelge 17. Sığ bir temelin sabit statik yük altında farklı zemin türlerine göre toplam yer değiştirmelerinin sonuçları.

Zemin türleri	Toplam yer değiştirme (m)
(a) Kumlu Zemin	$128.37 \times 10^{-3}$
(b) ZC- Bakırköy İlçesi	$86.22 \times 10^{-3}$
(c) ZD- Büyükçekmece İlçesi	$14.56 \times 10^{-3}$
(d) ZD- Sultangazi İlçesi	$11.34 \times 10^{-3}$
(e) ZC- Fatih İlçesi	$9.76 \times 10^{-3}$
(f) ZC- Silivri İlçesi	$8.04 \times 10^{-3}$
(g) ZB- Tuzla İlçesi	$114.97 \times 10^{-6}$

Çizelge 17'de, farklı yerel zemin sınıflarına ait ilçelerde sabit statik yük altındaki yer değiştirmeleri gösterilmektedir. Her bir zemin türü için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

#### **a. Kumlu Zemin.**

Bu zemin türünde, 350 kilo Pascal sabit yükün etkisiyle 0.12837 metrelik bir yer değiştirme gerçekleşti. Bu sonuç, kumlu zemin vakasının en fazla yer değiştiren zemin olduğunu göstermektedir.

#### **b. Siltli Kil, Kil, Kireçtaşı Ardalanı Bir Zemin (ZC- Bakırköy İlçesi)**

Bu tip zeminlerde uygulanan yükün temele etkisi nedeniyle 0,08622 metrelik bir yer değiştirme gözlenmiştir. Bu sonuç, Bakırköy bölgesindeki siltli kil, kil ve kireçtaşının ardalanı olarak bulunduğu zeminlerin kumlu zeminlere göre daha az yer değiştirdiğini göstermektedir.

#### **c. Sarımsı-Yeşilimsi Renkli Killi Kum Zemin (ZD- Büyükçekmece İlçesi)**

Bu zemin türünde, 0.01456 metrelik bir yer değiştirme meydana gelir. Büyükçekmece İlçesi'ndeki sarımsı-yeşilimsi renkli killi kum zemin, diğer zemin türlerine göre daha az yer değiştirme özelliğine sahiptir.

#### **d. Yeşil Siltli Kil Zemin (ZD- Sultangazi İlçesi)**

Bu zemin türünde, 0.01137 metrelik bir yer değiştirme görülür. Sultangazi İlçesi'nde yeşil siltli kil zemini, yer değiştirme kabiliyetinin bir göstergesidir.

**e. akıllı Siltli Kumlu Sert Kil Zemin (ZC- Fatih İlçesi)**

Bu zemin türünde, yüzeye uygulanan yükün etkisiyle 0.00976 metrelik bir yer değişikliği oluşur. Fatih İlçesi'nde çakıllı siltli kumlu sert kil zemini, diğer zemin türlerine göre daha az yer değiştirme özelliğine sahiptir.

**f. Kum Abaranlı Sert Yeşil Kumlu Siltli Kil Zemin (ZC- Silivri İlçesi)**

Bu zemin türünde, 0.00804 metrelik bir yer değiştirme meydana gelir. Silivri İlçesi'nde kum abaranlı sert yeşil kumlu siltli kil zemini, diğer zemin türlerine göre daha düşük bir yer değiştirme potansiyeline sahiptir.

**g. Sedef Adası Kireçtaşı Üyesine Ait Koyu Kül Renkli Kızılımsı Kalsit Damarı Kırıklı atlaklı Kaya Zemin (ZB- Tuzla İlçesi)**

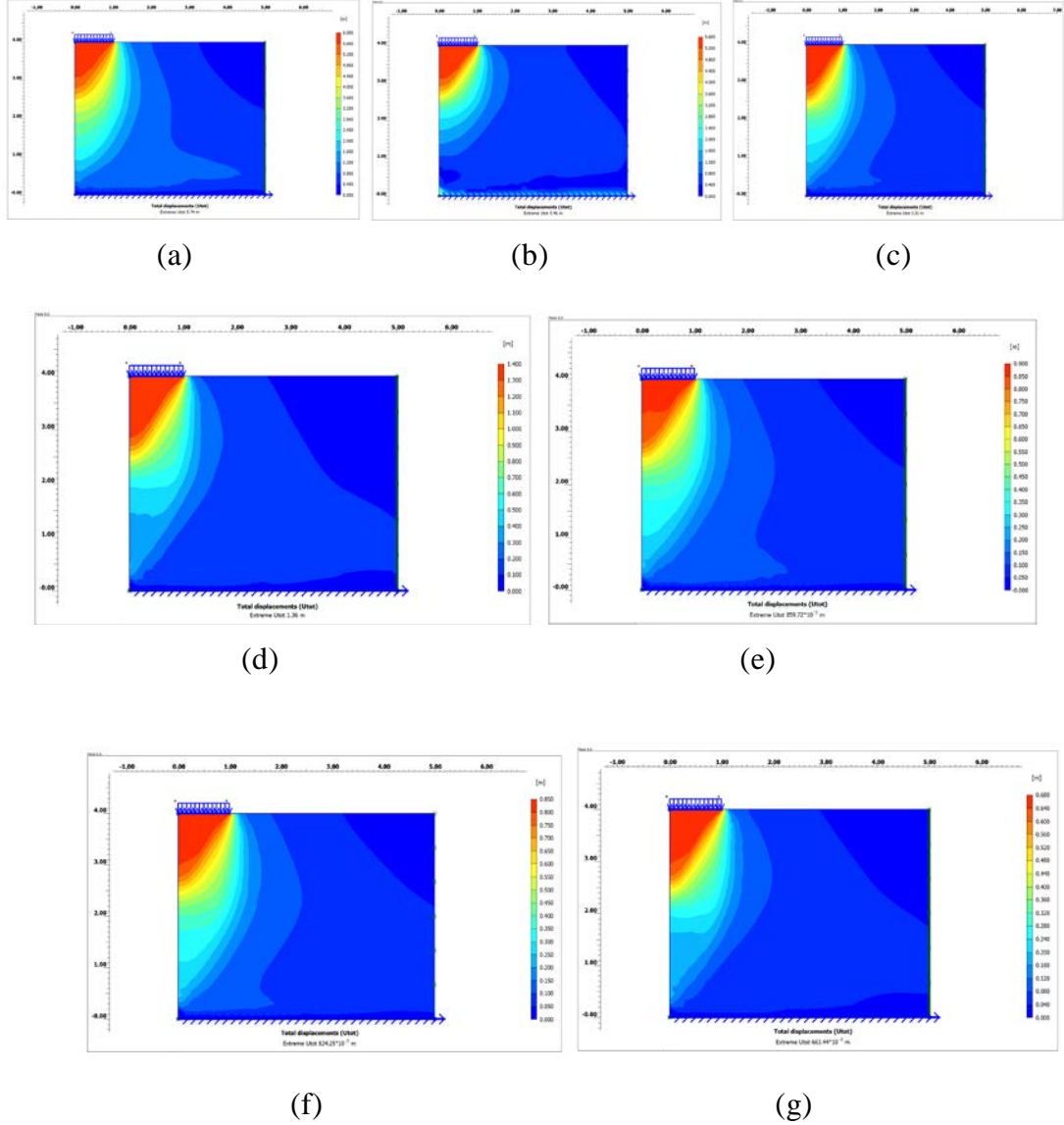
Bu zemin türünde, sığ temele uygulanan yükün etkisiyle 0.000114 metrelik bir yer değiştirme görölmektedir. Tuzla İlçesi'nde sedef adası kireçtaşı üyesine ait koyu kül renkli kızılımsı kalsit damarı kırıklı çatlaklı kaya zemin, en az yer değiştiren zemin olarak öne çıkar.

Bu sonuçlar, sabit statik yük altında yerel zemin sınıflarının farklı bölgelerdeki yer değiştirmesini göstermektedir.



## 2. Dinamik Analizi

### a. Birinci Vaka: Kumlu Zemin Örneği (Plaxis 2D Eğitim Kılavuzundan Alınmış).



Şekil 42. Birinci vaka (Kumlu Zemin) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(a) resimde Sierra El Mayor, Mexico depreminin sonucu görülmektedir. Depremin büyüklüğü (Mw) 7.20 olarak ölçüldü, yer değiştirme 5.74 metre olarak belirlendi. Bu sonuçlar, yüksek bir Mw değeri ve yer değiştirme arasında bir ilişkinin olduğunu gösteriyor.

(b) resimde Offshore Maule, şili depreminin sonucunu gösteren, Mw değeri 8.8 olarak hesaplandı ve yer değiştirme 5.46 metre olarak ölçüldü. Bu durum, büyük bir depremin yüksek yer değiştirmeye neden olabileceğini göstermektedir.

(c) resimde Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya depreminin sonucu görülmektedir. Depremin Mw değeri 7.9 olarak kaydedildi ve yer değiştirme 3.31 metre olarak hesaplandı. Bu durum, yüksek Mw değerlerinin ve yer değişiminin birbiriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

(d) resimde WNW of Ferndale, California depreminin sonucunu gösteren bu resimde, Mw değeri 6.8 olarak belirlendi, yer değiştirme 1.36 metre olarak ölçüldü. Bu durum, önceki depremlere karşılaştırıldığında, daha düşük bir Mw değeri ile daha az yer değiştirme arasında bir ilişki olduğunu gösteriyor.

(e) resimde San Simeon, California depreminin sonucu görülmektedir. Depremin Mw değeri 6.4 olarak hesaplandı ve yer değiştirme 0.85972 metre olarak kaydedildi. Bu durum, önceki depreme karşılaştırıldığında, daha düşük bir Mw değeri ile daha az yer değiştirme arasında bir ilişki olduğunu gösteriyor.

(f) resimde Denali Fay, Alaska depreminin sonucunu gösteren, Mw değeri 7.9 olarak ölçüldü ve yer değiştirme 0.82425 metre olarak belirlendi. Bu sonuçta, daha önceki depremlere göre Mw değeri ile yer değiştirme arasındaki ilişki zayıf görülmektedir.

(g) resimde Offshore Northern California depreminin sonucu görülmektedir. Depremin Mw değeri 7.1 olarak hesaplandı ve yer değiştirme 0.66344 metre olarak ölçüldü. Bu durumda, daha önceki depremlere göre Mw değeri ile yer değiştirme arasındaki ilişki zayıf görülmektedir.

Çizelge 18. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Birinci vaka).

Deprem	Mw	Süre Saniye	Derinlik (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV cm/s	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer Değiştirme $\Delta L$ (m)	Birim Şekil Değiştirme $\varepsilon\%$
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	544	28.7	18.889	5.74	143.5
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	638	35	16.789	5.46	136.5
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	124	7.6	16.316	3.31	82.75
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	61.7	4.6	13.413	1.36	34
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	114	8.5	13.412	$859.72 \times 10^{-3}$	21.49
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	$824.25 \times 10^{-3}$	20.61
Offshore Northern , CA	7.1	45.995	21	6.35	0.52	12.212	$663.44 \times 10^{-3}$	16.59

Çizelge 18'de, farklı deprem olaylarının zemin katmanlarında yarattığı birim şekil değiştirmenin analizini sunmaktadır. Depremlerin zeminde yarattığı yer değiştirme, yapısal mühendislik ve jeofizik alanlarında büyük bir öneme sahiptir. Bu analiz, zemin katmanlarının farklı deprem şiddetlerine ve yerlere nasıl tepki verdiğini incelemeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada, zemin katmanının kalınlığı (L) sabit olarak kabul edilmiş ve bu değer 4 metre olarak belirlenmiştir. Her bir deprem olayı için zeminde meydana gelen toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ) değeri belirlenmiştir.

$\Delta L$ , bir zemin katmanının deprem sırasında ne kadar uzadığını veya kısalığını ifade eder. Bu değer, orijinal katman boyu (L) ile karşılaştırılır.  $\varepsilon\%$  (birim şekil değiştirme yüzdesi), bu uzama veya kısalmanın yüzdesel bir ifadesidir.

$\varepsilon$ , aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\varepsilon = (\Delta L / L) \times \%100$$

Bu formül,  $\Delta L$ 'nin L'ye (katmanın orijinal boyu) bölünmesi ve sonucun yüzde olarak ifade edilmesi yoluyla birim şekil değiştirmeyi hesaplar. Yani, zemin katmanının ne kadar uzadığını veya kısalığını orijinal boyuna göre yüzde olarak ifade eder.

Örneğin, bir zemin katmanının orijinal boyu (L) 4 metre ve deprem sonucu bu katman 5.74 metre uzamışsa, bu durumda:

$$\Delta L = 5.74 \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$\epsilon$ 'yi hesaplamak için formülü kullanabiliriz:

$$\epsilon = (\Delta L / L) \times \%100 = (5.74 \text{ m} / 4 \text{ m}) \times \%100 = \%143.5$$

Bu durumda, zemin katmanının birim şekil değiştirme yüzdesi ( $\epsilon$ ) %143.5 olarak hesaplanır. Bu, zemin katmanının orijinal boyuna göre %143.5 oranında uzadığını gösterir.

Bu ilişki, zemin katmanlarının deprem etkisi altında nasıl şekil değiştirdiğini yüzdesel olarak ifade etmek için kullanılmaktadır.

#### **i. PGA /PGV ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler**

##### **Çizelge 18'e göre**

##### **1-Deprem: Sierra El Mayor, Mexico**

- Büyüklük ( $M_w$ ): 7.20 - Bu depremin büyüklüğü, depremin enerji çıkışını temsil eder. Daha büyük bir  $M_w$  değeri, daha fazla enerji açığa çıktığı anlamına gelir.

- Süre (Saniye): 71.995 - Depremin sürdüğü toplam süreyi belirtir. Uzun süren depremler, zemin üzerinde daha fazla etki yaratabilir.

- Derinlik (km): 10 - Depremin yerin yüzeyinden ne kadar derinde meydana geldiğini gösterir. Daha derin depremler, yer değiştirmeye daha az etki edebilir.

- PGA ( $\text{cm/s}^2$ ): 544 - Yer yüzeyindeki ivme değerini belirtir. Daha yüksek ivme değeri, daha büyük yer değiştirmesine neden olabilir.

- PGV ( $\text{cm/s}$ ): 28.7 - Yer yüzeyindeki hız değerini belirtir. Daha yüksek hız, daha büyük deplasmanlara yol açabilir.

- PGA/PGV Oranı: 18.889 - Yer yüzeyindeki ivme ile hız arasındaki oranı gösterir. Bu oran, yer değiştirmesini etkileyebilir.

- Toplam Deplasmanlar (m): 5.74 - Toplam yer değiştirmesi değerini ifade eder. Büyük yer değişiklikleri, daha yüksek ivme ve hız değerleri ile ilişkilendirilebilir.

- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 5.74 \text{ m}, L = 4 \text{ m}.$$

$$\epsilon = \Delta L / L = 5.74 \text{ m} / 4 \text{ m} = 1.435$$

Yüzdeye Çevrildiğinde:  $\epsilon_1$  Yüzdesi =  $1.435 \times 100 = \%143.5$

Birim şekil değiştirme, zeminin bir deprem sırasında ne kadar uzadığını veya kısaladığını gösterir. Birinci depremde zemin, orijinal boyutuna göre %143.5 daha uzamıştır. Bu bilgi, deprem etkilerini analiz etmek ve yapısal mühendislik projelerinde zemin davranışını hesaplamak için kullanılır.

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

Bu depremin yer değiştirmesi ile PGA/PGV değeri arasındaki ilişki incelendiğinde, yüksek bir PGA/PGV değeri ile büyük bir yer değiştirmesi ve birim şekil değiştirmesi arasında pozitif bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Başka bir deyişle, daha yüksek PGA/PGV değerleri, genellikle daha büyük bir yer değiştirmesi ve birim şekil değiştirmesi ile ilişkilendirilmektedir.

## **2-Deprem: Offshore Maule, Chile**

- Bu depremdeki büyüklük ( $M_w$ ) değeri 8.8 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 16.789 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi 5.46 metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L_2 = 5.46 \text{ m}, L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_2 = \Delta L_2 / L = 5.46 \text{ m} / 4 \text{ m} = 1.365$$

Yüzdeye Çevrildiğinde:  $\epsilon_2$  Yüzdesi =  $1.365 \times 100 = \%136.5$

Bu verilere dayalı olarak, toplam yer değiştirme miktarı azaldıkça birim şekil değiştirme yüzdesinin de azaldığını gözlemlemekteyiz. Örneğin, birinci ve ikinci deprem arasındaki 0.28 metrelik azalma, bir birim şekil değiştirme yüzdesinde %7'lik bir azalmaya neden olmuştur.

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

Bu deprem örneğinde yüksek bir PGA/PGV değeri ile büyük bir yer değiştirmesi ve birim şekil değiştirmesi arasında önemli bir paralellik gözlemlenmektedir. Ayrıca, daha büyük bir deprem, (PGA, PGV,  $M_w$ , Süre gibi) parametrelerde yüksek değerlere yol açarak yer değiştirme ve birim şekil

değiştirmenin artmasına neden olmuştur. Bu durum, deprem sismik parametreleri ile yer değiştirme ve şekil değiştirmenin miktarı arasındaki doğrudan ilişkiyi vurgulamaktadır.

### **3-Deprem: Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya**

- Bu depremdeki büyüklük (Mw) değeri 7.9 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 16.316 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi 3.31 metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 3.31 \text{ m}, L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_3 = \Delta L / L = 3.31 \text{ m} / 4 \text{ m} = 0.8275$$

$$\text{Yüzdeye Çevrildiğinde: } \epsilon_3 \text{ Yüzdesi} = 0.8275 \times 100 = \%82.75$$

Bu depremde de, diğerleri gibi yüksek bir PGA/PGV değeri ile büyük bir yer değiştirmesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. PGA/PGV oranı azaldığında yer değiştirmenin giderek azaldığını gözlemlenmektedir.

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

### **4-Deprem: WNW of Ferndale, Kaliforniya**

- Bu depremdeki büyüklük (Mw) değeri 6.8 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 13.413 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi 1.36 metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 1.36 \text{ m}, L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_4 = \Delta L / L = 1.36 \text{ m} / 4 \text{ m} = 0.34$$

$$\text{Yüzdeye Çevrildiğinde: } \epsilon_4 \text{ Yüzdesi} = 0.34 \times 100 = \%34$$

Bu depremde de, daha düşük PGA/PGV değeri ile daha küçük bir yer değiştirmesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Daha küçük depremler genellikle daha az yer değiştirmeye neden olmaktadır.

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

#### **5-Deprem: San Simeon, Kaliforniya, ABD**

- Bu depremdeki büyüklük (Mw) değeri 6.4 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 13.412 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi  $859.72 \times 10^{(-3)}$  metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 859.72 \times 10^{(-3)} \text{ m, } L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_5 = \Delta L / L = (859.72 \times 10^{(-3)} \text{ m}) / 4 \text{ m} = 0.2149$$

$$\text{Yüzdeye Çevrildiğinde: } \epsilon_5 \text{ Yüzdesi} = 0.2149 \times 100 = \%21.49$$

Bu depremde, az PGA/PGV değerine sahip depremler, yer değiştirmenin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Daha düşük PGA/PGV değeri ile daha küçük bir yer değiştirmesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Daha küçük depremler genellikle daha az yer değiştirmeye neden olmaktadır.

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir

#### **6-Deprem: Denali Fay, Alaska**

- Bu depremdeki büyüklük (Mw) değeri 7.9 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 12.964 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi  $824.25 \times 10^{(-3)}$  metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 824.25 \times 10^{(-3)} \text{ m, } L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_6 = \Delta L / L = (824.25 \times 10^{(-3)} \text{ m}) / 4 \text{ m} = 0.2061$$

$$\text{Yüzdeye Çevrildiğinde: } \epsilon_6 \text{ Yüzdesi} = 0.2061 \times 100 = \%20.61$$

PGA/PGV değeri azaldıkça yer değiştirmesi genellikle azalma eğilimindedir; tersine, PGA/PGV değeri arttıkça, yer değiştirmesi genellikle artma eğilimindedir. Denali Fayı depremi, önceki örneklerde gözlemlenen eğilimi

sürdürmektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

### **7-Deprem: Offshore Northern California, ABD**

- Bu depremdeki büyüklük (Mw) değeri 7.1 olarak kaydedilmiştir.
- PGA/PGV değeri 12.212 olarak belirlenmiştir.
- Toplam yer değiştirmesi  $663.44 \times 10^{-3}$  metredir.
- Birim şekil değiştirme  $\epsilon\%$ :

$$\Delta L = 663.44 \times 10^{-3} \text{ m}, L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon = \Delta L / L = (663.44 \times 10^{-3} \text{ m}) / 4 \text{ m} = 0.1659$$

$$\text{Yüzdeye Çevrildiğinde: } \epsilon \text{ Yüzdesi} = 0.1659 \times 100 = \%16.59$$

Son olarak, Offshore Northern California depremi de düşük PGA/PGV değeri ile az yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. PGA/PGV değeri azaldıkça yer değiştirmesi genellikle azalma eğilimindedir; tersine, PGA/PGV değeri arttıkça, yer değiştirmesi genellikle artma eğilimindedir. Offshore Northern California, ABD depremi, önceki örneklerde gözlemlenen eğilimi sürdürmektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

### **ii. Derinlik ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler**

#### **Sierra El Mayor, Meksika**

- Depremin Derinliği (km): 10
- Toplam Deplasman (m): 5.74

#### **Offshore Maule, Şili**

- Depremin Derinliği (km): 35
- Toplam Deplasman (m): 5.46

#### **Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya**

- Depremin Derinliği (km): 30
- Toplam Deplasman (m): 3.31



### **WNW of Ferndale, California**

- Depremin Derinliği (km): 7
- Toplam Deplasman (m): 1.36

### **San Simeon, California, ABD**

- Depremin Derinliği (km): 7.6
- Toplam Deplasman (m):  $0.85972 \times 10^{-3}$

### **Denali Fay, Alaska**

- Depremin Derinliği (km): 5
- Toplam Deplasman (m):  $0.82425 \times 10^{-3}$

### **Offshore Northern California, ABD**

- Depremin Derinliği (km): 21
- Toplam Deplasman (m):  $0.66344 \times 10^{-3}$

Verileri incelediğimizde, depremin derinliği ile yer değiştirme arasında bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Genel olarak, Sığ derinlikteki depremler daha büyük yer değişimlerine neden olabilir. Bu, zeminin altındaki enerjinin yüzeye yayılma şekli ve etkisi ile ilişkilendirilebilir. Ancak, tüm depremlerin derinlik ve yer değiştirme arasındaki ilişkisini tek bir faktöre indirgemek doğru olmayabilir cnk diğer faktörler de bu ilişkiyi etkileyebilir.

### **iii. Süre ile yer değiştirme arasındaki ilişkisini analiz eden veriler**

#### **Sierra El Mayor, Meksika**

- Depremin Süresi (Saniye): 71.995
- Toplam Deplasman (m): 5.74

#### **Offshore Maule, şili**

- Depremin Süresi (Saniye): 201.99
- Toplam Deplasman (m): 5.46

### **Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya**

- Depremin Süresi (Saniye): 168.995
- Toplam Deplasman (m): 3.31

### **WNW of Ferndale, California**

- Depremin Süresi (Saniye): 124.995
- Toplam Deplasman (m): 1.36

### **San Simeon, California, ABD**

- Depremin Süresi (Saniye): 76.995
- Toplam Deplasman (m):  $0.85972 \times 10^{-3}$

### **-Deprem: Denali Fay, Alaska**

- Depremin Süresi (Saniye): 85.99
- Toplam Deplasman (m):  $0.82425 \times 10^{-3}$

### **Offshore Northern California, ABD**

- Depremin Süresi (Saniye): 45.995
- Toplam Deplasman (m):  $0.66344 \times 10^{-3}$

Depremin süresi, yer değiştirme üzerinde önemli bir etkiye sahip bir faktördür. Verilere baktığımızda, sürenin artmasıyla yer değiştirmenin de arttığını gözlemleyebiliriz. Özellikle, Offshore Maule depremi gibi uzun süren depremler, daha büyük yer değiştirmelere yol açabilir. Bu da depremin enerjisinin ve etkisinin uzun bir süre boyunca etkili bir şekilde yüzeye yayılmasından kaynaklanabilir. Örneğin, Offshore Maule depremi uzun süresi nedeniyle büyük bir yer değiştirmeye neden olmuştur. Bu da bize depremin süresinin, yer değiştirmeyi etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

#### **iv. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi,**

Verilere bakıldığında, genel olarak daha yüksek PGA (Peak Ground Acceleration) ve PGV (Peak Ground Velocity) değerlerinin, daha büyük yer değiştirmelere yol açtığı görülmektedir. Bu durum, depremin zemin üzerinde yarattığı titreşimlerin ve enerjinin, yüzeye yayıldıkça daha büyük yer değiştirmelere neden olabileceğini göstermektedir. Yani, daha güçlü ve yoğun sismik aktiviteler, daha büyük yer değişiklikleriyle sonuçlanabilir.

Örneğin, Sierra El Mayor depreminde yüksek PGA ve PGV değerleri, toplam yer değiştirmesinin büyük olmasına neden olmuştur. Aynı şekilde, Offshore Maule depreminde de yüksek PGA ve PGV değerleri, yer değiştirmenin büyük olmasına etki etmiştir.

Ancak, her iki parametre arasındaki ilişki karmaşık olabilir ve diğer faktörler (örneğin zemin özellikleri, depremin büyüklüğü, süresi vb.) de bu ilişkiyi etkileyebilir. Bu nedenle, yalnızca PGA ve PGV değerleri üzerinden kesin bir korelasyon çıkarmak zor olabilir. Bu analiz, sismik etkinliğin ve yer değiştirmenin birbirine nasıl bağlı olduğunu daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

Verileri ve analizimizi göz önünde bulundurarak, aşağıda parametrelerin yer değiştirme üzerindeki etkisini önem sırasına göre sıralamaktadır:

VAKA 1'e göre parametrelerin sıralaması:

##### **1. PGA/PGV (Pik Yer İvme / Pik Yer Hızı):**

Bu parametreler, yer değiştirmeyi en fazla etkileyen faktörler olarak görünmektedir. Daha yüksek PGA/PGV değerleri genellikle daha büyük yer değiştirmelere yol açar.

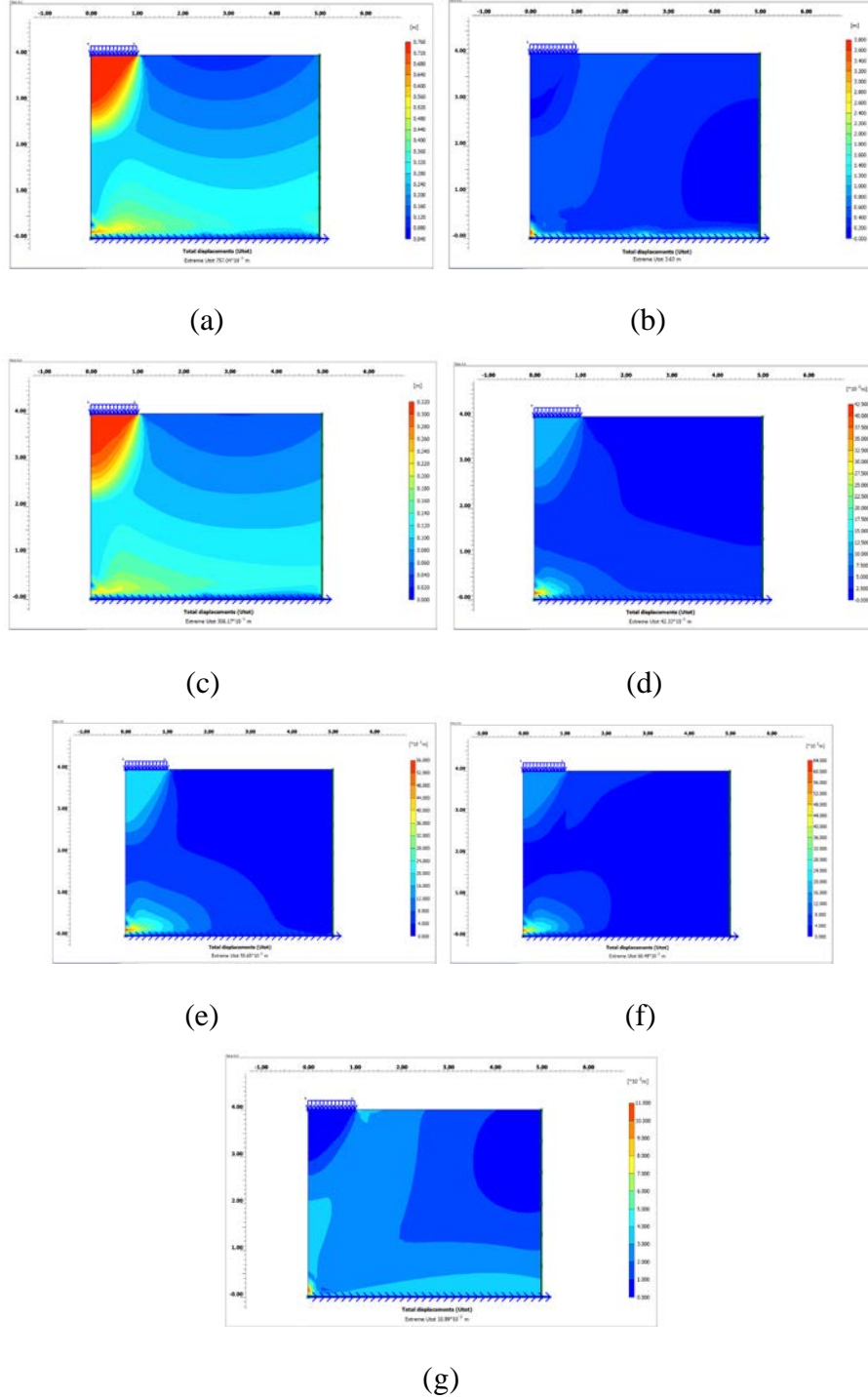
**2. Büyüklük (M<sub>w</sub>):** Depremin büyüklüğü, yer değiştirmeyi önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Daha büyük bir deprem genellikle daha büyük yer değiştirmelere neden olur.

**3. Süre (Saniye):** Depremin süresi de yer değiştirmeyi etkileyen bir faktördür. Uzun süreli depremler daha büyük yer değiştirmelere yol açabilir.

4. **Derinlik (km):** Depremin derinliği de yer değiştirmeyi etkileyen bir faktördür.
5. **PGA (Pik Yer İvme):** Peak Ground Acceleration (PGA) değeri, depremin yüzeyde yarattığı en büyük ivmeyi ifade eder ve yer değiştirmeyi etkileyen bir faktördür.
6. **PGV (Pik Yer Hızı):** Peak Ground Velocity (PGV) değeri, depremin yüzeyde yarattığı en büyük yer hızını ifade eder ve yer değiştirmeyi etkileyen bir faktördür.

Bu sıralama, her bir parametrenin yer değiştirmeyi etkileme derecesine dayanmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki, gerçek dünyada yer değiştirmeyi etkileyen faktörlerin birbirleriyle etkileşimi karmaşıktır ve her durumda değişebilir.

**b. İkinci Vaka: Bakırköy ilçesi killi zemin ZC (siltli kil, kil, kireçtaşı ardalanı).**



Şekil 43. İkinci vaka (Bakırköy) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(a) Resimde Meksika'nın Sierra El Mayor bölgesinde meydana gelen şiddetli depremin neden olduğu yer değiştirme gösterilmektedir. Elde edilen verilere göre, deprem sonucu zemin yüzeyindeki deplasman 757.04 mm (0.75704 m) olarak ölçüldü. Bu deplasman, depremin bölgedeki yer kabuğunu ne kadar etkilediğini gösteriyor. Deprem sonucu gerçekleşen bu deplasman, depremin büyüklüğü ve derinliği hakkında önemli bilgiler sağlar.

(b) görüntüde Şili'nin Offshore Maule bölgesinde kaydedilen büyük bir depremin neden olduğu yer değiştirme göstermektedir. Sonuçlara göre, depremin etkisiyle zemindeki deplasman 3,63 m olarak ölçüldü. Bu büyük deplasman, depremin bölgedeki yer kabuğunda meydana getirdiği ciddi etkiyi vurguluyor. Elde edilen bu sonuçlar, depremin yıkıcı doğasını anlamamıza yardımcı olur.

(c) görüntüde, Endonezya'nın Kepulauan Mentawai bölgesindeki bir depremin etkisi altında meydana gelen yer değiştirme göstermektedir. Depremin sonucunda zemindeki deplasman 306.17 mm (0.30617 m) olarak ölçüldü. Bu deplasman, depremin bölgedeki yer kabuğunu nasıl etkilediğini ve yer yüzeyinde nasıl değişiklikler meydana geldiğini gösterir.

(d) görüntüde Kaliforniya'nın Ferndale bölgesinde kaydedilen, bir depremin neden olduğu zemin deplasmanını görselleştiriyor. Sonuçlar, depremin etkisiyle zeminde 42.33 mm (0.04233 m) deplasman meydana geldiğini gösteriyor. Bu deplasman, depremin yer kabuğu üzerindeki etkisini gösterir ve zemin yüzeyinin nasıl şekil değiştirdiğini açıklar.

(e) görüntü, Kaliforniya'daki San Simeon bölgesindeki bir depremin sonucunda meydana gelen zemin deplasmanını gösterir. Depremin etkisiyle zeminde 55.65 mm (0.05565 m) deplasman oluştu. Bu deplasman, depremin bölgedeki yer kabuğunu nasıl etkilediğini ve yer yüzeyindeki değişiklikleri anlatır.

(f) Alaska'daki Denali Fay Hattı bölgesinde kaydedilen bu görüntü, büyük bir depremin neden olduğu zemin deplasmanını gösterir. Depremin etkisiyle zeminde 60.49 mm (0.06049 m) deplasman meydana geldi. Bu deplasman, depremin yer kabuğundaki büyük hareketliliğini ve zemin yüzeyindeki değişiklikleri açıklar.

(g) görüntüde, Kuzey Kaliforniya'nın sahil bölgelerindeki bir depremin etkisi altında meydana gelen zemin deplasmanını göstermektedir. Depremin sonucunda zeminde 10.89 mm (0.01089 m) deplasman meydana geldi. Bu deplasman, depremin bölgedeki yer kabuğunu nasıl etkilediğini ve yer yüzeyindeki değişiklikleri anlatır.

Çizelge 19. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (İkinci vaka).

Deprem	Mw	Süre (Sec)	Derinlik (km)	PGA cm/s <sup>2</sup>	PGV cm/s	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer Değişirme (m)	Birim Şekil Değişirme ε%
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.99	10	544	28.7	18.889	757.04 x10 <sup>-3</sup>	18.926
Offshore Maule, Chile	8.8	201.9	35	638	35	16.789	3.63	90.75
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.9	30	124	7.6	16.316	306.17 x10 <sup>-3</sup>	7.654
WNW of Ferndale, California	6.8	124.9	7	61.7	4.6	13.413	42.33 x10 <sup>-3</sup>	1.058
San Simeon, California, CA	6.4	76.99	7.6	114	8.5	13.412	55.65x10 <sup>-3</sup>	1.391
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	60.49x10 <sup>-3</sup>	1.512
Offshore Northern California, CA	7.1	45.99	21	6.35	0.52	12.212	10.89x10 <sup>-3</sup>	0.272

#### i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi.

Çizelge 19'a göre, her deprem için toplam yer değişikliği yüzde olarak hesaplandı, birim şekil değişikliği (ε%) değerleri bulundu. Bu değerler, her depremin zeminde meydana gelen şekil değişikliğinin yüzdesel bir göstergesidir.

##### 1-Sierra El Mayor, Mexico:

$$\Delta L = 757.04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\epsilon_1 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\epsilon_1 = (757.04 \times 10^{-3} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\epsilon_1 = 0.18926 \times 100$$

$$\epsilon_1 = \%18.926$$

##### 2-Offshore Maule, Chile:

$$\Delta L = 3.63 \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_2 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_2 = (3.63 \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_2 = 0.9075 \times 100$$

$$\varepsilon_2 = \%90.75$$

### **3-Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:**

$$\Delta L = 306.17 \times 10^{(-3)} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_3 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_3 = (306.17 \times 10^{(-3)} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_3 = 0.07654 \times 100$$

$$\varepsilon_3 = \%7.654$$

### **4-WNW of Ferndale, California:**

$$\Delta L = 42.33 \times 10^{(-3)} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_4 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_4 = (42.33 \times 10^{(-3)} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_4 = 0.01058 \times 100$$

$$\varepsilon_4 = \%1.058$$

### **5-San Simeon, California, CA:**

$$\Delta L = 55.65 \times 10^{(-3)} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_5 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_5 = (55.65 \times 10^{(-3)} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_5 = 0.01391 \times 100$$

$$\varepsilon_5 = \%1.391$$



### **6-Denali Fay, Alaska:**

$$\Delta L = 60.49 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_6 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_6 = (60.49 \times 10^{-3} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_6 = 0.01512 \times 100$$

$$\varepsilon_6 = \%1.512$$

### **7-Offshore Northern California, CA:**

$$\Delta L = 10.89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\varepsilon_7 = (\Delta L / L) \times 100$$

$$\varepsilon_7 = (10.89 \times 10^{-3} \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100$$

$$\varepsilon_7 = 0.0027225 \times 100$$

$$\varepsilon_7 = \%0.27225$$

## **ii. İkinci Vakada Her Deprem İçin En Önemli ve Baskın (Hakim) Sismik Parametrelerin İncelenmesi.**

### **1. Sierra El Mayor, Mexico:**

- PGA/PGV: 18.889

- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $757.04 \times 10^{-3} \text{ m}$

- Birim şekil değiştirme ( $\varepsilon\%$ ):  $\%18.926$

Bu depremde yüksek bir PGA/PGV değeri ile büyük bir yer değiştirmesi ve birim şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Yani daha yüksek bir PGA/PGV değeri, daha büyük bir yer değiştirmeye ve birim şekil değiştirmesine neden olmuştur. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

## **2. Offshore Maule, Chile:**

- PGA/PGV: 16.789
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ): 3.63 m
- Birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %90.75

Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin (PGA, PGV, Süre, Mw) olduğu gözlemlenmektedir.

## **3. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:**

- PGA/PGV: 16.316
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $306.17 \times 10^{-3}$  m
- Birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %7.654

Bu depremde de bir ilişki görülmektedir, ancak diğerlerine göre daha düşük bir birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değeri vardır. PGA/PGV oranı düştüğünde yer değiştirmenin azaldığını göstermektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

## **4. WNW of Ferndale, California:**

- PGA/PGV: 13.413
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $42.33 \times 10^{-3}$  m
- Birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %1.058

Bu depremde de bir ilişki vardır, ancak diğerlerine göre çok daha düşük bir birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değeri vardır. Yine, düşük PGA/PGV değeri ile yer değiştirmenin azaldığını göstermektedir, Ancak bu depremde PGA/PGV oranının etkisi daha azdır. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA ve PGV olduğu gözlemlenmektedir.

## **5. San Simeon, California, CA:**

- PGA/PGV: 13.412
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $55.65 \times 10^{-3}$  m
- Birim Şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %1.391

Bu depremde de bir ilişki vardır, ancak diğerlerine göre çok daha düşük bir birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değeri vardır. Yine PGA/PGV oranı düştüğünde yer değiştirmenin azaldığını göstermektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA ve PGV olduğu gözlemlenmektedir.

#### **6. Denali Fay, Alaska:**

- PGA/PGV: 12.964
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $60.49 \times 10^{-3}$  m
- Birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %1.512

Bu depremde de bir ilişki görülmektedir, ancak diğerlerine göre daha düşük bir birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değeri vardır. Yine PGA/PGV oranı düştüğünde yer değiştirmenin azaldığını göstermektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin Mw ve derinlik olduğu gözlemlenmektedir.

#### **7. Offshore Northern California, CA:**

- PGA/PGV: 12.212
- Toplam yer değiştirme ( $\Delta L$ ):  $10.89 \times 10^{-3}$  m
- Birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ): %0.272

Bu depremde de bir ilişki görülmektedir, ancak diğerlerine göre çok daha düşük bir birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değeri vardır. Yine PGA/PGV oranı düştüğünde yer değiştirmenin azaldığını göstermektedir. Bu depremin analiz sonuçlarına göre bu vakada en etkili parametrenin PGA/PGV olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, bu veriler PGA/PGV ile yer değiştirmenin ve birim şekil değiştirme'nin ilişkili olduğunu göstermektedir. Daha yüksek PGA/PGV değeri, genellikle daha büyük bir yer değiştirmeye ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) değerine yol açar. Ancak her depremin etkisi farklıdır ve diğer faktörler (PGA, PGV, Mw, derinlik, süre. gibi) de bu ilişkiyi etkileyebilir.

#### **iii. Offshore Maule, Chile hakkında gözlemler.**

Deprem verileri incelendiğinde Çizelge 19'a göre, PGA/PGV oranı ile toplam yer değiştirme arasındaki genel ilişkinin, çoğu durumda tutarlı bir artış

eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu, PGA/PGV oranının arttıkça toplam yer değiştirmenin de arttığını gösterir.

Ancak, bazı özel durumlar bu genel eğilimi etkileyebilir. Örneğin, Şili Maule Depremi, diğer depremlerden farklı bir seyir izlemiştir. Bu durum, farklı etkenlerin devreye girdiğini göstermektedir. Depremin uzun süresi (Süre) ve büyüklüğü (Mw), yer değiştirmeyi etkileyen faktörler arasında önemli rol oynamış olabilir.

deprem büyüklüğü (Mw), enerjinin serbest bırakıldığı miktarı temsil eder ve yer yüzeyinde meydana gelen yer değiştirmeyi etkileyebilir. Büyük Mw değerleri, daha fazla enerji salınmasına neden olabilir ve bu da yer değiştirmenin artmasına yol açabilir.

Öte yandan, depremin süresi (Saniye), enerjinin ne kadar uzun süre boyunca salındığını belirtir. Daha uzun süren depremler, daha fazla enerjinin yavaşça serbest bırakılmasına neden olabilir ve bu da yer değiştirmenin artmasına yol açabilir.

Şili Maule Depremi, hem büyük bir Mw değerine sahipti hem de uzun bir süre boyunca devam etti. Bu nedenle, diğer depremlerden farklı olarak yer değiştirme oranını etkilemiş olabilir. Sonuç olarak, bu özel durumlar, PGA/PGV oranı ile yer değiştirme arasındaki ilişkinin karmaşıklığını vurgulamaktadır.

#### **iv. WNW of Ferndale, Kaliforniya depremi ve San Simeon, Kaliforniya depremi hakkında gözlemler.**

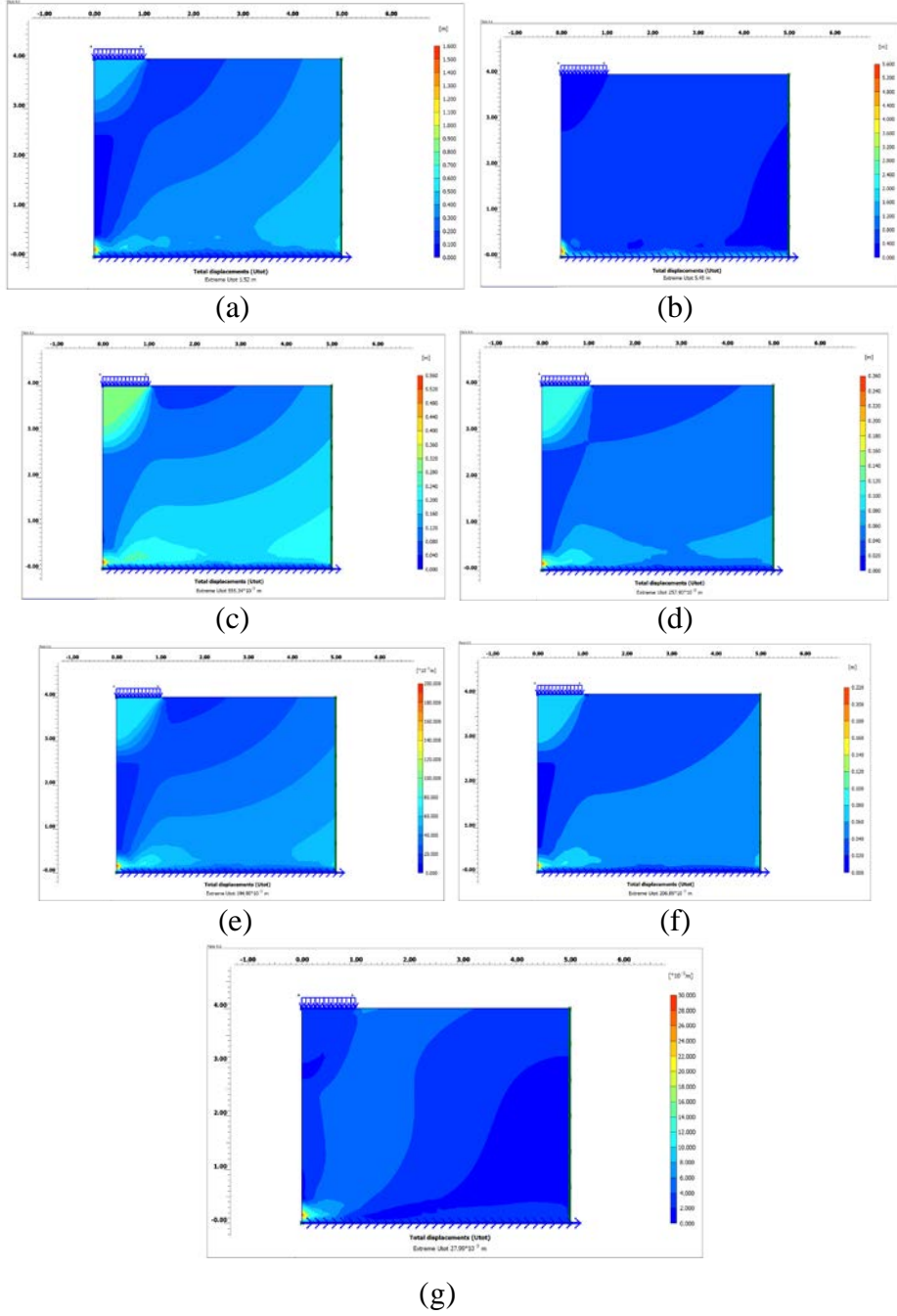
Çizelge 19'a göre, WNW of Ferndale, Kaliforniya depremi ile San Simeon, Kaliforniya depremi arasında ilginç bir durum görülmektedir. WNW of Ferndale depremi, daha büyük bir Mw değeri (6.8), daha uzun süre (124.995 saniye) ve daha sığ derinlik (7 km) gibi faktörlere sahip olmasına rağmen, San Simeon depremi  $55.65 \times 10^{-3} m$  yer değiştirmeye sahip ile karşılaştırıldığında daha düşük bir yer değiştirmesi meydana getirmiştir ( $42.33 \times 10^{-3} m$ ). Bu durum, yer değiştirmeyi etkileyen faktörlerin karmaşıklığını göstermektedir. Depremlerin etkisi, sadece tek bir parametre ile değil, farklı faktörlerin bir kombinasyonu ile belirlenir. Bu örnekte, deprem büyüklüğü (Mw), süre (saniye) ve derinlik gibi faktörlerin yanı sıra yer değiştirmeyi etkileyen diğer faktörlerin de rol oynadığını görmekteyiz.

Gözlem yapıldığında, San Simeon depremi ile WNW of Ferndale depremi arasında eşit PGA/PGV oranı olduğu görülmüştür. Ancak, San Simeon depreminde PGA ve PGV değerleri WNW depremine göre daha yüksektir ve bu iki parametre, yer değiştirmenin oluşumunda daha büyük etkiye sahiptir. Bu durum, PGA ve PGV'nin, San Simeon depreminde daha yüksek değerlere sahip olmasının, yer değiştirmenin oluşumunda daha büyük rol oynadığını göstermektedir. Yani, San Simeon depreminde PGA/PGV oranının etkisi, WNW depremine göre daha fazladır ve bu etki oranı iki katına kadar çıkabilmektedir. Bu durum, PGA ve PGV'nin yer değiştirmeyi etkileme potansiyelinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

#### **v. Denali Fay, Alaska depremi hakkında gözlemler.**

Alaska depremi incelendiğinde, diğer depremlere kıyasla farklı bir durum olduğu görülmektedir. Bu özel durumda en etkili parametrenin depremin yerin yüzeyine olan derinliği olduğu gözlemlenmektedir. Depremin yüzeye daha yakın bir derinliğe sahip olması, yer yüzeyinde daha büyük bir etki yaratmasına neden olmuştur. Yani, bu durum derinlik ile yer değiştirmenin doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, diğer bir etkili faktör de Mw değeridir. Alaska depreminin yüksek Mw değerine sahip olması, yer değiştirmenin oluşumunda büyük bir rol oynamıştır. Sonuç olarak, Alaska depreminin büyük bir derinliğe ve yüksek Mw değerine sahip olması, yer değiştirmeyi etkileme kapasitesini artırmıştır.

c. Üçüncü Vaka: Sultangazi ilçesi ZD (Yeşil siltli kil).



Şekil 44. Şekil 1: Üçüncü vaka (Sultangazi) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(a) görüntüde Sierra El Mayor, Meksika depreminin 1.52 m'lik toplam deplasmanı görülmektedir.

(b) Şili'deki bu depremin 5.45 m'lik toplam deplasmanı dikkat çekiyor. Bu deplasman, diğer depremlere kıyasla daha büyük bir etki yaratmıştır.

(c) görüntüde Endonezya'daki depremin  $555.34 \times 10^{-3}$  m'lik toplam deplasmanı görülmektedir.

(d) görüntüde Kaliforniya'daki bu depremin  $257.93 \times 10^{-3}$  m'lik toplam deplasmanı vardır.

(e) görüntüde, Kaliforniya'daki bu depremin  $194.90 \times 10^{-3}$  m'lik toplam deplasmanı görülmektedir.

(f) Alaska'daki bu depremin  $206.89 \times 10^{-3}$  m'lik toplam deplasmanı vardır.

(g) son görüntüde, Kuzey Kaliforniya'daki depremin  $27.99 \times 10^{-3}$  m'lik toplam deplasmanı görülmektedir. Bu deplasman, diğer depremlere kıyasla daha düşük bir etki yaratmıştır.

Çizelge 20. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Üçüncü vaka).

Deprem	Mw	Süre (Saniye)	Derinlik (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer Değiştirme (m)
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	544	28.7	18.889	1.52
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	638	35	16.789	5.45
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	124	7.6	16.316	$555.34 \times 10^{-3}$
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	61.7	4.6	13.413	$257.93 \times 10^{-3}$
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	114	8.5	13.412	$194.90 \times 10^{-3}$
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	$206.89 \times 10^{-3}$
Offshore Northern California, CA	7.1	45.995	21	6.35	0.52	12.212	$27.99 \times 10^{-3}$

#### i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değiştirme ve Birim Şekil Değiştirme Yüzdesi.

Çizelge 20'ye göre, her bir depremin yer değiştirmesi (Toplam Yer Değiştirme) değeri farklılık göstermektedir. Bu değerlerin arasındaki farklılıkları anlamak için çeşitli parametreleri incelemek gerekmektedir.

**Sierra El Mayor, Mexico**

$$\Delta L = 1.52 \text{ m}$$

$$\varepsilon_1 = (\Delta L_1 / L) \times 100 = (1.52 \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100 = \%38$$

**Offshore Maule, Chile:**

$$\Delta L = 5.45 \text{ m}$$

$$\varepsilon_2 = (\Delta L_2 / L) \times 100 = (5.45 \text{ m} / 4 \text{ m}) \times 100 = \%136.25$$

**Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:**

$$\Delta L = 555.34 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_3 = (\Delta L_3 / L) \times 100 = ((555.34 \times 10^{-3} \text{ m}) / (4 \text{ m})) \times 100 = \%13.8835$$

**WNW of Ferndale, California:**

$$\Delta L = 257.93 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_4 = (\Delta L_4 / L) \times 100 = ((257.93 \times 10^{-3} \text{ m}) / (4 \text{ m})) \times 100 = \%6.44825$$

**San Simeon, California, CA:**

$$\Delta L = 194.90 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_5 = (\Delta L_5 / L) \times 100 = ((194.90 \times 10^{-3} \text{ m}) / (4 \text{ m})) \times 100 = \%4.8725$$

**Denali Fay, Alaska**

$$\Delta L = 206.89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_6 = (\Delta L_6 / L) \times 100 = ((206.89 \times 10^{-3} \text{ m}) / (4 \text{ m})) \times 100 = \%5.17225$$

**Offshore Northern California, CA:**

$$\Delta L = 27.99 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_7 = (\Delta L_7 / L) \times 100 = ((27.99 \times 10^{-3} \text{ m}) / (4 \text{ m})) \times 100 = \%0.69975$$

Her bir deprem için toplam yer değiştirme yzde olarak hesaplanmıştır ve yukarıda verilmiştir.

İşte bu verilere dayalı analiz:



## ii. Üçüncü Vakada Her Deprem İçin En Önemli ve Baskın (Hakim) Sismik Parametrelerin İncelenmesi.

### 1-Sierra El Mayor, Mexico depremi:

Bu depremin yer değiştirmesi 1.52 metredir. PGA/PGV değeri olduğu halde, PGA/PGV oranı yüksek olmasına rağmen yer değiştirmesi görece düşüktür. Bu durum, diğer etkili faktörlerin ( $M_w$ , 71 saniye kısa süre) düşük değerlere sahip olmasından kaynaklanabilir.

- **Sierra El Mayor, Mexico depreminde PGA ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) ilişkisi:**

- Sierra El Mayor, Mexico'daki yüksek PGA değeri (18.889%) ile yüksek birim şekil değiştirme (38%) arasında pozitif bir ilişki vardır. Daha yüksek PGA değeri, zeminde daha fazla yer değiştirmeye neden olmuştur.

- Diğer depremlerde de benzer bir ilişki görülmektedir.

Daha yüksek PGA değerleri, daha büyük bir yer değiştirmeye neden olabilir, ancak bu ilişki her durumda doğrusal değildir, çünkü diğer faktörler de etkilidir.

- **Sierra El Mayor, Mexico depreminde PGV ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon\%$ ) ilişkisi:**

- Benzer şekilde, PGV değerleri ile birim şekil değiştirme arasında pozitif bir ilişki görülmektedir. Daha yüksek PGV değeri, daha büyük Birim şekil değiştirme ile ilişkilendirilmiştir.

Ancak, bu ilişkilerin daha kesin ve ayrıntılı bir analizi için daha fazla veri ve inceleme gereklidir.

Bu analizler, yüksek PGA/PGV değerlerinin, daha büyük yer değiştirmeye ve birim şekil değiştirme'ye yol açtığını göstermektedir. Bu, depremin şiddetinin ve etkilerinin zeminin fiziksel özelliklerine ve yer değiştirmesine nasıl bağlı olduğunu göstermektedir.

Bu verilere dayanarak, yüksek PGA ve PGV değerleri ile daha büyük bir yer değiştirmenin ve birim şekil değiştirmesi ( $\epsilon\%$ ) ile ilişkilendirildiğini gözlemleyebiliriz. Daha büyük deprem büyüklükleri ve yüksek PGA/PGV

değerleri, yer değiştirmenin ve birim şekil değiştirmesi'nin artmasına neden olmuştur. Bu, depremin zeminde yarattığı etkinin büyüklüğünü yansıtır ve yer değiştirme ile depremin şiddeti arasındaki ilişkiyi anlamamıza yardımcı olur.

### **2-Offshore Maule, Chile depremi:**

Bu depremin yer değiştirmesi 5.45 metredir. Yüksek PGA/PGV oranı ve büyük yer değiştirmesi arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca, yüksek Mw, uzun süre , büyük PGA , PGV ) değeri de büyük yer değiştirmeye katkıda bulunmuştur.

### **3-Kepulauan Mentawai Region, Indonesia depremi:**

Bu depremin yer değiştirmesi  $555.34 \times 10^{-3}$  metredir. PGA/PGV oranı düşük olmasına rağmen, yer değiştirmesi diğer depremlere kıyasla büyük bir değere sahiptir. Bu durum, diğer etkili faktörlerin (Mw, süre, derinlik) etkisinin daha güçlü olabileceğini göstermektedir.

### **4-WNW of Ferndale, California depremi:**

Bu depremin yer değiştirmesi  $257,93 \times 10^{-3}$  metredir. Daha düşük PGA/PGV oranına rağmen yer değiştirme nispeten yüksektir. Bu, diğer etkileyici faktörlerin (Mw, süre, derinlik) yer değiştirme üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

### **5-San Simeon, California depremi:**

Bu depremin yer değiştirmesi  $194.90 \times 10^{-3}$  metredir. PGA/PGV oranı diğer depremlere kıyasla yüksek olmasına rağmen, yer değiştirmesi görece düşük bir değere sahiptir. Bu durum, diğer etkili faktörlerin (Mw, süre, derinlik) yer değiştirmesine etkisinin olabileceğini göstermektedir.

### **6-Denali Fay, Alaska depremi:**

Bu depremin yer değiştirmesi  $206.89 \times 10^{-3}$  metredir. PGA/PGV oranı ve yer değiştirmesi arasındaki ilişki dikkate değerdir. Ayrıca, yüksek derinlik ve ortalama Mw değeri de yer değiştirmesine katkıda bulunmuş olabilir.

## 7-Offshore Northern California depremi:

Bu depremin yer değiştirmesi  $27.99 \times 10^{-3}$  metredir. Düşük PGA/PGV oranına rağmen, diğer etkili faktörlerin (Mw, süre, derinlik) yer değiştirmesine etkisi gözlemlenmektedir.

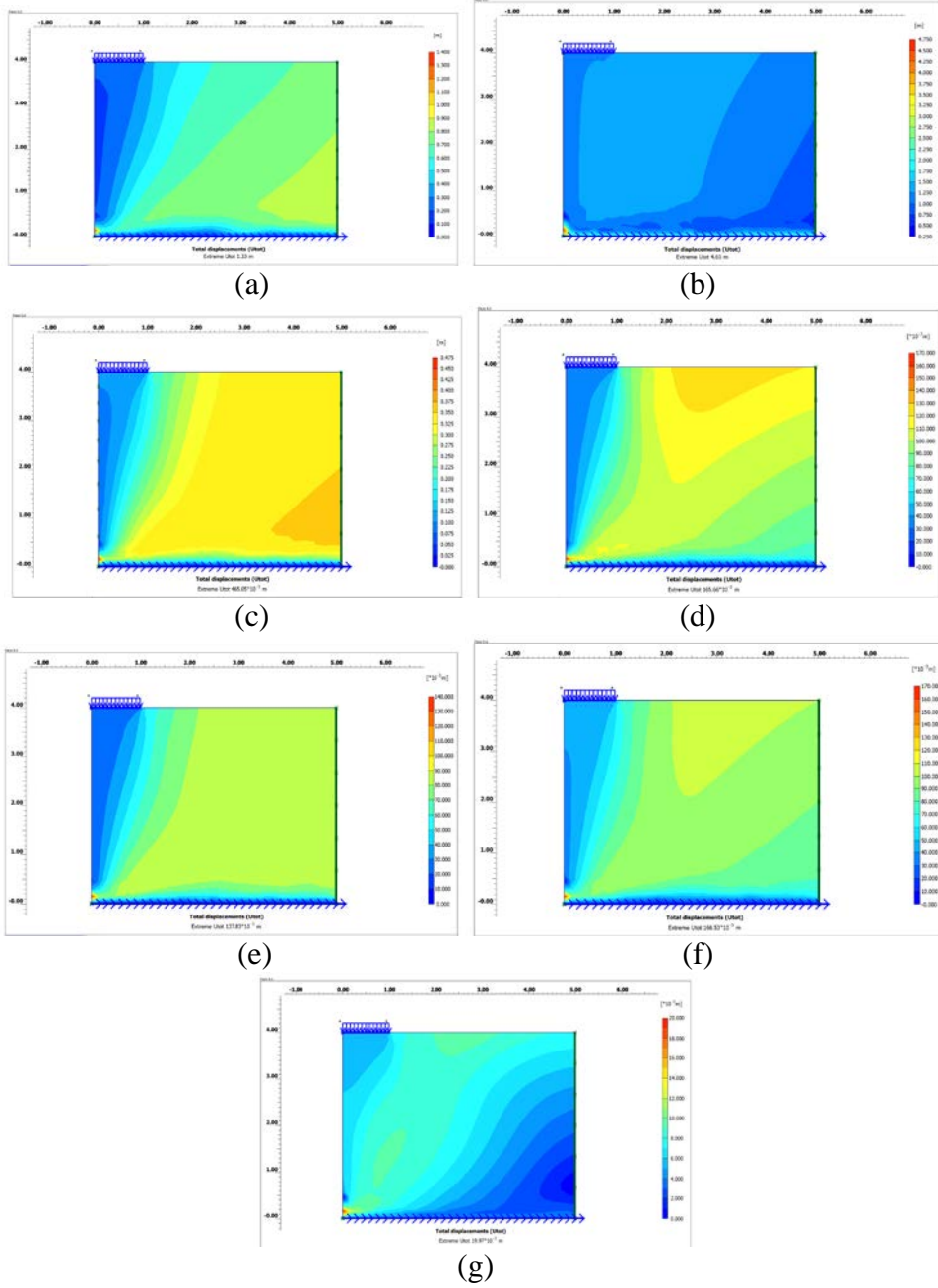
Son olarak, eldeki verilere göre, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında genel bir olumlu ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Yani PGA/PGV oranı arttıkça yer değiştirmesi de artma eğilimi göstermektedir. Ancak, bu genel eğilimde bazı istisnalar mevcuttur.

Özellikle "Offshore Maule, Şili Depremi" ve "Denali Fay, Alaska Depremi" gibi bazı depremler, beklenen eğilimin dışına çıkmıştır. Bu iki depremin yer değiştirmesi, PGA/PGV oranına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, önceden belirttiğimiz gibi, diğer etkili faktörlerin (Mw, süre, derinlik) yanı sıra depremin bulunduğu coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi faktörlerin de etkisini göstermektedir.

Ayrıca, her bir depremin kendi içindeki dengesi ve etkileşimi nedeniyle bazı depremler, beklenen PGA/PGV- yer değiştirme ilişkisinden sapabilir. Bu durum, depremin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin karmaşık bir etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında genel bir ilişki olmasına rağmen bu ilişkiyi etkileyen çeşitli faktörlerin olduğu kaydedilmiştir. Bu faktörler Mw, süre, derinlik, coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi parametreleri içerir. Dolayısıyla her depreme özgü faktörlerin bir araya gelerek yer değiştirme sonuçlarını belirlediği söylenebilir.

**d. Dördüncü Vaka: Silivri İlçesi, Büyük Çavuşlu Mahallesi, ZC (Kum arabantlı sert yeşil kumlu siltli kil)**



Şekil 45. Dördüncü vaka (Silivri) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(a) şekilde yer değiştirme değeri 1.33 metreye kadar ulaşmıştır. Bu, depremin bölgede önemli bir yer değiştirme etkisine neden olduğunu göstermektedir.

(b) resimde ise yer değiştirme değeri 4.61 metreye ulaşmıştır. Bu yüksek yer değiştirme değeri, depremin şiddetli etkisinin ve zemin koşullarının etkisiyle bölgede önemli lde yer değiştirme meydana getirdiğini göstermektedir.

(c) şekilde ise yer değiştirme değeri  $465.05 \times 10^{-3}$  m seviyesindedir. Bu değer, Endonezya'nın deprem riski yüksek bir bölgesi olduğunu ve depremin bölgedeki yer değiştirme üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir.

(d) görselinde yer değiştirme değeri  $165.66 \times 10^{-3}$  metre olarak kaydedilmiştir.

(e) görüntüde yer değiştirme değeri  $137.83 \times 10^{-3}$  m olarak belirlenmiştir. Bu değer, bölgenin depreme duyarlılığını ve depremin yer değiştirme üzerindeki etkisini yansıtılmaktadır.

(f) şekilde yer değiştirme değeri  $166.53 \times 10^{-3}$  seviyesindedir.

(g) resminde ise yer değiştirme değeri  $19.97 \times 10^{-3}$  olarak kaydedilmiştir. Bu değer, bölgenin deprem aktivitesinin etkisiyle hafif düzeyde yer değiştirme yaşadığını göstermektedir.

Çizelge 21. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (dördüncü vaka).

Deprem	Mw	Süre (Saniye)	Derinlik (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer Değiştirme (m)
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	544	28.7	18.889	1.33
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	638	35	16.789	4.61
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	124	7.6	16.316	$465.05 \times 10^{-3}$
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	61.7	4.6	13.413	$165.66 \times 10^{-3}$
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	114	8.5	13.412	$137.83 \times 10^{-3}$
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	$166.53 \times 10^{-3}$
Offshore Northern California, CA	7.1	45.995	21	6.35	0.52	12.212	$19.97 \times 10^{-3}$

**i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi.**

**1. Sierra El Mayor, Mexico:**

- Toplam yer değişirme: 1.33 m

- ε: %33.25

**2. Offshore Maule, Chile:**

- Toplam yer değişirme: 4.61 m

- ε: %115.25

**3. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:**

- Toplam yer değişirme:  $465.05 \times 10^{-3}$  m

- ε: %11.63

**4. WNW of Ferndale, California:**

- Toplam yer değişirme:  $165.66 \times 10^{-3}$  m

- ε: %4.1415

**5. San Simeon, California, CA:**

- Toplam yer değişirme:  $137.83 \times 10^{-3}$  m

- ε: %3.44575

**6. Denali Fay, Alaska:**

- Toplam Yer değişirme:  $166.53 \times 10^{-3}$  m

- ε: %4.16325

**7. Offshore Northern California, CA:**

- Toplam Yer değişirme:  $19.97 \times 10^{-3}$  m

- ε: %0.49925

## ii. Sismik Parametreler ve Yer Değiştirmesi İlişkisi: Genel Eğilimler ve Özel Durumlar

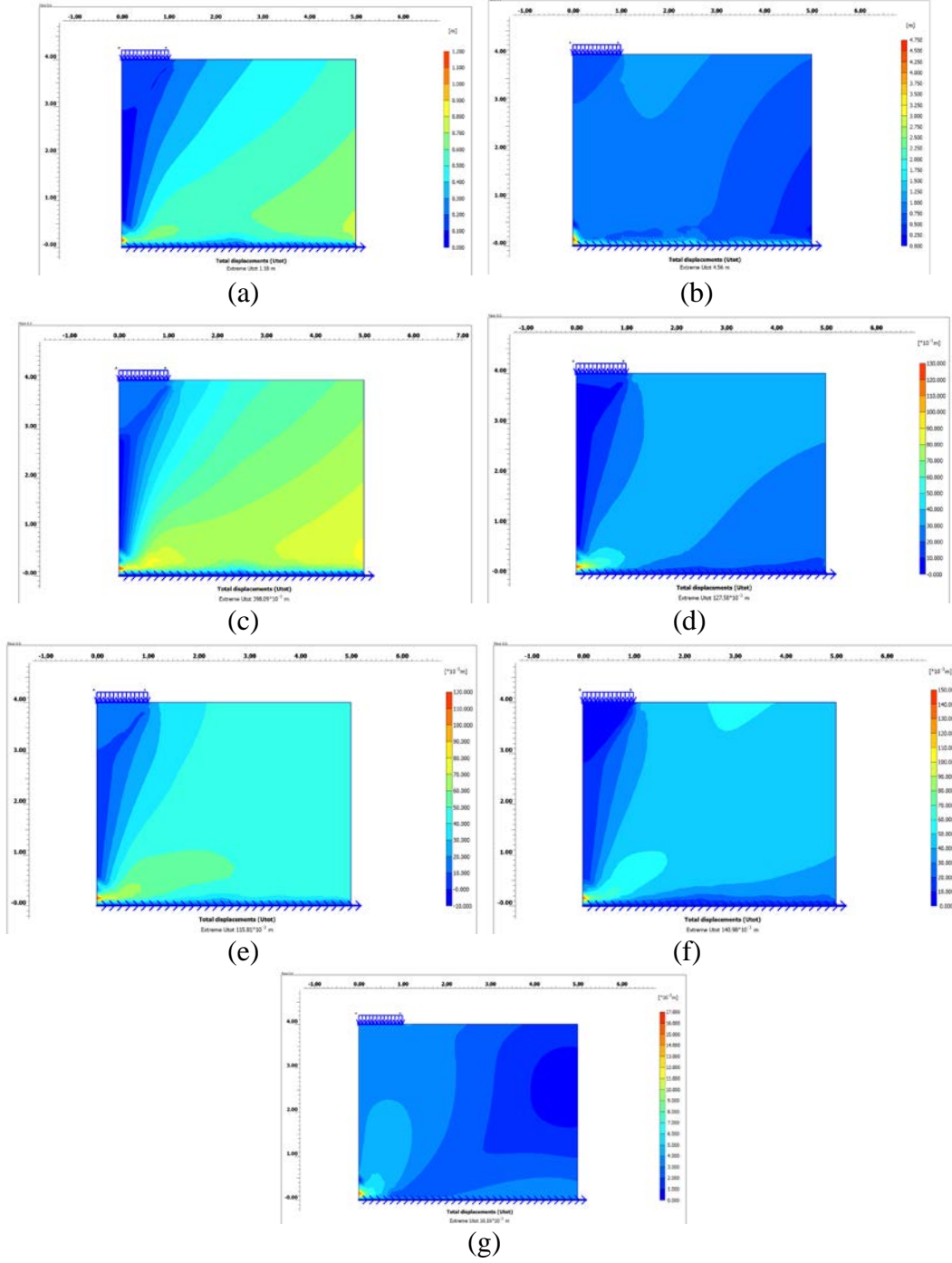
- Daha yüksek PGA, PGV değerleri, daha büyük bir yer değiştirmeye neden olabilir, ancak bu ilişki her durumda doğrusal değildir, çünkü diğer faktörler de etkilidir. Eldeki verilere göre, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında genel bir pozitif ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Yani PGA/PGV oranı arttıka yer değiştirmesi de artma eğilimindedir. Ancak, bu genel eğilimde bazı istisnalar bulunmaktadır.

Özellikle "Offshore Maule, şili Depremi" ve "Denali Fay, Alaska Depremi" gibi bazı depremler, beklenen eğilimin dışına çıkmıştır. Bu iki depremin yer değiştirmesi, PGA/PGV oranına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, önceden belirttiğimiz gibi, diğer etkili faktörlerin ( $M_w$ , süre, derinlik, PGA, PGV) yanı sıra depremin bulunduğu coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi faktörlerin de etkisini göstermektedir.

Ayrıca, her bir depremin kendi içindeki denge ve etkileşimi nedeniyle bazı depremler, beklenen PGA/PGV- yer değiştirme ilişkisinden sapabilir. Bu durum, depremin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin karmaşık etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında genel bir ilişki bulunsa da, bu ilişkiyi etkileyen birçok faktör olduğu görölmektedir. Bu faktörler arasında  $M_w$ , süre, derinlik, coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi parametreler yer almaktadır. Bu nedenle, her bir depremin kendine özgü faktörlerinin bir araya gelerek yer değiştirmesi sonuçlarını belirlediği söylenebilir.

e. Beşinci Vaka: Büyükçekmece İlçesi, Güzelce Mahallesi Sarımsı -Yeşilimsi Renkli Killi Kum, Yerel Zemin Sınıfı ZD.



Şekil 46. Beşinci vaka (Büyükçekmece) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.



(a) görselden anlaşıldığı üzere, bu depremin yer değiştirmesi yaklaşık 1.18 metredir.

(b) şeklinde görsel veriye göre, bu depremin yer değiştirmesi yaklaşık 4.56 metredir.

(c) de görüldüğü üzere, yer değiştirmenin yaklaşık (0.398 metre) olduğu görülmektedir.

(d) Görsel veri, bu depremin yer değiştirmesinin yaklaşık (0.127 metre) olduğunu göstermektedir. Bu, depremin yüzeydeki etkisini yansıtan bir değerdir.

(e) Görüntü, Yer değiştirmenin yaklaşık (0.116 metre) olduğunu göstermektedir.

(f) Görselden anlaşıldığı üzere, bu depremin yer değiştirmesi yaklaşık (0.141 metre) olduğunu göstermektedir.

(g) Görüntü, yer değiştirmenin yaklaşık (0.016 metre) olduğunu göstermektedir. Bu değer, depremin yüzeydeki etkisinin daha az belirgin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 22. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Beşinci vaka).

Deprem	Mw	Süre (Saniye)	Depth km	PGA cm/s <sup>2</sup>	PGV cm/s	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer değiştirme (m)
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	544	28.7	18.889	1.18
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	638	35	16.789	4.56
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	124	7.6	16.316	398x10 <sup>-3</sup>
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	61.7	4.6	13.413	127x10 <sup>-3</sup>
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	114	8.5	13.412	116x10 <sup>-3</sup>
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	141x10 <sup>-3</sup>
Offshore Northern California, CA	7.1	45.995	21	6.35	0.52	12.212	16.2x10 <sup>-3</sup>

**i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi.**

1. Sierra El Mayor, Mexico:

- Toplam Yer değiştirme: 1.18 m

- ε: % 29.5

2. Offshore Maule, Chile:

- Toplam Yer değiştirme: 4.56 m

- ε: %114

3. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:

- Toplam Yer değiştirme:  $398.09 \times 10^{-3}$  m

- ε: %9.95

4. WNW of Ferndale, California:

- Toplam Yer değiştirme:  $127.58 \times 10^{-3}$  m

- ε: %3.19

5. San Simeon, California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $115.81 \times 10^{-3}$  m

- ε: %2.895

6. Denali Fay, Alaska:

- Toplam Yer değiştirme:  $140.98 \times 10^{-3}$  m

- ε: %3.5245

7. Offshore Northern California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $16.16 \times 10^{-3}$  m

- ε: %0.404

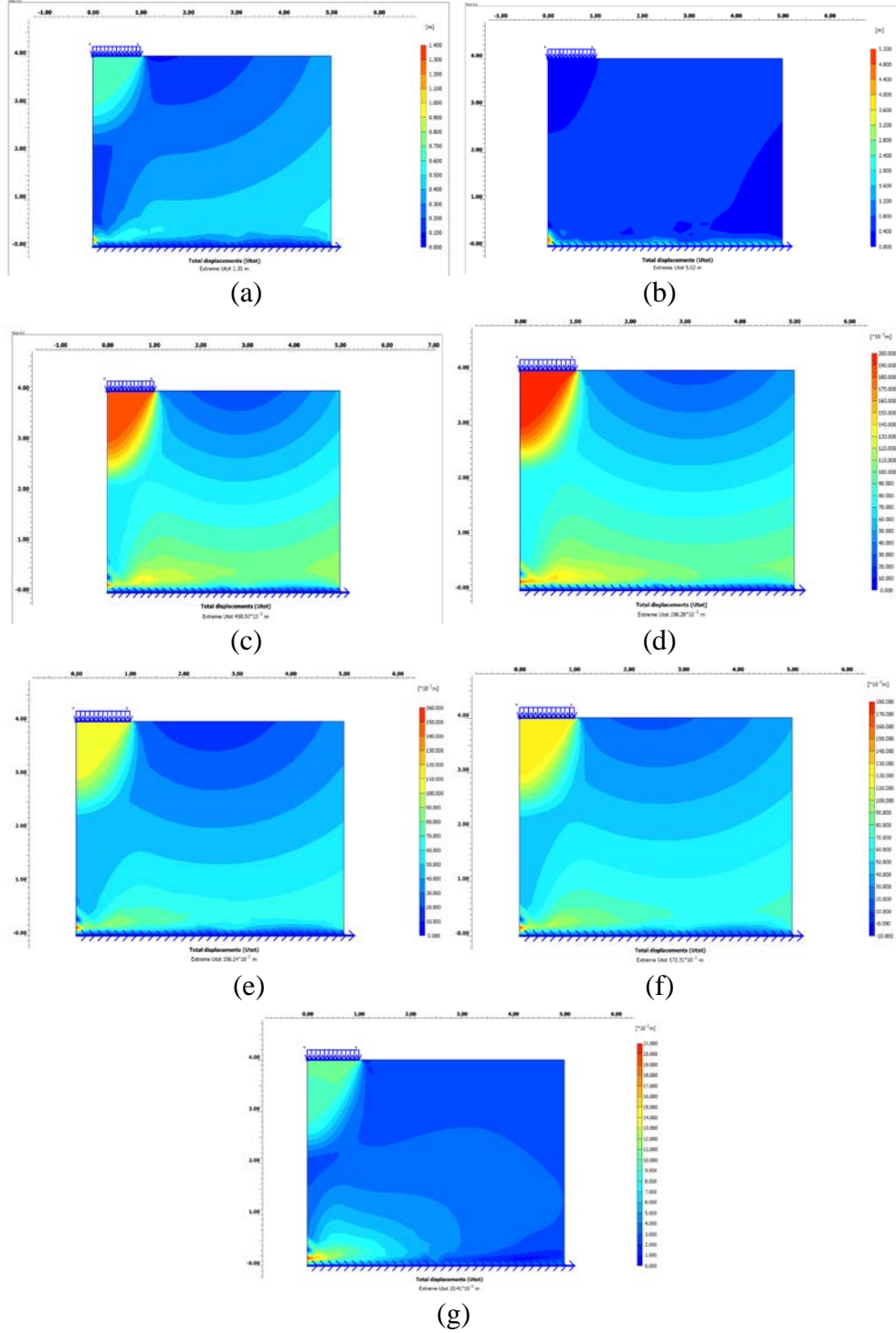
## **ii. PGA/PGV, Yer Değiştirme ve Birim Şekil Değiştirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler.**

Çizelge 22'ye göre eldeki verilere dayanarak, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında genel bir olumlu ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu demektir ki, PGA/PGV oranı arttıkça, yer değiştirmesi de artma eğilimi göstermektedir. Ancak, bu genel eğilimde bazı istisnalar bulunmaktadır.

Özellikle "Offshore Maule, Şili Depremi" ve "Denali Fay, Alaska Depremi" gibi bazı depremler, beklenen eğilimin dışına çıkmıştır. Bu iki depremin yer değiştirmesi, PGA/PGV oranına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, diğer etkili faktörlerin ( $M_w$ , süre, derinlik, PGA, PGV) yanı sıra depremin bulunduğu coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi faktörlerin de etkisini göstermektedir.

Ayrıca, her bir depremin kendi içindeki denge ve etkileşimi nedeniyle, beklenen PGA/PGV-yer değiştirme ilişkisinden sapabilen durumlar ortaya çıkabilir. Bu karmaşık etkileşim, depremin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin birleşiminin sonucunda meydana gelmektedir.

**f. Altıncı Vaka: Fatih İlçesi, Yavuz Sultan Selim Mah (ZC Çakıllı Siltli Kumlu Sert Kil).**



Şekil 47. Altıncı vaka (Fatih) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.

(a) Şekildeki yer değiştirme değeri 1,35 m'dir. Bu değer, bu depremin Meksika bölgesinde büyük bir yer değiştirme etkisine neden olduğunu göstermektedir.

(b) Resimde yer değiştirme değeri 5,02 metredir. Bu yüksek yer değiştirme değeri, Şili açıklarında meydana gelen depremin, bölgedeki zemin koşulları ve depremin büyüklüğü nedeniyle büyük bir yer değiştirmeye neden olduğunu göstermektedir.

(c) şekilde ise yer değiştirme değeri  $458.50 \times 10^{-3}$  olarak kaydedilmiştir.

(d) görsedeki Yer değiştirme değeri  $196.28 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Bu değer Kaliforniya depreminin bölgedeki yer değiştirme etkisini yansıtmaktadır.

(e) şekilde yer değiştirme değeri  $156.14 \times 10^{-3}$  olarak kaydedilmiştir. Bu değer, bölgedeki deprem aktivitesinin ve zemin koşullarının yer değiştirme üzerindeki etkisini göstermektedir.

(f) görselde yer değiştirme değeri  $172.31 \times 10^{-3}$  seviyesindedir. Bu değer, Alaska'daki deprem aktivitesinin ve yerel koşulların depremin yer değiştirme etkisine katkısını yansıtmaktadır.

(g) şekilde ise yer değiştirme değeri  $20.41 \times 10^{-3}$  olarak kaydedilmiştir. Bu değer, bölgedeki deprem etkisinin hafif düzeyde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 23. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Altıncı Vaka).

	Mw	Süre (Saniye)	Derinlik (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer değiştirme (m)
Deprem							
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	544	28.7	18.889	1.35
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	638	35	16.789	5.02
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	124	7.6	16.316	$458.50 \times 10^{-3}$
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	61.7	4.6	13.413	$196.28 \times 10^{-3}$
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	114	8.5	13.412	$156.14 \times 10^{-3}$
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	98.01	7.56	12.964	$172.31 \times 10^{-3}$
Offshore Northern California, CA	7.1	45.995	21	6.35	0.52	12.212	$20.41 \times 10^{-3}$

**i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi.**

1. Sierra El Mayor, Mexico:

- Toplam Yer değiştirme: 1.35 m

- ε: %33.75

2. Offshore Maule, Chile:

- Toplam Yer değiştirme: 5.02 m

- ε: %125.5

3. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:

- Toplam Yer değiştirme:  $458.50 \times 10^{-3}$  m

- ε: %11.46

4. WNW of Ferndale, California:

- Toplam Yer değiştirme:  $196.28 \times 10^{-3}$  m

- ε: %4.91

5. San Simeon, California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $156.14 \times 10^{-3}$  m

- ε: %3.9035

6. Denali Fay, Alaska:

- Toplam Yer değiştirme:  $172.31 \times 10^{-3}$  m

- ε: %4.3075

7. Offshore Northern California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $20.41 \times 10^{-3}$  m

- ε: %0.51

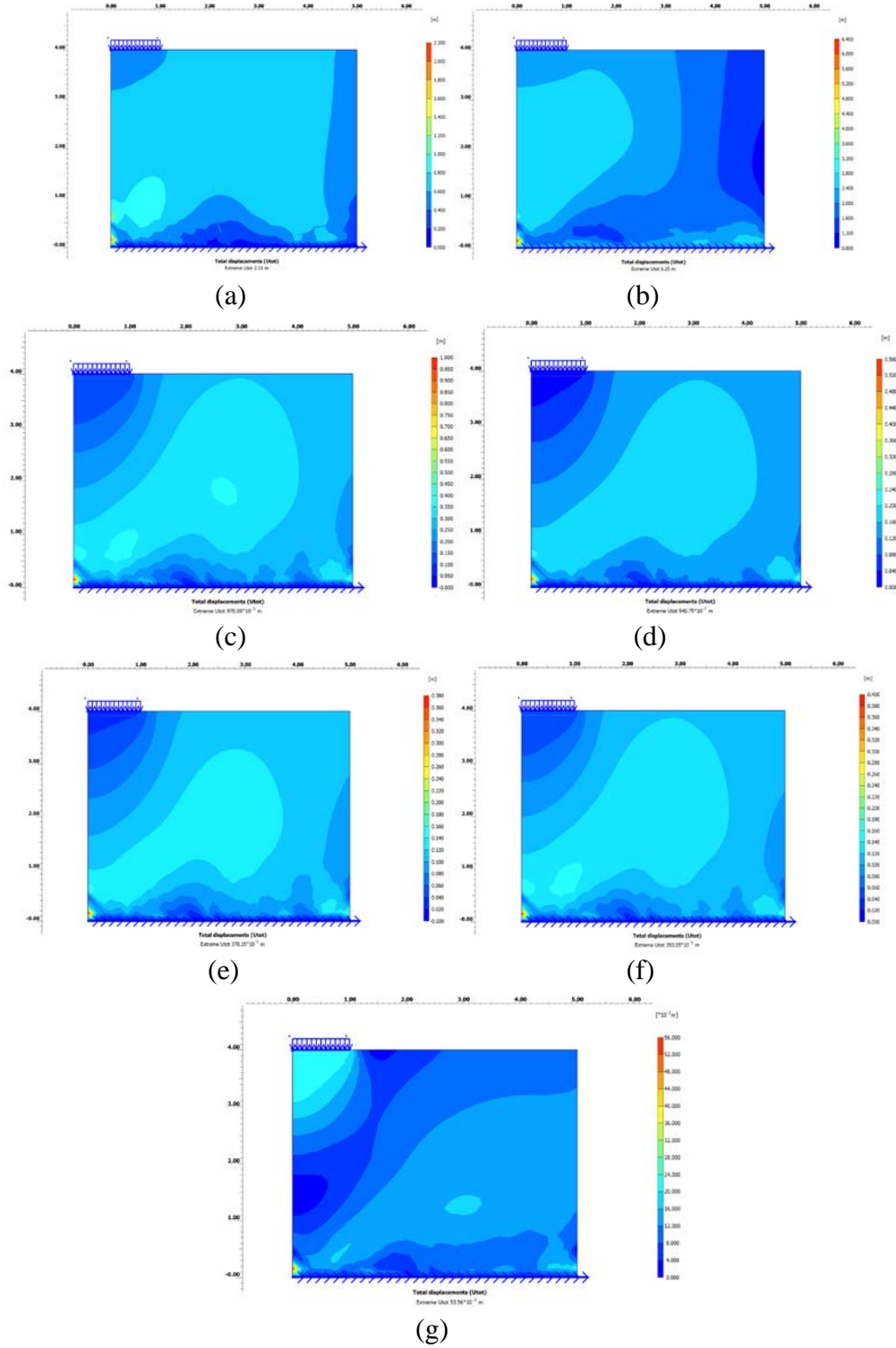
## **ii. PGA/PGV, Yer Değiştirme ve Birim şekil Değiştirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler.**

Çizelge 23'e göre Eldeki verilere dayanarak, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında bir olumlu ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu demektir ki, PGA/PGV oranı arttıkça, yer değiştirmesi de artma eğilimi göstermektedir. Ancak, bu eğilimde bazı istisnalar bulunmaktadır.

Özellikle "Offshore Maule, Şili Depremi" ve "Denali Fay, Alaska Depremi" gibi bazı depremler, beklenen eğilimin dışına çıkmıştır. Bu iki depremin yer değiştirmesi, PGA/PGV oranına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, diğer etkili faktörlerin ( $M_w$ , süre, derinlik, PGA, PGV) yanı sıra depremin bulunduğu coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi faktörlerin de etkisini göstermektedir.

Ayrıca, her bir depremin kendi içindeki denge ve etkileşimi nedeniyle, beklenen PGA/PGV-yer değiştirme ilişkisinden sapabilen durumlar ortaya çıkabilir. Bu karmaşık etkileşim, depremin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin birleşiminin sonucunda meydana gelmektedir.

## g. Yedinci Vaka: Tuzla İlçesi İçmeler Mahallesi (Yerel Zemin Sınıfı ZB)



Şekil 48. Yedinci vaka (Tuzla) için yedi farklı depremin neden olduğu yer değiştirme sonuçları. (a) "Sierra El Mayor, Mexico" Depremi'nin yer değiştirmesi. (b) "Offshore Maule, Şili" Depremi'nin yer değiştirmesi. (c) "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" Depremi'nin yer değiştirmesi. (d) "WNW of Ferndale, California" Depremi'nin yer değiştirmesi. (e) "San Simeon, Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi. (f) "Denali Fay Hattı, Alaska" Depremi'nin yer değiştirmesi. (g) "Offshore Kuzey Kaliforniya, ABD" Depremi'nin yer değiştirmesi.



(a) şekildeki görülen 2.11 metrelik Yer değiştirme değeri, Meksika'da yaşanan depremin bölgedeki etkisinin göstergesidir.

(b) Görüntüdeki "Offshore Maule, Şili" depreminin 6,25 m'lik yer değiştirme değeri, Şili açıklarında meydana gelen depremin etkilerinin bölgede şiddetli olduğunu gösteriyor. Bu büyük yer değiştirme değeri, deprem şiddetinin yanı sıra bölgenin zemin özelliklerinin ve coğrafi konumunun da etkili olduğunu göstermektedir.

(c) şekilde "Kepulauan Mentawai Bölgesi, Endonezya" depreminin  $976.69 \times 10^{-3}$  yer değiştirme değeri, Endonezya'daki deprem riskinin yüksekliğini yansıtmaktadır.

(d) görüntüde  $540.75 \times 10^{-3}$  yer değiştirme değeri, Kaliforniya'daki bu depremin bölgedeki etkisinin bir göstergesidir.

(e) şekilde  $370.15 \times 10^{-3}$  yer değiştirme değeri, Kaliforniya'daki bu depremin neden olduğu yer değiştirmeyi yansıtmaktadır.

(f) görselde "Denali Fay, Alaska" depreminde  $393.05 \times 10^{-3}$  Yer değiştirme değeri, Alaska'da yaşanan depremin bölgedeki yer değiştirme etkisini ifade etmektedir.

(g) şekilde ise  $53.56 \times 10^{-3}$  yer değiştirme değeri, Kaliforniya açıklarındaki depremin bölgedeki etkilerini göstermektedir.

Çizelge 24. Deprem Olaylarına Ait Bilgiler ve İlgili Parametrelerin Analizi, (Yedinci Vaka).

Deprem	Mw	Süre (Saniye)	Derinlik (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	$\frac{PGA}{PGV}$	Toplam Yer Değiştirme (m)
Sierra El Mayor, Mexico	7.20	71.995	10	18.889	2.11	18.889	2.11
Offshore Maule, Chile	8.8	201.99	35	544	28.7	16.789	6.25
Kepulauan Mentawai Region, Indonesia	7.9	168.995	30	638	35	16.316	$976.69 \times 10^{-3}$
WNW of Ferndale, California	6.8	124.995	7	124	7.6	13.413	$540.75 \times 10^{-3}$
San Simeon, California, CA	6.4	76.995	7.6	61.7	4.6	13.412	$370.15 \times 10^{-3}$
Denali Fay, Alaska	7.9	85.99	5	114	8.5	12.964	$393.05 \times 10^{-3}$
Offshore Northern California, CA	7.1	45.995	21	98.01	7.56	12.212	$53.56 \times 10^{-3}$

**i. Depremlerin Zemin Üzerinde Oluşturduğu Toplam Yer Değişirme ve Birim Şekil Değişirme Yüzdesi.**

1. Sierra El Mayor, Mexico:

- Toplam Yer değiştirme: 2.11 m

- ε: %52.75

2. Offshore Maule, Chile:

- Toplam Yer değiştirme: 6.25 m

- ε: %156.25

3. Kepulauan Mentawai Region, Indonesia:

- Toplam Yer değiştirme:  $976.69 \times 10^{-3}$  m

- ε: %24.4175

4. WNW of Ferndale, California:

- Toplam Yer değiştirme:  $540.75 \times 10^{-3}$  m

- ε: %13.51875

5. San Simeon, California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $370.15 \times 10^{-3}$  m

- ε: %9.25375

6. Denali Fay, Alaska:

- Toplam Yer değiştirme:  $393.05 \times 10^{-3}$  m

- ε: %9.82625

7. Offshore Northern California, CA:

- Toplam Yer değiştirme:  $53.56 \times 10^{-3}$  m

- ε: %1.339

## ii. PGA/PGV, Yer Değiştirme ve Birim Şekil Değiştirme ( $\epsilon\%$ ) Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Faktörler.

Çizelge 24'e göre, Eldeki verilere dayanarak, PGA/PGV oranı ile yer değiştirmesi arasında bir olumlu ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu demektir ki, PGA/PGV oranı arttıkça, yer değiştirmesi de artma eğilimi göstermektedir. Ancak, bu eğilimde bazı istisnalar bulunmaktadır.

Özellikle "Offshore Maule, Şili Depremi" ve "Denali Fay, Alaska Depremi" gibi bazı depremler, beklenen eğilimin dışına çıkmıştır. Bu iki depremin yer değiştirmesi, PGA/PGV oranına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, diğer etkili faktörlerin ( $M_w$ , süre, derinlik, PGA, PGV) yanı sıra depremin bulunduğu coğrafi özellikler ve yerel zemin koşulları gibi faktörlerin de etkisini göstermektedir. Ayrıca, her bir depremin kendi içindeki denge ve etkileşimi nedeniyle, beklenen PGA/PGV-yer değiştirme ilişkisinden sapabilen durumlar ortaya çıkabilir. Bu karmaşık etkileşim, depremin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin birleşiminin sonucunda meydana gelmektedir.

## B. Zemin Değişkenleri ve Çeşitli Parametrelerin Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi ve Sıralaması.

Çizelge 25. Toplam yer değiştirme sonuçlarının gruplandırılması.

DEPREM	VAKA-1 KUMLU ZEMİN	VAKA-2 Bakırköy ZC	VAKA-3 Sultangazi ZD	VAKA-4 Silivri ZC	VAKA-5 Büyükçekmece ZD	VAKA-6 Fatih ZC	VAKA-7 Tuzla ZB
Mexico	5.74	$757 \times 10^{-3}$	1.52	1.33	1.18	1.35	2.11
Chile	5.46	3.63	5.45	4.61	4.56	5.02	6.25
Indonesia	3.31	$306 \times 10^{-3}$	$555 \times 10^{-3}$	$465 \times 10^{-3}$	$398 \times 10^{-3}$	$459 \times 10^{-3}$	$977 \times 10^{-3}$
WNW CA	1.36	$42 \times 10^{-3}$	$258 \times 10^{-3}$	$166 \times 10^{-3}$	$128 \times 10^{-3}$	$196 \times 10^{-3}$	$541 \times 10^{-3}$
CA,San Simeon	$860 \times 10^{-3}$	$56 \times 10^{-3}$	$195 \times 10^{-3}$	$138 \times 10^{-3}$	$116 \times 10^{-3}$	$156 \times 10^{-3}$	$370 \times 10^{-3}$
Alaska	$824 \times 10^{-3}$	$61 \times 10^{-3}$	$207 \times 10^{-3}$	$167 \times 10^{-3}$	$141 \times 10^{-3}$	$172 \times 10^{-3}$	$393 \times 10^{-3}$
Norther, CA	$663 \times 10^{-3}$	$11 \times 10^{-3}$	$28 \times 10^{-3}$	$20 \times 10^{-3}$	$16 \times 10^{-3}$	$20 \times 10^{-3}$	$54 \times 10^{-3}$

"Verilen sayılara dayalı olarak yukarıdaki Çizelge 25'e göre, iki farklı deprem (Chile ve Mexico) senaryosunda elde edilen yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, en büyük yer değiştirme değerlerinin bu iki deprem durumunda kaydedildiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, deprem etkilerinin yer değiştirmeye olan etkisini daha ayrıntılı bir şekilde anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Yer değiştirmeyi en çok etkileyen parametrelerin sıralaması, dikkate değer bir analitik çalışmanın sonucudur. Elde edilen sıralama aşağıdaki gibidir:

1. Pik Yer İvmesi (PGA).
2. Pik Yer Hızı (PGV).
3. Pik Yer İvmesi / Pik Yer Hızı Oranı (PGA/PGV).
4. Depremin Derinliği - Depremin yer altındaki derinliği.
5. Moment Büyüklüğü (Mw) - Depremin moment büyüklüğü değeri.
6. Depremin Süresi - Depremin etkili olduğu süre.

Bu sıralama, parametrelerin yer değiştirmeyi ne şekilde etkilediği konusundaki anlayışımızı geliştirmemize yardımcı olmaktadır. Özellikle, Pik Yer İvmesi (PGA), Pik Yer Hızı (PGV), Pik Yer İvmesi / Pik Yer Hızı Oranı (PGA/PGV), ve depremin derinliği gibi parametrelerin, yer değiştirmeyi belirgin şekilde etkilediği görülmektedir. Bu tür analitik yaklaşımlar, sismik etkilerin yapı ve zemin üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve buna göre tasarım ve inşaat süreçlerini geliştirmek için önemli bir araç sağlamaktadır."

Geri kalan depremlerde bir dizi yer değiştirme sonucu olduğu gözlemlendi, yani PGA/PGV oranı göre ne kadar büyükse, yer değiştirme sonuçlarında bir artış oldu, yani PGA/PGV oranı ile yer değiştirme ilişkisinde doğru orantılılık vardır. Kalan depremlerin yer değiştirmesini en çok etkileyen parametrelerin dizilişinin iki depremdeki (şili ve Meksika) yer değiştirmeyi etkileyen parametrelerin dizilişinden tamamen farklı olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıda kalan depremlerin neden olduğu yer değiştirme sonuçlarında en etkili olandan en az etkili olana doğru parametreler sıralanmaktadır.

- 1- Birinci derecede PGA/PGV.
- 2- Deprem süresi.
- 3- PGA ve PGV bu parametrelerin etkisi aynı derecede etkilemektedir.
- 4- Odak derinliği.
- 5- Büyüklüktür Mw.

## V.SONUÇ

PGA/PGV oranı ile depremlerdeki yer değiştirme miktarı arasında bir ilişki vardır.

Daha yüksek PGA/PGV oranları daha büyük yer değiştirmelerle ilişkilendirilirken, daha düşük oranlar daha küçük yer değiştirmelere karşılık gelir.

Bu, PGA/PGV oranı ile temsil edilen yer hareketinin yoğunluğunun, sismik olaylar sırasında yer değiştirmenin boyutunu doğrudan etkilediğini gösterir.

Ancak, yüksek büyüklükteki depremlerde yer değiştirmeyi etkileyebilecek ek faktörlerin dikkate alınması önemlidir.

Bazı yüksek büyüklükteki depremler, diğer faktörlerin etkisini düşündürecek şekilde daha düşük yer değiştirmeler sergileyebilir.

Moment Büyüklüğü ile yer değiştirme arasındaki ilişki analiz edilirken yer değiştirme, yalnızca moment büyüklüğü tarafından belirlenmez, aynı zamanda sahaya özgü diğer faktörlerden de etkilenir.

Jeolojik koşullar, deprem merkezine yakınlık ve yerel zemin etkileri gibi faktörler yer değiştirmenin belirlenmesinde rol oynar.

Bu nedenle, bir depremin potansiyel etkisini doğru bir şekilde değerlendirmek ve yer değiştirmeleri tahmin etmek için birden çok faktörün kapsamlı bir değerlendirmesi gereklidir.

PGA, yer hareketi yoğunluğunun bir göstergesi olarak hizmet eder ve tehlike değerlendirmesi ve yapısal tasarımda yararlıdır.

Daha yüksek PGA, PGV değerleri, depremler sırasında daha büyük yer değiştirmelere karşılık gelir.

Bu kayıtlar sert zeminden alınmıştır, Butterworth filtre (4. Mertebe) kullanarak düzeltilmiş hale gelmiştir.

Tüm analizlerde bu standart, düzeltilmiş kayıtlar kullanılmıştır.

Özetle bu çalışmada, farklı depremler altında yer değiştirme sonuçlarının incelenmesi, PGA/PGV oranı ile yer değiştirme arasındaki ilişkinin araştırılması hedeflenmiştir. PGA/PGV oranının artmasının yer değiştirmeyi belirgin şekilde artırdığını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, Şili ve Meksika depremleri ile diğer depremler arasında yer değiştirmeyi etkileyen parametrelerin farklı sıralamalara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Parametrelerin etkisinin sıralandığı bölümde ise, en etkili parametre olarak PGA/PGV oranı yer almaktadır. Bu sonuç, yer değiştirmeyi en fazla etkileyen faktörün PGA/PGV oranı olduğunu göstermektedir. İkinci sırada ise (PGA ve PGV) değerlerinin benzer etkilere sahip olduğu görülmektedir. Üçüncü mertebede deprem süresi yer almaktadır. Dördüncü sıraya odak derinliği, beşinci sıraya ise deprem büyüklüğü ( $M_w$ ) yerleştirilmiştir.

Sonuç olarak, deprem etkilerini anlamak ve yer değiştirme sonuçlarını tahmin etmek için PGA/PGV oranı, deprem süresi, PGA, PGV, odak derinliği ve deprem büyüklüğü gibi parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu analiz, deprem riskinin ve etkilerinin daha iyi anlaşılması için önemli bir adım sağlamaktadır.

## VI. KAYNAKÇA

### DERGİLER

- AKKAR, S., SUCUOĞLU, H., & YAKUT, A. (2005). Displacement-Based Fragility Functions for Low-and Mid-rise Ordinary Concrete Buildings. **Earthquake Spectra**, 21(4), 901–927. doi:10.1193/1.2084232
- ALZABEEBEE, S. (2020). Seismic settlement of a strip foundation resting on a dry sand. **Natural Hazards**. doi:10.1007/s11069-020-04090-w
- ASHOORİ, T., & PAKİMAN, K. (2015). Dynamic Response of Different Types of Shallow Foundation over Sandy Soils to Horizontal Harmonic Loading. **International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering**, 6(1), 1–14. doi:10.4018/ijgee.2015010101
- ASGARİ, A., GOLSHANİ, A., & BAGHERİ, M. (2014). Numerical evaluation of seismic response of shallow foundation on loose silt and silty sand. **Journal of Earth System Science**, 123(2), 365–379. doi:10.1007/s12040-013-0393-9
- AYOUBİ, P., & PAK, A. (2017). Liquefaction-induced settlement of shallow foundations on two-layered subsoil strata. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 94, 35–46. doi:10.1016/j.soildyn.2017.01.004
- BAHADORİ, H., MOTAMEDİ, H., HASHEMİNEZHAD, A., & MOTAMED, R. (2020). Shaking table tests on shallow foundations over geocomposite and geogrid-reinforced liquefiable soils. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 128, 105896. doi:10.1016/j.soildyn.2019.105896
- BARRİOS, G., LARKİN, T., & CHOUW, N. (2020). Influence of shallow footings on the dynamic response of saturated sand with low confining

- pressure. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 128, 105872. doi:10.1016/j.soildyn.2019.105872
- BORGHEI, A., GHAYOOMI, M., & TURNER, M. (2020). Centrifuge Tests to Evaluate Seismic Settlement of Shallow Foundations on Unsaturated Silty Sand. **Geo-Congress 2020**. doi:10.1061/9780784482810.022
- BRADLEY, B. A. (2012). Empirical Correlations between Peak Ground Velocity and Spectrum-Based Intensity Measures. **Earthquake Spectra**, 28(1), 17–35. doi:10.1193/1.3675582
- CASTALDO, P., PALAZZO, B., FERRENTINO, T., & PETRONE, G. (2017). Influence of the strength reduction factor on the seismic reliability of structures with FPS considering intermediate PGA/PGV ratios. **Composites Part B: Engineering**, 115, 308–315. doi:10.1016/j.compositesb.2016.09.072
- DU, W., & WANG, G. (2017). Empirical correlations between the effective number of cycles and other intensity measures of ground motions. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 102, 65–74. doi:10.1016/j.soildyn.2017.08.014
- ELHOUT, E. A. (2020). The correlation between the ground motion intensity measure parameters of earthquakes. **Asian Journal of Civil Engineering**, 21(5), 829–840. doi:10.1007/s42107-020-00243-1
- GARG, R., VEMURI, J. P., & SUBRAMANIAM, K. V. L. (2018). Correlating Peak Ground A/V Ratio with Ground Motion Frequency Content. **Recent Advances in Structural Engineering, Volume 2**, 69–80. doi:10.1007/978-981-13-0365-4\_6
- HABIBI, A., & JAMI, E. (2016). Correlation Between Ground Motion Parameters and Target Displacement of Steel Structures. **International Journal of Civil Engineering**, 15(2), 163–174. doi:10.1007/s40999-016-0084-4
- HASHEMINEZHAD, A., & BAHADORI, H. (2019). Seismic response of shallow foundations over liquefiable soils improved by deep soil



mixing columns. **Computers and Geotechnics**, 110, 251–273.  
doi:10.1016/j.compgeo.2019.02.019

PAKDEL, P., JAMSHIDI CHENARI, R., & VEISKARAMI, M. (2019). Seismic bearing capacity of shallow foundations rested on anisotropic deposits. **International Journal of Geotechnical Engineering**, 1–12.  
doi:10.1080/19386362.2019.1655983

ZEYBEK, A., MADABHUSHI, G. S. P., & PELECANOS, L. (2020). Seismic response of partially saturated soils beneath shallow foundations under sequential ground motions. **Bulletin of Earthquake Engineering**.  
doi:10.1007/s10518-020-00792-5

ANEEL KUMAR, AND ZAHEER ALMANI, AND SYED RAGHIB ALI SHAH, AND MUHAMMAD REHAN HAKRO, (2022) *Numerical modelling of shallow foundation on multi-layer soil with varying stiffness*. **Jurnal Kejuruteraan**, 34 (6). pp. 1053-1062. ISSN 0128-0198. doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(6)-06

HAKRO, MUHAMMAD REHAN, ANEEL KUMAR, MUJAHID ALI, AGHA FAISAL HABIB, AFONSO R. G. de Azevedo, Roman Fediuk, Mohanad Muayad Sabri Sabri, Abdelatif Salmi, and Youssef Ahmed Awad. 2022. "Numerical Analysis of Shallow Foundations with Varying Loading and Soil Conditions" **Buildings** 12, no. 5: 693.  
<https://doi.org/10.3390/buildings12050693>

ANEEL KUMAR, AND ZAHEER ALMANI, AND SYED RAGHIB ALI SHAH, AND MUHAMMAD REHAN HAKRO, (2022) Numerical modelling of shallow foundation on multi-layer soil with varying stiffness. **Jurnal Kejuruteraan**, 34 (6). pp. 1053-1062. ISSN 0128-0198.  
doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(6)-06

ADAMIDIS, O., & MADABHUSHI, S. P. G. (2016). Response of shallow foundations to successive earthquake-induced liquefaction events. In 1st international conference on natural hazards and infrastructure (**ICONHIC2016**), Chania, Greece.

TOH, J. C. W., PENDER, M. J., & MCCULLY, R. (2011). Implications of soil variability for performance based shallow foundation design. In Proc.

- 9th Pacific Conference on Earthquake Engineering**, Auckland, April (pp. 14-16).
- HERON, C. M., HAIGH, S. K., & MADABHUSHI, S. P. G. (2014). Isolating shallow foundations from seismic loading. In *Physical Modelling in Geotechnics-Proceedings of the 8th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics* (pp. 621-627).
- SALL, O., SARR, D., MAKHALY, B., CÏSSE, N., & ABOUBACRY, L. (2019). Numerical analysis of shallow foundations in a soil mass under various behavior laws. *Am. J. Sci*, 7, 129-137.
- DÏMÏTRÏADÏ, V. E., BOUCKOVALAS, G. D., & PAPADÏMÏTRÏOU, A. G. (2017). Seismic performance of strip foundations on liquefiable soils with a permeable crust. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100, 396-409. doi:10.1016/j.soildyn.2017.04.021
- SOMMA, F., FLORA, A., BÏLOTTA, E., & VÏGGÏANI, G. M. (2021). Numerical analysis on shallow foundations lateral disconnection. In **8th International conference** on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering methods in structural dynamics and earthquake engineering (28–30 June 2021 Greece).
- ELGAMAL, A., LU, J., & YANG, Z. (2005). LIQUEFACTION-INDUCED SETTLEMENT OF SHALLOW FOUNDATIONS AND REMEDIATION: 3D NUMERICAL SIMULATION. *Journal of Earthquake Engineering*, 9(sup001), 17–45. doi:10.1080/13632460509350578
- ELÏA, G., & ROUAÏNÏA, M. (2014). Performance evaluation of a shallow foundation built on structured clays under seismic loading. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(4), 1537–1561. doi:10.1007/s10518-014-9591-3
- EL SHAMY, U., & ZAMANÏ, N. (2011). Discrete element method simulations of the seismic response of shallow foundations including soil-foundation-structure interaction. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36(10), 1303–1329. doi:10.1002/nag.1054

- EL SHAMY, U. (2021). Multiscale modelling of the seismic response of shallow foundations on saturated granular soils. **Geomechanics and Geoengineering**, 1–22. doi:10.1080/17486025.2021.1912405
- GHAYOOMÍ, M., & DASHTÍ, S. (2015). Effect of Ground Motion Characteristics on Seismic Soil-Foundation-Structure Interaction. **Earthquake Spectra**, 31(3), 1789–1812. doi:10.1193/040413eqs089m
- HAKRO, M. R., KUMAR, A., ALMANÍ, Z. A., HABÍB, A. F., & ZARDARÍ, M. A. (2022). since 1961. **Baltica**, 35(1), 80-88.
- HRUSTINEC, L. (2013). Numerical Analysis of the Interaction between Shallow (Square, Circular and Strip) Foundations and Subsoil. **Journal of civil engineering and architecture**, 7(7), 875.
- ALÍ, A. H., ABBAS, H. O., & ABED-AWN, S. H. (2022). Behavior of radye foundation built on layered soil under different earthquake excitation. **International Journal of Engineering**, 35(8), 1509-1515.
- GIL, D. F., MENDOZA, C. C., VÁSQUEZ-VARELA, L. R., & CANO, S. (2022). Physical model of shallow foundation under dynamic loads on sands. **Infrastructures**, 7(11), 147.
- JALILÍ, S., KOUPAEÍ, H. J., SHARAFÍ, H., & GANJIAN, N. (2021). Experimental and Numerical Study of Seismic Behavior of Shallow Strip Foundation Near Sandy Slope. **International Journal of Civil Engineering**. doi:10.1007/s40999-021-00641-9
- JIANG, J., EL NGGAR, H. M., XU, C., ZHONG, Z., & DU, X. (2021). Effect of ground motion characteristics on seismic fragility of subway station. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 143, 106618. doi:10.1016/j.soildyn.2021.106618
- ELSIRAGY, M. N. (2019). Dynamic Response Of Foundations Using Reinforced Technique Under Earthquake Effect-Numerical Study. **Parameters**, 5(10).
- ZIOTOPOULOU, K., & MONTGOMERY, J. (2017, January). Numerical modeling of earthquake-induced liquefaction effects on shallow

foundations. In Proceedings of **16th world conference** on earthquake engineering.

WULANDARI, P. S., & TJANDRA, D. (2015). Analysis of Piled Radye Foundation on Soft Soil Using PLAXIS 2D. **Procedia Engineering**, 125, 363–367. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.083

## **THESIS**

DEHGHANIAN, K. (2016). A Semi-empirical method for estimation of maximum seismic shear strain in imperforated ground excited by vertically propagating shear waves.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad:** Rüya Yıldırım.

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans:** 2021, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği fakültesi.

**Yüksek Lisans:** 2023, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği ana bilim dalı, İnşaat mühendisliği program.

### TEZDEN TÜRETİLEN KONFERANS:

Yıldırım R., Dehghanian K. 2023. Şiddetli Depremlerin Sığ Temeller Üzerindeki Etkisi ve Değişen Sismik Koşullara Tepkilerinin değerlendirilmesi. *11. ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK MİMARLIK VE TASARIM KONGRESİ 11th INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING, ARCHITECTURE AND DESIGN.*, June 10-12 İstanbul- Türkiye.

