Deprem Kaydı Seçiminin Düşey Yüklü Kazıkların Davranışına Etkisinin Araştırılması

Arif Ender Korkusuz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2024

Investigation of the Effect of Ground Motion Selection on the Behavior of Vertically Loaded Piles

Arif Ender Korkusuz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

June 2024

Deprem Kaydı Seçiminin Düşey Yüklü Kazıkların Davranışına Etkisinin Araştırılması

Arif Ender Korkusuz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Kâmil Bekir Afacan

Haziran 2024

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Arif Ender Korkusuz**'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Deprem Kaydı Seçiminin Düşey Yüklü Kazıkların Davranışına Etkisinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Kâmil Bekir Afacan

İkinci Danışman **:** -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Kâmil Bekir Afacan

Üye : Doç. Dr. Hasan Savaş

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eren Balaban

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. …… ……..
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzunda kurallar çerçevesinde, Doç. Dr. Kâmil Bekir Afacan danışmanlığıyla yazmış olduğum "Deprem Kaydı Seçiminin Düşey Yüklü Kazıkların Davranışına Etkisinin Araştırılması" konulu YÜKSEK LİSANS tezimin bana özgün bir çalışma olduğunu; çalışmalarımın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; çalışmamda verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun olarak araştırarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallarına göre sunduğumu beyan ederim. 28/06/2024

Arif Ender KORKUSUZ

İmza

ÖZET

6 Şubat 2023 tarihinde yaşanılan Kahramanmaraş merkezli depremler Türkiye'yi çok derinden etkileyerek depreme dayanıklı tasarımın önemini acı kayıplarla tekrar hatırlatmış oldu. Yapıların tasarımını sismik yükler altındaki performansı etkilemektedir. Bu çalışmada Kamu İhale Kurumu EKAP sitesinden zemin etüt raporları incelenerek gerçeğe en yakın oluşturulan zemin üzerine 30x30 m kazıklı ve kazıksız radye temel modelleri modellenmiştir. Kazıklar yapı temeli altında 0,80 m çapında, 2,50 x 2,50 m karelaj ile boyları sağlam zemine yüklerin aktarılması için 20,00 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Modellenen radye temele 100 kN/m^2'lik düzgün yayılı yük yüklenmiştir. Zeminler için seçilen malzeme modeli Hardening Soil malzeme modelidir. Sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan PLAXIS 2D programıyla iki boyutlu dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 2 farklı kesit için 15 farklı deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Deprem ivme kaydı seçiminde İstanbul Şile Ağva semti seçilmiştir. Bölgenin sismolojisi ve diri fay haritası dikkate alınarak doğrultu, normal ve ters atımlı faylardan beşer adet olmak üzere eşit ivme kaydı seçilmiştir. Analizler sonucu seçilen deprem kayıtlarına göre modelde farklı deplasmanlar, eğilme momentleri, normal ve kesme kuvvetleri oluşmuştur. Maksimum yer ivmesi (PGA), Arias yoğunluğu, Maksimum yer hızı (PGV), Housner yoğunluğu ve maksimum yer değiştirme (PGD) parametrelerinin dinamik analiz sonucu deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti ile ilişki grafikleri incelenmiştir. Analizler sonucu üst yapıya kazık eklemenin oturmaları, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvvetini azalttığı gözlemlenmiştir. Yapı tasarımında deprem kaydı seçimi yapıyı etkileyebilecek potansiyel deprem kuvvetlerini belirlemeye yardımcı olduğu için oldukça önemlidir. Bu çalışma ile deprem kaydı seçiminde hangi parametrelerin daha etkili sonuçlar verdiğinin ve kazıkların modele etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum yer ivmesi (PGA), Arias yoğunluğu, Maksimum yer hızı (PGV), Housner yoğunluğu, Maksimum yer değiştirme (PGD), Hardening Soil Modeli, Deprem İvme Kaydı, PLAXIS 2D, Kazıklı radye temel.

SUMMARY

The Kahramanmaraş-centered earthquakes that occurred on February 6, 2023 affected Turkey deeply and reminded us of the importance of earthquake-resistant design with painful losses. The design of structures affects their performance under seismic loads. In this study, by examining the ground survey reports from the Public Procurement Agency EKAP website, a 30x30 m raft foundation and a 30x30 m piled raft foundation were modeled on the ground that was created as close to reality as possible. The piles are designed with a diameter of 0.80 m under the foundation of the building, a grid of 2.50 x 2.50 m and a length of 20.00 m to transfer the loads to solid ground. A uniformly distributed load of 100 kN/m2 was loaded on the modeled raft foundation. The material model chosen for the floors is the Hardening Soil material model. Two-dimensional dynamic analyzes were carried out with the PLAXIS 2D program, which works with the finite element method. 15 different earthquake acceleration records for 2 different sections were used in the analysis. Istanbul Şile Ağva district was selected in the earthquake acceleration record selection. Considering the seismology and active fault map of the region, equal acceleration records, five each from strike, normal and reverse slip faults, were selected. According to the earthquake records selected as a result of the analysis, different displacements, bending moments, normal and shear forces were formed in the model. The relationship graphs of maximum ground acceleration (PGA), Arias density, maximum ground velocity (PGV), Housner density and maximum displacement (PGD) parameters with displacement, bending moment, axial and shear force as a result of dynamic analysis were examined. As a result of the analysis, it was observed that adding piles to the superstructure reduced settlements, bending moments, axial and shear forces. The selection of earthquake records in building design is very important as it helps determine the potential earthquake forces that may affect the structure. This study aims to observe which parameters give more effective results in earthquake record selection and the effect of piles on the model.

Keywords: Maximum ground acceleration (PGA), Arias density, Maximum ground velocity (PGV), Housner density, Maximum displacement (PGD), Hardening Soil Model, Earthquake Acceleration Record, PLAXIS 2D, Piled raft foundation.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince tüm desteklerini benden esirgemeyen bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli danışman hocam Doç. Dr. Kâmil Bekir AFACAN ve Geoteknik Bilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Dr. Derviş Volkan OKUR, Prof. Dr. Murat TÜRKÖZ ve Doç. Dr. Hasan SAVAŞ'a en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince beni sürekli destekleyerek her zaman yanımda olan babam Tuncay KORKUSUZ, annem Dudu KORKUSUZ ve eşim Beyza Nur KORKUSUZ'a gösterdikleri anlayış ve sabırdan dolayı teşekkürü borç bilirim. 24 Nisan 2024 tarihinde dünyaya gelen oğlum Yusuf Han KORKUSUZ'a sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xvi**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xvii**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
3. KAZIKLI TEMELLER **9**
3.1. Kazıkların Sınıflandırılması 10
3.2. Grup Kazıklar 10
3.3. Dinamik Etki Altındaki Kazıklar 11
4. YÖNTEM **14**
4.1. Zemin Araştırmaları 15
4.1.1. Arazi Deneyleri 15
4.1.2. Laboratuvar Deneyleri 16
4.2. Zemin Birimler İçin Mukavemet Parametreleri Hesabı 18
4.2.1. Dolgu kil 18
4.2.2. Siltli, kumlu kil 18
4.2.3. Az Kumlu Siltli Kil 22
4.2.4. Kırık ve Çatlaklı Kireçtaşı 22
4.3. Hesaplamalarda Kullanılacak Parametreler 24
5. DEPREMSELLİK **26**
5.1. Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi 27
5.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyinin Belirlenmesi 28
5.3. Tasarım Spektral İvme Katsayılarının Belirlenmesi 28
5.3.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu 29
5.3.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu 30
5.4. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi 31
5.5. Faylanma 32
5.5.1. Doğrultu Atımlı Faylar 32
5.5.2. Normal Atımlı Faylar 33
5.5.3. Ters Atımlı Faylar 33

İÇİNDEKİLER

Sayfa

5.6. Odak Noktası (Hiposantr) 34
5.7. Dışmerkez (Episantr) 34
5.8. Odak Derinliği 34
5.9. Zemin Sınıfı 35
5.10. PGA (Maksimum Yer İvmesi) 35
5.11. PGV (Maksimum Yer Hızı) 36
5.12. Arias Yoğunluğu 36
5.13. Housner Yoğunluğu 38
5.14. PGD (Maksimum Yer Değiştirme) 38
6. DEPREM KAYDI SEÇİMİ 40
7. PLAXİS 2D İLE MODELLEME YAPILMASI 49
7.1. Plaxis 2D Programı ile Geometrik Modelin Oluşturulması 49
7.2. Plaxis 2D Programındaki Zemin Eleman Tipleri 51
7.3. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli 51
7.4. Hardening-Soil (HS) Pekleşen Zemin Modeli 52
7.4.1. Üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}^{ref}) 52
7.4.2. Ödometre yükleme rijitliği (E_{oed}^{ref}) 53
7.4.3. Elastisite modülünün gerilmeye bağlılığı için üstel katsayı (m) 54
7.4.4. Yeniden yükleme / boşaltma için poisson oranı (ν'_{ur}) 55
7.4.5. Mohr-Coulomb parametreleri ve kabarma açısı 55
7.4.6. Normal konsolide durumdaki zeminin sükûnetteki basınç katsayısı 55
7.4.7. Aşırı konsolidasyon oranı veya ön konsolidasyon basıncı 55
7.4.8. Yenilme oranı (Rf) 55
7.4.9. İlk boşluk oranı (einit) 55
8. MODEL 57
8.1. Parametrelerin Programa Girilmesi 58
8.2. Dinamik Analiz Adımları 59
9. BULGULAR VE TARTIŞMA 62
9.1. Analiz Sonuçlarına Göre Temel Grafiklerinin Deplasmana Göre İncelenmesi 71
9.1.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumlar 71
9.1.2. Ters Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumlar 75
9.1.3. Normal Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumları 79

İÇİNDEKİLER

Sayfa

9.2. Analiz Sonuçlarına Göre Temel Grafiklerinin Eksenel Kuvvete Göre İncelenmesi 83
9.2.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları 83
9.2.2. Ters Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları 87
9.2.3. Normal Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları 91
9.3. Analiz Sonuçlarına Göre Temel Grafiklerinin Kesme Kuvvetine Göre İncelenmesi 95
9.3.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları 95
9.3.2. Ters Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları 98
9.3.3. Normal Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları 102
9.4. Analiz Sonuçlarına Göre Temel Grafiklerinin Eğilme Momentine Göre İncelenmesi 105
9.4.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları 105
9.4.2. Ters Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları 109
9.4.3. Normal Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları 112
9.5. Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Deplasmanlarının İncelenmesi 115
9.6. Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Eksenel Kuvvetlerinin İncelenmesi 119
9.7. Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi 122
9.8. Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Eğilme Momentlerinin İncelenmesi 125
9.9. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıklı Temel Deplasman İyileşme Oranları 128
10. SONUÇ VE ÖNERİLER 143
KAYNAKLAR DİZİNİ 145

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3. 1 Kazıklarda grup etkisi..... 11
4. 1. Sondaj Logu 17
4. 2. İdealize Zemin Profili..... 18
4. 3. SPT-N Değeri ve Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi..... 20
4. 4. Jeolojik Dayanım İndeksinin Belirlenmesi..... 23
4. 5. Rock-Data Verileri 24
5. 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası..... 26
5. 2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği 30
5. 3. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği..... 31
5. 4. Doğrultu atımlı faylar..... 32
5. 5. Normal atımlı fay 33
5. 6. Ters atımlı fay 34
5. 7. Örnek olarak Mammoth Lakes-01 depreminin Arias yoğunluğu-Zaman ilişkisi 37
6. 1. Doğrultu Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri..... 44
6. 2. Ters Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri 45
6. 3. Normal Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri 46
6. 4. Doğrultu atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri 47
6. 5. Ters atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri 47
6. 6. Normal atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri 48
7. 1. Planestrain model örneği (düzlem simetri) ve Axisymmetry model örneği (eksenel simetrik) 50
7. 2. 6 ve 15 düğüm noktalı eleman..... 48
7. 3. E_{50} üç eksenli yükleme rijitliği ve E_{ur}^{ref} üç eksenli boşaltma / yükleme rijitliği. 53
7. 4. Öedometrik deformasyon modülü (Eoed). 54
7. 5. Elastisite modülünün gerilmeye bağlılığı için üstel katsayı (m)..... 54
8. 1. Kazıksız Model..... 57
8. 2. Kazıklı Model..... 57
8. 3. Kazıkların Detaylı Görünümü 58
8. 4. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi 59
8. 5. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi 60
8. 6. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi 61
9. 1. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Davranışı..... 62
9. 2. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Toplam Deplasmanı..... 63
9. 3. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Eksenel Kuvvetleri 63
9. 4. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Kesme Kuvvetleri 64
9. 5. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Eğilme Momentleri..... 64
9. 6. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Davranışı..... 65
9. 7. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Toplam Deplasmanları..... 65
9. 8. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Eksenel Kuvvetleri..... 66
9. 9. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Kesme Kuvvetleri 66
9. 10. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Eğilme Momentleri 67
9. 11. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 1 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri..... 68
9. 12. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 7 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri..... 69
9. 13. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 13 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri..... 70
9. 14. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

9. 15. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği 72
9. 16. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 72
9. 17. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği 73
9. 18. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 74
9. 19. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 75
9. 20. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği 76
9. 21. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 76
9. 22. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 77
9. 23. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 78
9. 24. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 79
9. 25. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği 80
9. 26. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 80
9. 27. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği 81
9. 28. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği..... 82
9. 29. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 83
9. 30. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği..... 84
9. 31. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 85
9. 32. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği.. 86
9. 33. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD -Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 87
9. 34. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 87
9. 35. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği..... 88
9. 36. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 89
9. 37. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 89
9. 38. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 90
9. 39. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 91
9. 40. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği..... 92
9. 41. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 92
9. 42. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği.... 93
9. 43. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD -Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği 94
9. 44. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 95
9. 45. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği 96
9. 46. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 96
9. 47. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği .. 97
9. 48. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 98
9. 49. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 98
9. 50. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği 99
9. 51. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 100
9. 52. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 100
9. 53. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 101
9. 54. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 102
9. 55. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği 102
9. 56. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 103
9. 57. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği... 104
9. 58. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği..... 104
9. 59. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 105
9. 60. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği... 106
9. 61. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 106
9. 62. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisiGrafiği 107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

9. 63. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 108
9. 64. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 109
9. 65. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 110
9. 66. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 110
9. 67. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 111
9. 68. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 112
9. 69. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 112
9. 70. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 113
9. 71. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 114
9. 72. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği 114
9. 73. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği..... 115
9. 74. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Deplasman Grafiği 116
9. 75. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Deplasman Grafiği..... 117
9. 76. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Deplasman Grafiği..... 118
9. 77. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eksenel Kuvvet Grafiği 119
9. 78. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eksenel Kuvvet Grafiği 120
9. 79. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eksenel Kuvvet Grafiği 121
9. 80. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Kesme Kuvveti Grafiği 122
9. 81. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Kesme Kuvveti Grafiği..... 123
9. 82. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Kesme Kuvveti Grafiği..... 124
9. 83. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eğilme Momenti Grafiği 125
9. 84. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eğilme Momenti Grafiği 126
9. 85. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Eğilme Momenti Grafiği 127
9. 86. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA-Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 128
9. 87. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 129
9. 88. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 130
9. 89. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 131
9. 90. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi..... 132
9. 91. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi..... 133
9. 92. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 134
9. 93. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 135
9. 94. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 136
9. 95. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 137
9. 96. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi..... 138
9. 97. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi.. 139
9. 98. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 140
9. 99. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 141
9. 100. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi 142

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

4. 1. TBDY 2018'e göre Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı 14
4. 2. TBDY 2018'e göre Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları 15
4. 3. Kohezyonlu Zemin ve Organik Zeminlerin Hesap Değerleri 19
4. 4. Değişik Zemin Türlerinde α* faktörünün olası değerleri 19
4. 5. SPT-N, PI ve Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi 20
4. 6. Ip, Drenajsız Kayma Mukavemeti ve Drenajsız Elastisite Modül İlişkisi 21
4. 7. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler 25
4. 8. Temel ve Kazık Malzeme Özellikleri 25
5. 1. $(Vs)_{30}$ değerleri 27
5. 2. Yerel Zemin Sınıfları 27
5. 3. Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları 28
5. 4. 1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları 29
5. 5. Deprem Tasarım Sınıfları 31
5. 6. Tasarım Deprem Özellikleri 32
5. 7. Türkiye'de son zamanlarda yaşanan depremlere dair PGA verileri 36
5. 8. Çalışmada kullanılan parametrelere ait özet bilgi 39
6. 1. Seçilen Deprem Kayıtları 42
6. 2. Deprem Kayıtları Parametre Değerleri 43
7. 1. Hardening Soil malzeme parametreleri 52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
c	Kohezyon
E_{50}	Üç eksenli yükleme sertlik modülü
E_{ur}	Üç eksenli yüklemesiz sertlik modülü
E_{oed}	Odometre yükleme sertlik modülü
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
M_w	Magnitüt
G	Kayma modülü
τ	Kayma gerilmesi
σ'_0	Efektif ortalama normal gerilme
G_t	Tanjant kayma modülü
G_s	Sekant kayma modülü
f_{max}	Maksimum frekans
V_s	Kayma dalgası hızı
D	Sönüm oranı
K_0	Normal konsolide
γ	Hacim ağırlık
γ_s	Kuru hacim ağırlık
φ	Kayma mukavemet açısı
S_a	Spektral ivme
cm	Santimetre
mm	Milimetre
°	Derece
m	Metre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
N	Normal kuvvet
T	Kesme kuvveti
A	Alan
V	Hacim
%	Yüzde
Dk	Dakika
Sn	Saniye
kPa	Kilo paskal
Kısaltmalar	**Açıklama**
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
IA	Arias intensity (Arias Yoğunluğu)
IH	Housner intensity (Housner yoğunluğu)
IC	Characteristic intensity (Karakteristik şiddet)
ASI	Acceleration spectrum intensity (ivme spektrumu şiddeti)
DD	Deprem düzeyi
VSI	Hız spektrumu şiddeti
PI	Plastisite indisi
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
PGA	Peak Ground Acceleration (En büyük yer ivmesi)
PGV	Peak Ground Velocity (En büyük yer hızı)
PGD	Peak Ground Displacement (En Büyük Yer Değiştirme)
PEER	Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Şehirleşme, nüfus yoğunluğunun giderek artmasıyla artan ihtiyaçların imkân ve alanların azalması doğrultusunda verimliliğin yükselmesini ve enerji kullanımını düşürmeyi hedefleyen metropol tipi şehirleşmeye doğru evrilmeye başlamıştır. Bu kapsamda insanların yaşamını sürdürdüğü ulaşım, barınma, çalışma ve sosyal aktivitelere göre yapıların sınırlı alanlarda verimlilik değerlerini göz önünde bulundurarak üretilmesi inşaat mühendisliğinin öncelikli görevidir.

Çok çeşitli yükler içeren üst yapı diye adlandırdığımız farklı amaçlara hizmet eden yapıların (konut, işyeri, baraj, köprü, demiryolu, otoyol, liman vb.) yüklerini zemine aktarması esnasında yapının altındaki zeminin gelen yükleri aşırı oturmalara imkan vermeden ve yenilmeden taşıyamaması ve kaya gibi yüksek dayanımlı rijit tabakaların derinde olması veya sığ temele karar verildiğinde zemin iyileştirmesinin daha pahalı olması durumunda kazıklı temeller ile üstyapıdan gelen yükler zemine ulaştırılır. Kazıklı temeller, yapı yüklerini zeminin derin katmanlarına taşıtmak maksadı ile imal edilen bir temeldir. Zeminin yüzeyine yakın katmanların yapı yüklerini, aşırı oturmalara imkân vermeden veya göçmeden taşıyabilecek bir yüzeysel temel oluşumuna elverişli olmadığı durumlarda derin temel kullanılır. Derin temelin kullanılmasında sadece zeminin taşıma gücünün yetersizliği değil aynı zamanda oturma koşullarının sağlanmaması da etkilidir.

Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer aldığından, depremlerle sıkça karşılaşabilen bir ülkedir. Bu nedenle, yapı tasarımı ve inşaatında deprem etkilerini minimize etmek için özel önlemler alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada yapı genel bilgileri, arazi topoğrafyası, üst yapı bilgileri, zemin formasyonları, arazi ve sondaj çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca Mimari Proje, Statik Proje, Zemin ve Temel Etüdü Veri Raporu, Geoteknik Rapor da detaylıca taranmıştır.

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların temellerinde farklı oturmalar, yapıların stabilitesini ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, son

yıllarda radye temeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Radye temel, yapı ağırlığını zemine daha homojen bir şekilde ileten ve böylece farklı oturmayı engelleyen bir temel sistemidir.

Kazıklı radye temel ise, radye temel üzerine kazık sisteminin eklenmesiyle oluşturulan bir temel çeşididir. Kazıklı radye temel, hem zemindeki taşıma kapasitesini arttırarak temel üzerindeki yükü daha homojen bir şekilde dağıtır hem de farklı oturmaları engelleyerek yapıya daha iyi bir stabilite sağlar. Bu nedenle, özellikle yumuşak zeminlerde ve farklı oturmaların yaşanabileceği alanlarda kazıklı radye temel tercih edilmektedir.

Düşey yüklü kazıklardan oluşan radye temelin sismik yer hareketleri karşısında nasıl sonuçlar verdiği bu çalışmada sayısal veriler ve grafiklerle tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Avcı (2008) tarafından yapılan çalışmada, sıvılaşan zeminlerde yapılan yüzen kazık gruplarına etkiyen dinamik yükler, statik yüklerin fizibilitesi açısından incelenmiştir. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan PLAXIS 2D yazılımı kullanılarak kazık grubunun dinamik etki altındaki deformasyonları belirlenmiştir. Belirlenen deformasyonlar geri hesap yapılarak, kazık grubuna aynı deformasyonları verecek eşdeğer statik yükler tespit edilmiştir. Avcı (2008) tarafından yapılan çalışma sonucunda, dinamik etkilerin dikkate alınmadığı durumlarda, kazık temel tasarımı için sıvılaşan zeminlerde dinamik kuvvetlerin statik yükler şeklinden uygulanabilirliği belirlenmiştir. Deprem şiddeti 6'dan düşük olan depremler için kazık temele gelen statik düşey yük yüzde yüz arttırılmış aynı şekilde deprem şiddeti 6 ile 8 arasında olan depremler için ise kazık temele gelen düşey statik yük yüzde iki yüz arttırılmış ve bu sayede statik yük cinsinden dinamik etki hesaplanmış olur.

Kayhan (2012) tarafından yapılan çalışmada, analiz için kullanılması gerekilen gerçek deprem ivme kayıtlarını seçmek ve ölçeklendirmek maksadıyla, sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılmış olup çözüm için algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma ile 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY'2007)'de belirtilen zemin sınıfları için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu bir şekilde seçilen deprem ivme kayıtları ve zaman tanım alanında ölçeklendirilen deprem ivme kayıtları ile kullanılarak ivme kayıtları meydana getirilmiştir. İlk olarak geleneksel yaklaşım uygulanarak zemin sınıfı, faya olan mesafesi ve depremin büyüklüğü dikkate alınarak PEER'dan alınan 199 deprem ivme kaydı kullanılarak ivme kayıtları grubu oluşturulmuştur. Deprem ivme kaydı setlerinin seçimi ve ölçeklendirmesi deprem ivme kayıtları grubundan yapılmıştır. Sonuçlar ele alındığında, gereken kısıtlar sağlandığında ivme kaydı setleri oluşturulabileceğini belirtmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda gerçek deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi için, armoni araştırması optimizasyon tekniğinin gerçek deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi maksadıyla kullanışlı bir çözüm yöntemi şeklinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Hasel (2013) tarafından yapılan çalışmada prefabrik konsol kolonlar üzerindeki etkileri incelenmek üzere 7 adet uzak ve yakın deprem kaydı PEER sitesinden elde edilmiştir. Program olarak SeismoMatch yazılım programı kullanılarak, iki grup için toplanan gerçek ivme kayıtlarından, elastik ivme spektrumları 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY'2007)'de verilen tasarım ivme spektrumuyla eşleşen üretilmiş kayıtlar elde edilmiştir. Bu sayede yakın-üretilmiş, yakın-gerçek, uzak-gerçek, uzak-üretilmiş olmak üzere toplamda 4 ivme kaydı grubu oluşturulmuştur. Bu seçilmiş olan ivme kayıtlarında literatürde tanımlanmış birbirinden farklı büyüklük boyutları hesaplanmış ve ardından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Önceki dönemlerde İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında 13 adet prefabrik kolon deneyi gerçekleştirilmiş olup bu sonuçlar çalışmada kullanılmıştır. Çalışma kapsamında farklı boyuna donatı oranına sahip 13 prefabrik kolonun ve kesitinin boyutları 40x40 cm, 35x35 cm, 30x30 cm olan deneylerde kullanılmak için yer değiştirme fonksiyonları temel alınarak doğrusal olmayan statik çözümlemesi bu çalışmada yapılmıştır. Bu çalışmada Seismostruct yazılım programı kullanılmıştır. Bu yazılım içerisinde bulunan farklı değişken için duyarlık analizi yapılmış olup, deneysel ve kuramsal sonuçların benzerliği incelenmiştir. Modelin kalibrasyonu için çalışmalar yapılmış ve tamamlandıktan sonra bu kolonların çalışmada kullanılan dört grup deprem altında Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Dinamik Analizleri yapılmıştır. Çalışmadaki bütün analizlerde yapılan deneylere uygun şekilde kesit kapasitesinin %5'i oranında olacak şekilde eksenel yük kullanılmış ve ikinci mertebedeki etkileri ele alınmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar incelenerek boyuna donatı oranları ve kesit boyutunun kolon performanslarına etkileri irdelenmiştir. İrdelenen kolonlarda, çelik ve beton için ilgili yönetmelikte tanımlanan malzeme katsayılarının çalışmada yer alıp almaması ele alınarak gerçekleşen dayanım fazlalıkları elde edilmiştir. Ek olarak, irdelenen kolonlarda kullanılmak için farklı yaklaşımlara bağlı yer değiştirme süneklikleri de incelenmiştir. Dayanım fazlalıkları ile gerçekleşen en küçük yer değiştirme süneklik değerleri çarpılarak farklı kolonlarda yatay yük azaltma katsayıları bulunmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan 4 grup deprem ivme kaydı için, her kolonda oluşan tepe dönmesi, tepe yatay yer değiştirmesi, göreli kat ötelemesi, taban momenti ve taban kesme kuvveti büyüklükleri çalışmadaki sonuç dosyalarından temizlenmiştir. Çalışmada hesaplanan bu büyüklükler, başlangıç rijitliklerine bağlı olarak belirlenmiş birinci moda ait titreşim periyotlarına dayalı olarak grafiklerle gösterilmiştir. Taban momenti ve taban kesme kuvvetinde boyutsuzlaştırmaya gidilmiştir. Çalışma kapsamında farklı prefabrik kolonlarda

gerçekleştirmiş olan analizlerin sonucunda yakın depremlerin uzak depremlere göre daha büyük deprem istemleri ürettiği belirlenmiştir. Yer hareketi hızıyla bu büyüklüğe dayalı büyüklük ölçütlerinin, benzer maksimum yer ivmesi (PGA)'lara ait depremlerden hangilerinin kolonlar için en büyük deprem istemleri yapabileceğini ayıklama durumunda kullanılabileceği gösterilmiştir.

Wulandari vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada PLAXIS 2D programını kullanarak, yumuşak zemin üzerine kazıklı radye temel modelleyerek bu temelin oturmasını analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, yumuşak zemin üzerine 41x41 m boyutlarında bir kazıklı radye temel modeli oluşturulmuştur. Bu temel, zeminin oturma davranışını analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Kazığın derinliği 13 m seçilmiştir. Çalışmada modellenen kazıklı radye temele 60 kN/m2'lik düzgün bir yayılı yük yüklenmiştir. Malzeme modülü olarak Mohr-Coulomb malzeme modeli seçilmiştir. Analizler sonucunda, radye temele kazık eklendiğinde oturmaların azaldığı ancak sonrasında ne kadar fazla kazık eklenirse eklensin oturmalar sabit eğilim göstermiştir. Çalışmanın sonucu olarak, önemli olanın optimum kazık sayısının belirlenmesi ve buna göre kazık sayısının seçilmesidir.

Tolun (2016) tarafından yapılan çalışmada kum zemine gömülü dinamik yük etkisi altındaki tekil bir kazığın davranışı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Analizler için, Plaxis 2D sonlu elemanlar bilgisayar yazılım programı kullanılmıştır. Ayrıca, Plaxis 2D dinamik analizin ürettiği verilerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla Deepsoil programı kullanılmıştır. Deepsoil ve Plaxis 2D programından ulaşılan sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Analizlerde, dinamik yükün genliği ve frekansının, kazık başlığının, zemin sıkılığının, kazık rijitliğinin ve sünekliğinin etkileri ayrıntılı şekilde irdelenmiştir. Kullanılan parametrelerde Plaxis 2D programında bulunan iki farklı zemin modeli kullanılmıştır. Analiz aşamasında dinamik yükler zemin tabanına etkiyen sinüzoidal bir yer hareketi şeklinde kullanılmıştır. İncelenen her bir parametrenin kazıkların davranışına ciddi bir rol oynadığı tespit edilmiş ve bulunan sayısal sonuçlar ayrıntılı biçimde aktarılmıştır.

Ulamış (2018) tarafından yapılan çalışmada birçok aktif fayın kesiştiği noktada bulunan Ankara ili ve çevresindeki ivme kayıtları derlenmiş olup, sismik şev duyarlılığında ve sıvılaşmada kullanılan Arias yoğunluğunun değişimi irdelenmiştir. Çalışma kapsamında depremlerin büyüklük değerleri 4'den büyük deprem ivme kayıtları irdelenerek, bilhassa Ankara ili şehrin merkezi ile yakın mesafesi olan 27 Aralık 2007'de gerçekleşen Bala depreminin ivme kayıtları incelenmiştir. Bala depreminin ana şoku Ankara'nın batısında, sonradan yerleşimin çoğaldığı eski olmayan binaların yer aldığı koordinatlarda etkili bir biçimde hissedilmiştir. Ek olarak Çankırı-Orta (2002) depremi, Çay (2002) ve Dinar (1995) depremleri, Düzce (12 Kasım 1999) depremi ve Eskişehir'de 2014 ve 2015 senelerinde kayıt altına alınmış olan iki deprem incelenmiş olup çalışmada kullanılmıştır. Depremlerin frekanslarının içeriği ve toplam süresinin önemli olarak alındığı Arias yoğunluğunun zamana bağlı değişimi kayıtlardan hesaplanarak enerji boşalım zamanları kuvvetli yer hareketi incelemelerinde belirlenmiştir. Zemin ve kaya için eşitlikler geliştirilmiş olup eşitliklerin farklı fay türleri için gerilme azaltma değerleri de kullanılarak, Ankara ili ve yakın çevresinde kullanılmak üzere dizayn Arias yoğunluğu tespit edilmiştir. Ankara il merkezine 50 ve 100 km uzaklıktaki mesafelerde olacak bir depremde en büyük Arias yoğunluğu 0,1 m/s ve 0,2 m/s bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde değerlerin sismik şev duyarlılığı ve sıvılaşma çalışmalarında kullanılmak istenildiğinde ayrıntılı çalışmaların yapılması öngörülmektedir.

Çakmak (2019) tarafından yapılan çalışmanın amacı deprem ivme kayıtlarına ait sismik talepler ile karakteristik parametreler arasındaki ilişkinin araştırılmasıdır. Bu çalışma ile 20, 16, 12, 8 ve 4 katlı 5 farklı üç boyutlu model ve 26 gerçek deprem ivme kaydı kullanılmış olup toplamda 130 adet zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Bu yapının çatı katında hesaplanan göreli kat ötelenme oranları ve deplasman talebi her bir deprem kaydı için hesaplanmış olup karakteristik parametrelerle ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda çalışma sonucunda göreli kat ötelenme oranı ve çatı katı deplasman talebi arasında yüksek bir korelasyona sahip olduğu, kat sayısı arttıkça mod etkilerinin yüksek olmasına bağlı olarak korelasyon değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Hesaplanmış olan sismik talepler ile en yüksek korelasyona sahip olan ivme kaydı parametreleri Maksimum Hız, Hız Spektrum Şiddeti ve Housner Yoğunluğu olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan ivmelere ait parametrelerle hesaplanmış olan talepler arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Doğrusal olmayan regresyon analiziyle

türetilmiş denklemle talepler arasında hesaplanmış olan korelasyonun değeri 0,86 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda türetilen denklemin Housner Yoğunluğu için elde edilen korelasyona oranla 0,77 anlamlı bir gelişimin olduğu gözlemlenmiştir.

Durucan ve Çakılcıoğlu, (2022) tarafından yapılan çalışmada çok fazla yer hareketi şiddet ölçütleri yapının davranışıyla depremin özellikleri arasındaki ilişki kurmasında etkinlikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın çerçevesinde yapıların orta periyot bölgesinde bulunmaları önem arz etmektedir. Çalışmanın değerlendirme aşamasında; yüksek modların davranış üzerindeki etkilerini ve hasara bağlı periyot uzamasını da öneme alan yer hareketi şiddet ölçütleri yer almıştır. Ek olarak, istenilmeyen plastik mekanizmaları çok aza indiren, düşeyde ve planda düzenli, üç boyutlu simetrik yapı modelleri çalışmada kullanılmıştır. Kurulan bu üç boyutlu yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapıldıktan sonra temin edilen çatı deplasmanı değerleri, yer hareketi şiddet ölçütleriyle bağdaştırılmıştır. Çıkarılan ilişkiler Spearman Katsayısı, Belirlilik Katsayısı ve Pearson Katsayısı gibi istatistiksel özellikler ile yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda hangi özelliklere sahip olan yer hareketi şiddet ölçütlerinin en etkili olarak hangi yapı türü için kullanılacağı hususunda açıklayıcı veriler ortaya koymuştur. Orta periyot bölgesindeki yapılar için enerji ve hız tabanlı yer hareketi şiddet ölçütleriyle beraber bugünkü şartnamelerinde çokça kullanılan, belirtilen bir periyot aralığında ölçeklendirilmiş spektral ivmeye dayanan yer hareketi şiddet ölçütlerinin de etkin olduğu belirlenmiştir.

Taştan ve Özgür (2023) tarafından yapılan çalışma ile temeli kazıklı temel olan betonarme bir yapı ile temelin zemini arasında olan etkileşimler irdelenmiştir. Zemin kazık yapı etkileşimi, alt sistem yaklaşımı olan "Yöntem I" ile hesaplamalara yansıtılmıştır. Bu yöntemle, üst yapı, temel ve kazıklardaki iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme talepleri elde edilmiştir. Sonuçları karşılaştırabilmek için aynı yapı, kazıklara tanımlanan yatay yatak katsayısı yaylarıyla tasarım spektrumu etkisinde analiz edilmiş; son olarak ise etkileşimsiz durumdaki sonuçlar için yine aynı yapı, zemine ankastre mesnetli şekilde modellenerek hesaplama yapılmıştır. Her üç yöntemin sonuçları karşılaştırılarak zemin-kazık-yapı etkileşimi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Külük (2023) tarafından yapılan çalışmada Kütahya Tavşanlı Kayı Göletinin non-lineer analizi, PLAXIS 2D programıyla gerçekleştirilmiş ve iki boyutlu dinamik analizleri

yapılmıştır. Analizlerde, 3 farklı kesit için toplamda 12 farklı deprem ivme kaydı kullanılmıştır. PLAXIS 2D programı kullanılarak yapılan modellemeler için DSI 3.Bölge Müdürlüğü'nden gerekli proje desteği alınmış ve gerçeğe en yakın modellemeler yapılmıştır. Bölgenin sismolojisi ve diri fay haritası göz önüne alınarak, deprem ivme kayıtları seçilirken doğrultu, normal ve ters atımlı faylardan eşit miktarda kayıt seçilmiştir. Seçilen ivme kayıtları, AFAD verilerinden elde edilen bölgenin maksimum yer ivmesi (PGA) değeriyle ölçeklendirilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde, su seviyelerinin ve baraj kesitlerinin sismik stabiliteye etkisini incelemek için 3 farklı kesit kullanılmıştır. Analiz sonuçları, barajın bulunduğu zeminin rijit olmasından kaynaklanan deformasyon değerlerinin makul seviyelerde olduğunu göstermektedir. Spektral ivme değerlerinin derinlik, kesit farklılığından oluşan gövde yüksekliği ve fay çeşidi gibi etkenler karşısında nasıl değiştiği çizilmiş olan özet grafiklerde görülmektedir.

Obrzud (2010) tarafından yapılan çalışmada örnek bir derin kazı destek sistemi farklı zemin modelleriyle analiz edilmiştir. Plaxis 2D yazılım programı kullanılarak Mohr Coulomb (MC), Hardening Soil (HS) ve Hardening Soil Small Strain (HSS) zemin modelleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada yapılan analiz sonucunda inklinometre ölçümleriyle modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Küçük yer değiştirmeleri öneme alan Hardening Soil Small Strain (HSS) modeli sonuçlarının inklinometre ölçümlerine göre daha yakın sonuçlar verdiği çalışma sonucunda gözlemlenmiştir.

3. KAZIKLI TEMELLER

Kazık temeller, ahşaptan, çelikten veya betondan üretilen yapı elemanlarıdır. Bu temeller, bina yükü gibi düşey yükler ile rüzgârlar, depremler gibi yanal yüklerin temel zeminine iletilmesinde kullanılır. Yapıların oturma ve taşıma gücü açısından sorunlu olduğu zeminlerde inşa edilmesi geoteknik mühendisliğinde önemini korumaktadır. Yapı yükünün az olması ve zayıf zemin tabakalarının çok derin olmaması durumunda zemin iyileştirme yöntemleri ile bu tür sorunlu zeminlerde çözüm yöntemleri üretilebilmektedir. Fakat zayıf zemin tabakalarının çok aşağıda olması ve yapı yükünün çok fazla olması halinde kazıklı temellerin uygulanması zorunlu hale gelir. Kazık temeller, üstyapı yüklerini kısmen veya tamamını zeminin yüzeyinden daha derinlerdeki sağlam katmanlara aktaran derin temel sistemleri olarak da tanımlanabilir. Esasen yapı yüklerini, zeminin derin katmanlarına taşıtmak maksadıyla kullanılan bir temel türüdür.

Kazıkların ve kazıklı temellerin kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İsviçre'de neolitik döneme ait canlıların, 12000 sene önce sığ göl tabanlarında ahşap kazıklar çakılarak bu kazıkların üzerine barınma için yapı inşa ettiği bilinir. Büyük İskender'de M.Ö. 332 yılında Tyre şehrinde kazıklar kullanmıştır. Roma İmparatorluğu da geniş çaplı kazıklar kullanmıştır. Çin'de Hun İmparatorluğunun (M.Ö. 200- M.S. 200) tarihlerinde köprü ustaları da kazık kullanmıştır. Eski inşaat ustaları kazıkları elleriyle kaldırarak zemine düşüren ağırlık yardımıyla inşa etmişlerdir. Orta Çağ'da daha yüksek kütleleri kaldırarak çakmak amacıyla kaldıraç ve makara kullanılmıştır. 1890 öncelerinde kazıkların ana malzemesi ağaçlar olduğu için uzunluklarında ve kapasitelerinde engeller oluşuyordu. 1890'lara gelindiğinde donatılı beton ve çelik gelişmesiyle çok daha büyük ve güçlü kazıklar yapılmış ve kazık çakmak için makineler imal edilmiştir. Kazıklı temellerin bu kadar gelişmiş olmadığını düşünsek büyük yapıları da inşa etmemiz olanaksız olabilirdi. Şu an kazıklı temeller sayesinde uygunsuz bir ortamda bile çok yüksek yükler taşıyabilmektedir. Bu konunun en açıklayıcı örneği denize inşa edilen petrol platformlarıdır. Bu platformlar 3 metre kadar büyük çaplardadır, depremlere, rüzgârlara ve dalgalara etkili olmaları gereklidir.

3.1. Kazıkların Sınıflandırılması

Tüm kazık literatürü, kazıkların farklı yöntemlerle sınıflandırıldığını göstermektedir.

Kazıklar;

a) İmal edildikleri malzemeye göre ahşap kazık, betonarme kazık, çelik kazık, özel kazık, kompozit kazık ve kum kazık olarak 6'ya ayrılır.

b) Yapım şekline göre prefabrik ve yerinde dökme kazık (fore kazık) olarak 2'ye ayrılır.

c) İmalatı esnasında zeminde oluşan zorlama türüne göre küçük ve büyük deplasman kazıkları, deplasman oluşturmayan kazıklar ve kompozit kazıklar olarak 4'e ayrılır.

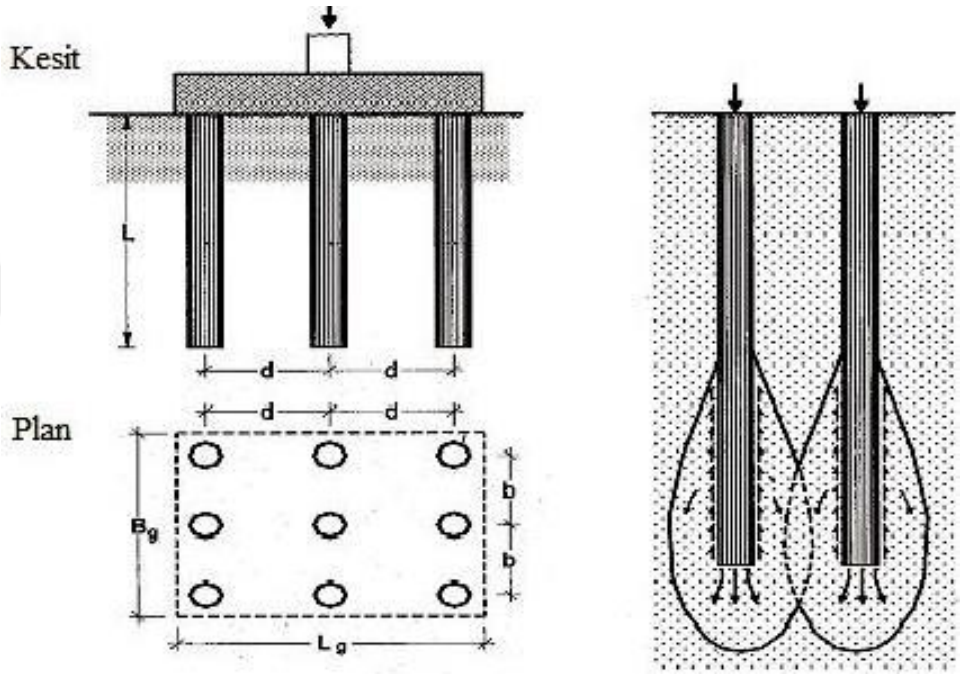
d) İmalata ve zeminin içerisine yerleştirme şekline göre hazırlanmış çakma kazık, yerinde dökülen çakma kazık, delinerek yerinde dökülen kazık, burgu ile yerine yerleştirilen kazık, su jeti kullanımı ile yerine yerleştirilen kazık, vibrasyonla yerleştirilen kazık olarak 6'ya ayrılır. (Şen, 2006)

e) Yüklerin taşınması ve iletilmesi şekline göre uç ve sürtünme kazığı olarak 2'ye ayrılır.

3.2. Grup Kazıklar

Temel altı kazıklar genellikle gruplar halinde tasarlanır ve kullanılır, çünkü yapısal yükü zemine aktarmak için etkili bir yöntemdir. Teoriler ve yapılan testlerin, bilhassa kil zeminlerde yapılan grup sürtünme kazıklarının toplam taşıma gücünün, tek bir kazığın taşıma gücünün toplam kazık adediyle çarpılmasıyla bulunan değerden düşük geldiğini gösterir. Taşıma gücünde azalmanın, kazıkların boyuyla, çapıyla ve aralığıyla ilişkili olarak değiştiği bir gerçektir. Grup Kazık etkisi ile uç kazıklarının ilişkisi farklılık gösterir uç kazıklarında grup kazıkların etkisi nedeniyle taşıma gücünde kayıp olmaz. Uç ve sürtünme kazığı olarak birlikte kullanılan kazıklarda, taşıma gücünün kaybı yalnızca sürtünme direnci göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü

üzere gerilme dağılımları kesişirse, taşıma gücü kaybı oluşur. En uygun yöntem, grup kazıklar için taşıma gücü kaybına sebep olmayacak biçimde aralıkları tespit etmektir. İki kazığın arasındaki minimum uzaklık uygulamalarda merkezden merkeze, granüler zeminde kazık çapının 2 katı, kohezyonlu zeminlerdeyse 3 katı olarak alınır. (Tomlinson, 1977; Brown, 2006).



Şekil 3. 1 Kazıkların grup etkisi (Das, 2007).

Grup kazıkların uygulanmasında, kazıkların her biri için çalışma yükünün azaltılması yerine kazık boyunun arttırılması, kazık kapasitesinin arttırması ve azaltma faktörünün uygulanması ile istenilmiş olan kazık kapasitesine ulaşılması genelde daha uygun maliyetli bir yöntem olarak öne çıkar. (Leonards, 1962; Das, 2004).

3.3. Dinamik Etki Altındaki Kazıklar

Kazıkların dinamik yüklere nazaran statik yükler etkisindeki tasarımıyla ilgili literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır, birçok uluslararası yönetmelikte de kazıkların tasarım esasları detaylı olarak ele alınmaktadır. Ancak kazıklar statik yüklerin altında yeterli dayanıma sahip olmalarına rağmen dinamik yüklerin etkisi nedeniyle hasar görebilmektedirler. Bu nedenle kazıkların dinamik yükler etkisindeki davranışının da doğru bir şekilde tasarımının yapılması gereklidir. İnşasında kazıklı temel kullanılan yapılarda, özellikle deprem yükleri altındaki davranışın belirlenerek tasarımının yapılması

güçtür. Depremler esnasında kazıkların etrafındaki zeminin yanal sarsıntısı nedeniyle kinematik etkilere ve üst yapı titreşimleri nedeniyle atalet etkileşimine uğramaktadırlar. Görülen bu etkiler deprem esnasında aynı anda olduğu için birbirinden bağımsız olarak incelenmesi zordur.

Erich Reissner'in (1936) çalışmaları dinamik yapı zemin etkileşiminde ilk analitik araştırma olarak bilinmektedir. Fakat asıl gelişmeler teknolojik araçların artması ve gelişmesi ile dünyada elektrik tüketimindeki artış, enerji talebinin karşılanması hususunda yaşanan sorun ve bu yaşanan problemin çözümünde Nükleer Enerji Santrali projelerine önem vermesi ile 1960-70'li senelerde görülmüştür. Kausel (2010), deprem etkisi altında yapılarda meydana gelen eylemsizlik kuvvetleri olan döndürme, eksenel ve taban kayma kuvvetlerinden meydana gelen zeminin deformasyonlarını bir başına çözüme yeterli bulunmayacağını (bu çözümle titreşen makine temelleri sorununun çözümünde yeterli olduğu ifade edilmelidir.), aynı sırada harekette olan deprem dalgalarından etkilenmiş bir temel, yatay deplasman hareketleri ile yüksek frekans muhtevasının filtrelenmesi ve dönme hareketlerinin meydana gelmesinin de öneme alınmasını ifade eder. Görülen bu sonuçlar, eylemsizlik etkileşimi ve kinematik etkileşim olarak temelin hesabında kolaylık olması nedeniyle birbirlerinden Whitman (1970) aracılığıyla ayrılmaktadır.

Yapı kazık zemin etkileşimine etki eden birçok faktör vardır. Şehir merkezinde yapılaşma artmış olup bu nedenle bodrum katların sayısında artış olmaktadır ve yapı temelleri yüzeyin altından en az 3 metre, arsaların birim m^2 ücret bedellerinin çok büyük olduğu alanlardaysa 20 ile 30 metre derinliklerde oturmaktadır. Yapı Zemin etkileşimine Gömme Derinliğinin etkisinin öğrenilmesi amacıyla, serbest alan hareketi (uff) ile temel kazısı yapıldıktan sonra temelin belli bir derinliğe oturduğu koşulda kinematik etkileşim sebebiyle oluşan temel girdi hareketi (uFIM) arasındaki transfer fonksiyonu farklı çalışmalarda edinilmeye çalışılmıştır.

Lu vd. (2003) tarafından yapılan çalışma ile kazıklı temeller üzerinde bulunan 12 katlı yapıda ANSYS yazılımını kullanılmış olup; yapının sertliği, gömme derinliği, zemin özellikleri ve dinamik özellikleri ile yapı-kazık-zemin etkileşimi üzerinde etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma ile birçok sonuca varmıştır bu sonuçların yanı sıra: a) Zemin kayma modülünün azalması ile binanın pik deplasman değerinde artış görülmüştür,

b) Kazıkların boyu çok uzun olduğu durumda ve sert katmana ulaştığında, yapının gömme derinliği etkisinde yapı-zemin-etkileşimi çok az görülmektedir sonucuna ulaşmıştır.

4. YÖNTEM

Çalışmada kullanılan yapı İstanbul ili Şile ilçesi Ağva Mahallesinde 100 kPa yüke sahip bir karakol hizmet binasıdır.

Bina kullanımının amacına bağlı olarak bina kullanım sınıfı (BKS) Çizelge 4.1'den yararlanılarak tanımlanmıştır. Karakol hizmet binası askeri kışlalar olarak kullanılacağı için 'BKS-1' olarak belirlenmiş olup, bina önem katsayısı da 'I=1.5' tır.

Çizelge 4. 1. TBDY 2018'e göre Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Bina yükseklik sınıfı H_N =7,80 m olduğu için Çizelge 4.2'den 'BYS=7' olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 2. TBDY 2018'e göre Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

4.1. Zemin Araştırmaları

4.1.1. Arazi Deneyleri

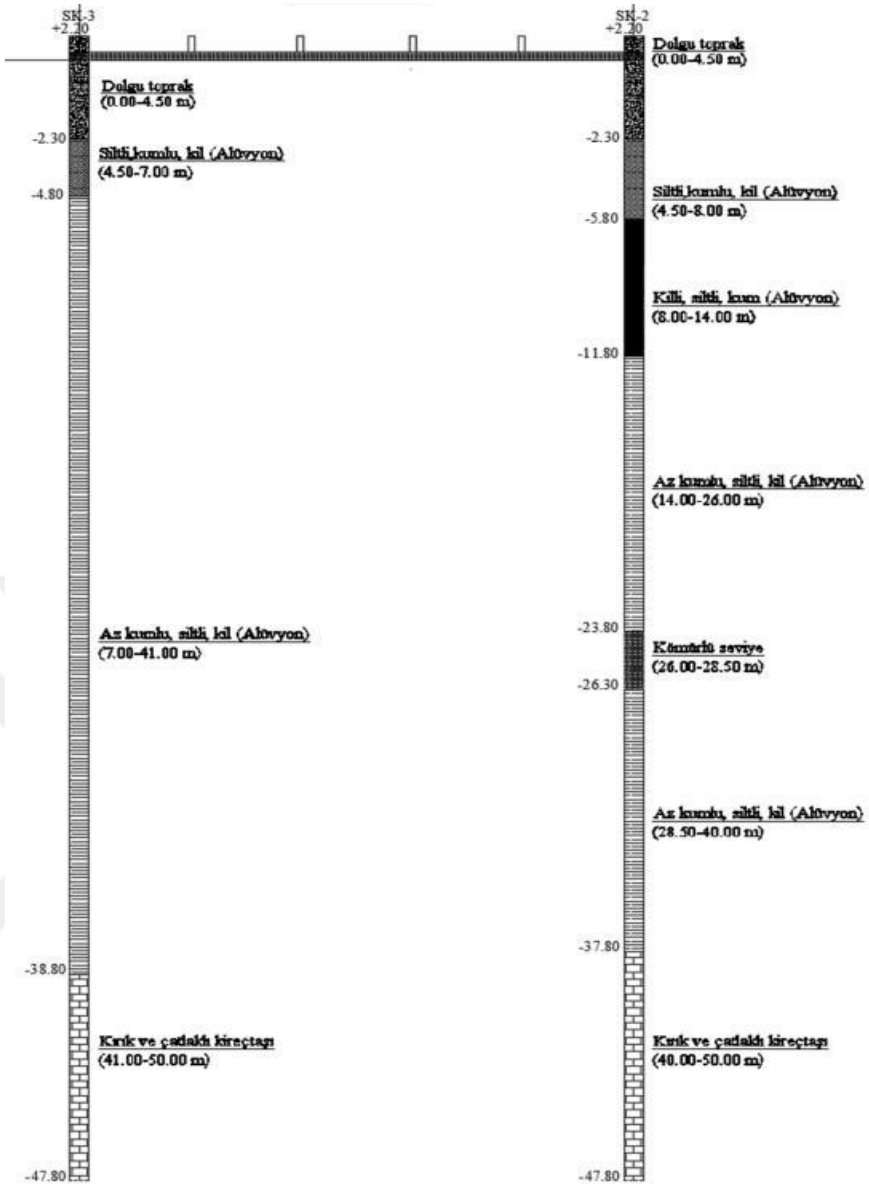
İnceleme alanında yapı temelinin oturduğu zemin birimlerinin ve bu birimlerin ait olduğu formasyonların tespiti amacıyla toplam boyu 150,00 m olan 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj sırasında zemine ait mukavemet parametrelerini değerlendirmek amacıyla standart penetrasyon testi yapılmıştır. İnceleme sahasında bulunan tabakaların dinamik elastik parametrelerinin belirlenebilmesi için 2 adet MASW, zemin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme değerlerinin belirlenebilmesi için 1 adet mikro tremor çalışması, ortamın jeolojik yapısını gösteren elektrik özdirenç değerlerinin belirlendiği 1 adet elektrik rezistivite tomografi çalışması gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Laboratuvar Deneyleri

- Zeminleri oluşturan danelerin dağılımını belirlemek için Elek Analizi/Hidrometre Deneyi yapılmıştır.
- Zemin indekslerini belirlemek için arazide karşılaşılan örselenmiş numuneler üzerinde Atterberg Limit Deneyi yapılmıştır.
- Zemin birimlerinin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerini belirlemek için örselenmiş numuneler üzerinde Üç Eksenli Basınç ve Direkt Kesme Deneyi yapılmıştır.
- Kaya birimlerin serbest basınç değerini belirlemek için Serbest Basınç Deneyi yapılmıştır.
- Kaya birimlerin nokta yükü dayanım indeksi değerini belirlemek için Nokta Yükleme Deneyi yapılmıştır.

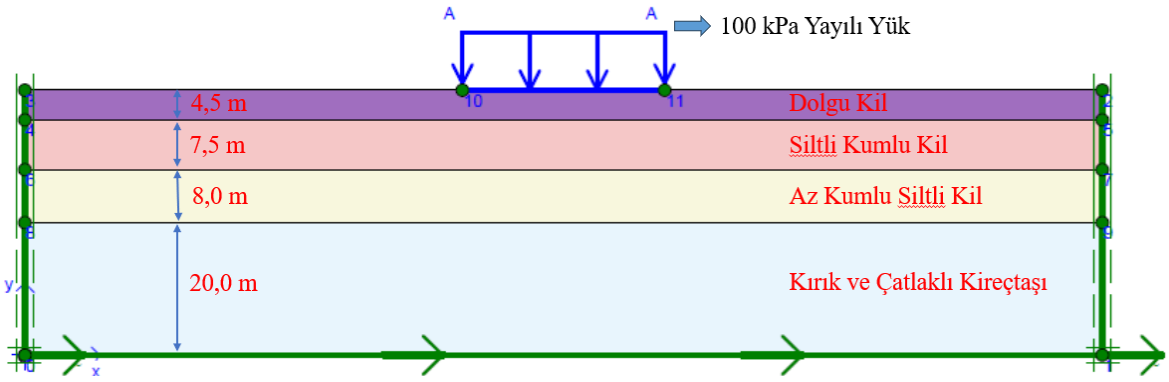
4.1.3. İdealize Zemin Profili ve Yeraltı Suyu Durumu

Zemin araştırmaları kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları, sismik veriler ve jeoloji bilgilerine istinaden düzenleme yapılmış ve sonucunda; 0 - 4,50 m arasında bloklu, çakıllı, siltli, killi (dolgu kil) birim, 4,50 – 12,00 m arasında siltli kumlu kil 12,0 – 20,0 m arasında az kumlu siltli kil ve 20,0 – 40,0 m arasında kırık ve çatlaklı kireçtaşı yer almaktadır. Sahadaki yeraltı suyu ölçümleri sonucunda yer altı suyu tespit edilmemiştir.



Şekil 4. 1. Sondaj Logu (Geoproje Mühendislik 2023)

Bu çalışma kapsamında Geoproje Mühendisliğin 2023 yılında hazırladığı zemin etüt raporundaki sondaj logu baz alınarak zemin katmanları oluşturulmuştur ancak sondaj logundaki katmanlarda düzenleme yapılarak yeni zemin modeli oluşturulmuştur. Katmanlar arası mesafede de sondaj logundan bağımsız olarak hareket edilmiştir. Düzenlenen zemin modelinde kum zemin göz ardı edilmiştir. Düzenlenen zemin modeli Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. İdealize Zemin Profili

4.2. Zemin Birimler İçin Mukavemet Parametreleri Hesabı

4.2.1. Dolgu kil

Dolgu kil birimler üzerinde deney yapılamadığı için güvenli tarafta kalınarak düşük kayma direnci parametreleri kullanılmıştır. Güvenli tarafta kalınarak elastisite modül değeri 10 MPa, efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') 26° , efektif kayma mukavemeti değeri (c') 1 kPa, drenajsız kayma mukavemeti değeri (c_u) 15 kPa olarak alınmıştır.

4.2.2. Siltli, kumlu kil

Siltli, kumlu kil birim için laboratuvar deneylerinde zemin sınıfı (saCIL, CIH, CIV), likit limit değeri LL=66.23%, SPT değerlerinin ortalaması SPT-N30:10,16 kıvamı ise katı olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3'den efektif içsel sürtünme açısı (ϕ′) 17,50° , olarak alınmıştır. Lunne vd. 1997 tarafından önerilen eşitlik ile Çizelge 4.4'den α* değeri 35 olarak kabul edilmiştir. Buna göre; c′=α*x tan ϕ' =35xtan (17,5) kayma mukavemeti değeri c′≈11kPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 3. Kohezyonlu Zemin ve Organik Zeminlerin Hesap Değerleri (TS 498)

Sıra No.	Zemin Türü	Sembolü	Kıvamı	Birim Hacim Ağırlık		Efektif Kayma Direnci Açısı	Kohezyon	
				Su Üstü kN/m^3	Batık kN/m^3	φ' Derece	c' kN/m^2	cu N/m^2
1	Yüksek Plastisiteli İnorganik kohezyonlu zeminler (w_L>%50)	CH MH	Yumuşak	18,0	8,0	17,5	0	50
			Katı	19,0	9,0	17,5	10	35
			Ortasert	20,0	10,0	17,5	25	75
2	Orta Plastisiteli İnorganik kohezyonlu zeminler (%50>w_L ≥ % 35)	CL ML	Yumuşak	19,0	9,0	22,5	0	5
			Katı	19,5	9,5	22,5	5	25
			Ortasert	20,5	10,5	22,5	10	60
3	Düşük Plastisiteli inorganik kohezylonlu zeminler (w_L<%35)	OL CL ML	Yumuşak	20,0	10,0	27,5	0	0
			Katı	20,5	10,5	27,5	2	15
			Ortasert	21,5	11,0	27,5	5	40
4	Organik kil, organik silt	OH OL	Yumuşak	14,0	4,0	15	0	10
			Katı	17,0	7,0	15	0	20

Yumuşak : 0,50 < K ≤ 0,75
Katı : 0,75 < K ≤ 1,00
Ortasert : K > 1,00

Bağıl kıvam değeri (K)=(w_L-w_n)/(w_L-w_p)
w_L = Akmada katılaşmaya geçme sınırındaki su muhtevası (Likit Limit)
w_n = Tabii su muhtevası
w_p = Katıdan orta sertliğe geçme sınırındaki su muhtevası (Plastik Limit)

Çizelge 4. 4. Değişik Zemin Türlerinde α* faktörünün olası değerleri (Lunne vd., 1997)

Zemin Cinsi	α^*	$\tan\phi'$
Yumuşak kil	5 – 10	0.35 – 0.45
Orta katı kil	10 – 20	0.40 – 0.55
Katı kil	20 – 50	0.50 – 0.60
Yumuşak silt	0 – 5	0.50 – 0.60
Orta katı silt	5 – 15	0.55 – 0.65
Katı silt	15 – 30	0.60 – 0.70

Siltli, kumlu, kil birimler için zemin etüt raporunda belirtilen laboratuvar deneylerine, arazi deneylerine dayanarak ampirik metotlar ile zemin parametreleri; Drenajlı elastisite modülü değerinin elde edilebilmesi için öncelikle drenajsız kayma mukavemeti hesap edilmiştir. Burada;

c_u = Drenajsız kayma mukavemeti değeri

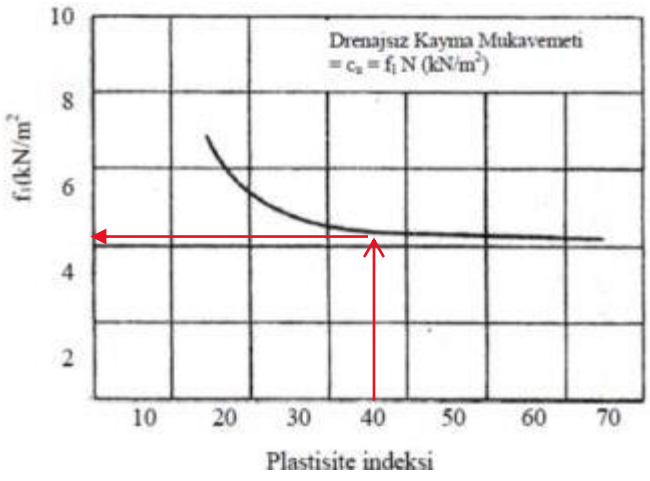
f_1 = Zeminin plastisite indisine bağlı katsayı

N = Standart penetrasyon değeri

Stroud'un önerdiği f_1 değerleri aşağıda Çizelge 4.5'te görülmektedir. Laboratuvar deney sonuçlarının ortalamasından plastisite indisi değeri (IP) 35.00% olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 5. SPT-N, PI ve Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi (Stroud,1974 ve Decourt, 1990)

Araştırmacılar	Zemin Cinsi	c_u (kPa)
Stroud (1974)	Killer $S_u=f_1N$, $f_1=f(I_p)$	$I_p > 30$ $\cong 4{,}2N$
		$20 < I_p < 30$ $4\sim5N$
		$I_p < 20$ $6\sim7N$
Decourt (1990)	Killer	$12{,}5N$
		$15N_{60}$



Şekil 4. 3. SPT-N Değeri ve Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi (Stroud, 1974)

Stroud bağıntısına göre;

$$c_u = f_1 \text{ x } N \qquad (4.1)$$

Denklem (4.1)'den drenajsız kayma mukavemeti değeri, 36,87 plastisite indisi değerine göre f_1 çarpanı yaklaşım yapılarak 4,2 seçilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri söz konusu birim için arazide yapılan SPT deney sonuçlarının aritmetik ortalamasından SPT-30 değeri 10,16 olarak bulunmuş olup, 10 ile, c_u=4,20x10=42 kPa olarak hesap edilmiştir.

Drenajsız kayma mukavemeti değeri güvenli tarafta kalınarak cu=40 kPa olarak alınmıştır. Zeminin drenajsız elastisite modülü (Eu) değeri killer için, plastisite indisi ve drenajsız kohezyon değerine bağlı olarak aşağıda verilen formüller ile hesaplanmaktadır.

Plastisite değeri 30'dan küçükse, $E_u = (500 - 1500) \text{ x } c_u$ (4.2)

Plastisite değeri 30'dan büyükse, $E_u = (100 - 500) \text{ x } c_u$ (4.3)

Çizelge 4. 6. Ip, Drenajsız Kayma Mukavemeti ve Drenajsız Elastisite Modül İlişkisi (Stroud, 1974)

Kil ve silt	I_p>30 veya organik	E_s=(100-500)s_u
Siltli veya kumlu kil	I_p<30 veya katı	E_s=(500-1500)s_u

c_u değeri 40 kPa;

E_u = 500 x 40= 20000 kPa

Analizlerde drenajlı parametreler kullanacağından ötürü drenajlı elastisite modülü (E'$_s$) aşağıdaki ampirik formül ile hesap edilmektedir.

$$Eu = \frac{3xEs}{2(1+v)} \qquad (4.4)$$

$$20000 = \frac{3xEs}{2(1+0{,}30)}$$

$$E'_s = 17333kPa \cong 17MPa$$

Elastisite modül değerleri güvenli tarafta kalınarak 15 MPa olarak alınmıştır.

4.2.3. Az Kumlu Siltli Kil

Siltli, kumlu, kil zemin için kullanılan eşitlik ve tablolar az kumlu siltli kil zeminin de kil olması sebebiyle aynı aşamalarla hesaplanır.

Tablo ve eşitliklerden:

c_u değeri 43 kPa;

E_u = 500 x 43= 21500 kPa

$$Eu = \frac{3xEs}{2(1+v)} \tag{4.5}$$

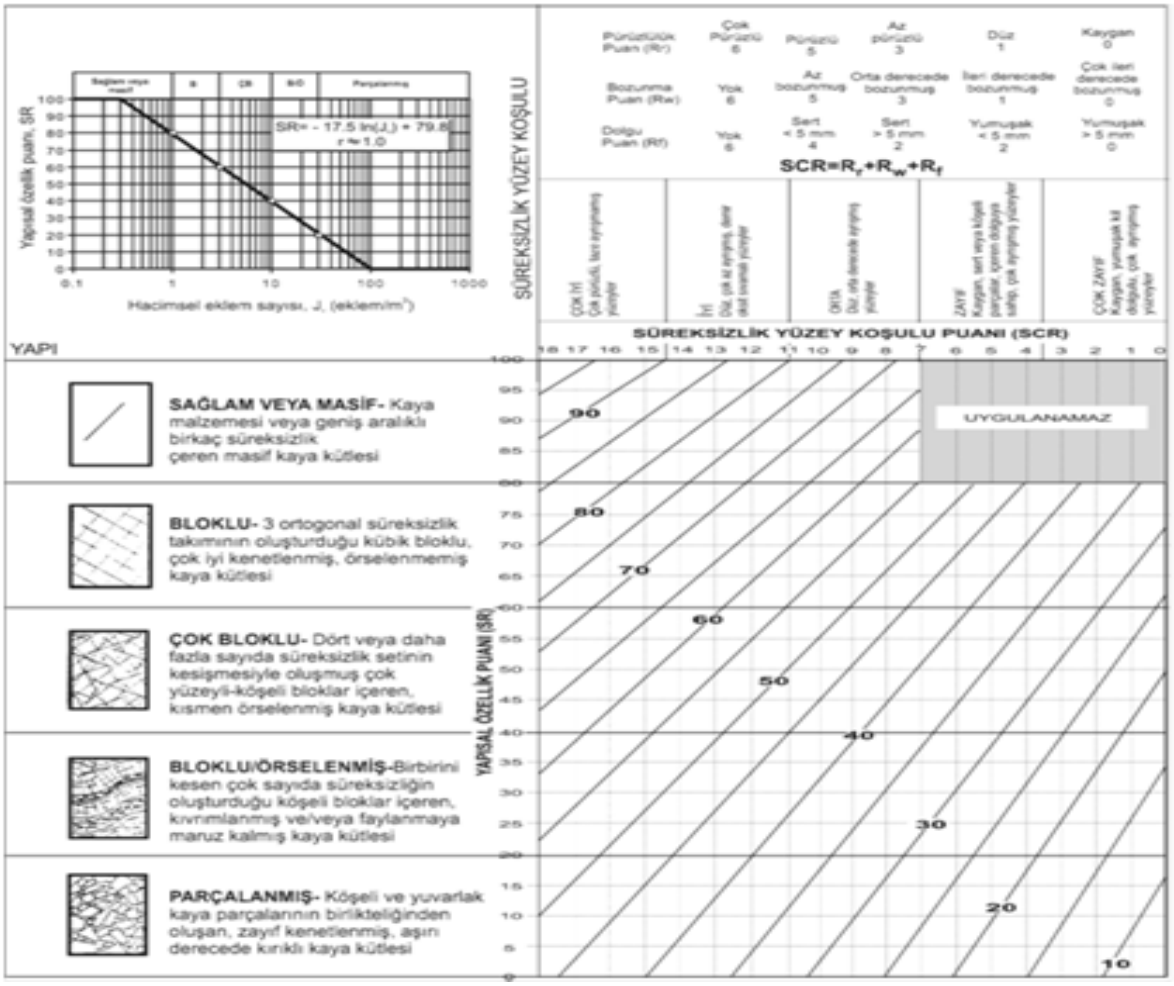
$$21500 = \frac{3xEs}{2(1+0{,}30)}$$

$$E'_s = 18333kPa \cong 18MPa$$

Elastisite modül değerleri güvenli tarafta kalınarak 15 MPa olarak alınmıştır.

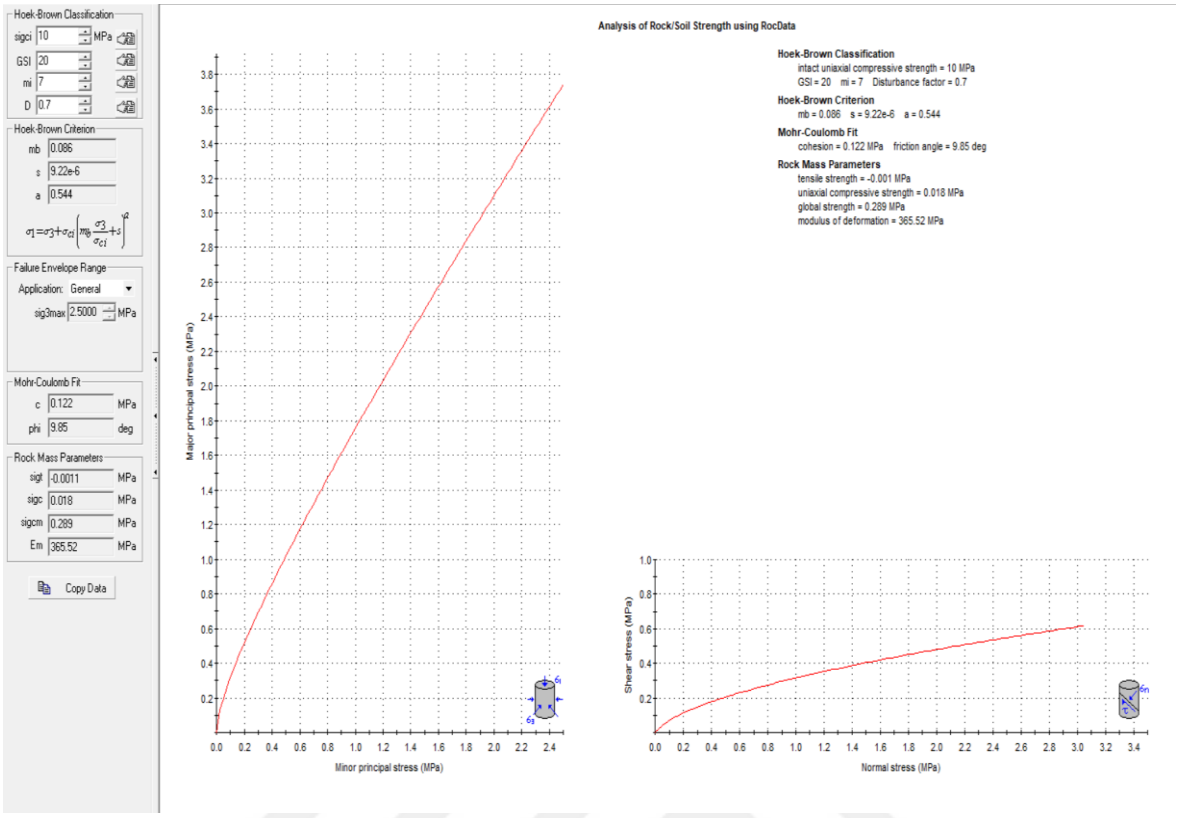
4.2.4. Kırık ve Çatlaklı Kireçtaşı

Kaya Birimler İçin Mukavemet Parametreleri Hesabı birimlerin kayma direnci parametrelerini belirlemek amacıyla Hoek-Brown (1998) dönüşümleri kullanılmıştır. Bunun için nokta yükleme deneyi sonuçlarından nokta yükü dayanım değerlerinin ortalaması (I_s50) 1,06 MPa olarak belirlenmiştir. Serbest basınç dayanımına geçebilmek için, Akram ve Bakar (2007) önerisi ile; q_c=11,076 x I_s50 =11,076 x 1,06= 11,74 MPa olarak bulunmuş olup güvenli tarafta kalınarak 10 MPa olarak alınmıştır. GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) değeri ise Şekil 4.2'de yer alan abaktan (Hoek-Brown,1998) 20 olarak yaklaşım yapılarak seçilmiştir.



Şekil 4. 4. Jeolojik Dayanım İndeksinin Belirlenmesi (Hoek-Brown,1998)

Bu değerler RocData yazılımına girilerek ve diğer ampirik parametreler ile birlikte yapılan değerlendirmeler sonucunda genel Mohr-Coulomb parametreleri güvenli tarafta kalınarak Şekil 4.3'de kayma mukavemeti değeri c=122 kPa, içsel sürtünme açısı $\phi=9^{o}$; elastisite modül değeri ise E=365 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 5. Rock-Data Verileri (Geoproje Mühendislik 2023)

4.3.Hesaplamalarda Kullanılacak Parametreler

Zemin birimler ve kaya birimler için mukavemet parametreleri hesaplanmıştır. Geoteknik hesaplamalarda kullanılmak üzere belirlenen parametreler Çizelge 4.7.'de belirtilmiştir. Kazıklar ve temel için parametreler ise Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler

Derinlik (m)		0-4,5	4,5- 12,0	12,0-20,0	20,0-40,0	Birim
Parametre	İsim	Dolgu Kil	Siltli Kumlu Kil	Az Kumlu Siltli Kil	Kırık ve Çatlaklı Kireçtaşı	
Malzeme Modeli	Model	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	-
Malzeme Davranışı	Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	-
Kuru birim hacim ağırlığı	γ_k	17	17	17	20	kN/m^3
Islak birim hacim ağırlığı	γ_d	18	18	18	20	kN/m^3
Yatay Geçirgenlik	k_x	0	0	0	0	m/gün
Dikey Geçirgenlik	k_y	0	0	0	0	m/gün
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{50}	10000	15000	15000	365000	kN/m^2
Ödometre yükleme rijitliği	E_{oed}	24810	37220	37220	365000	kN/m^2
Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği	E_{ur}	30000	45000	45000	1095000	kN/m^2
Rijitliğin gerilmeye bağlı değeri	m	0,5	0,5	0,5	0,5	kN/m^4
Kohezyon	c_{ref}	30	40	43	122	kN/m^2
İçsel Sürtünme Açısı	φ'	1	1	1	9	°
Dilatasyon Açısı	ψ	0	0	0	0	°
Azaltma faktörü	R_{inter}	rijit	rijit	rijit	rijit	-

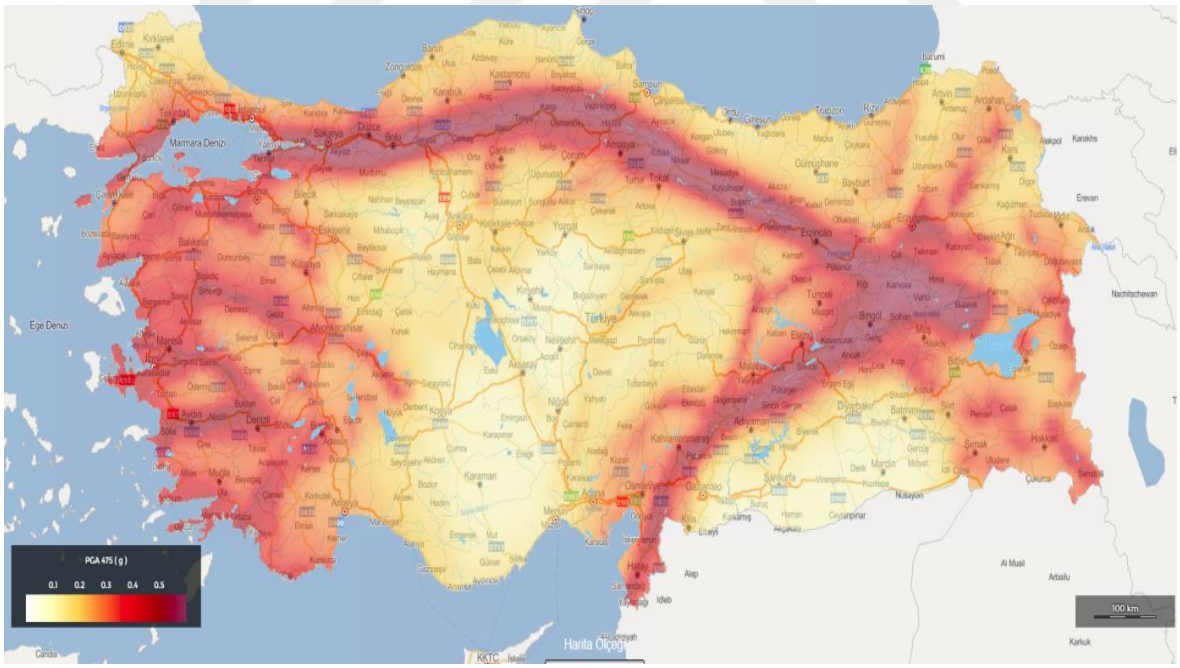
Çizelge 4. 8. Temel ve Kazık Malzeme Özellikleri

Parametre	Kısaltımı	Temel	Kazık	Birim
Malzeme Tipi	-	Elastik	Elastik	-
Normal Sertlik	EA	16000000	25600000	kN/m
Eğilme Dayanımı	EI	333333	1365333	$kN/m^2/m$
Eşdeğer Kalınlık	d	0.5	0.8	m
Ağırlık	w	24	24	kN/m/m
Poisson Oranı	v	0.1	0.1	-

5. DEPREMSELLİK

Dünyada yılda ortalama 500.000 deprem olmaktadır. Depremler oluşum şekillerine göre çöküntü, volkanik ve tektonik olarak 3'e ayrılır. Bu 3 depremden en tehlikeli ve yıkıcı olan tektonik deprem türüdür. Dünya üzerinde en yoğun deprem kuşakları olarak Pasifik, Alp-Himalaya ve Atlantik Bölgesi Deprem Kuşağı bulunmaktadır. Depremlerin %81'i Pasifik Deprem Kuşağında oluşmaktadır. Türkiye Afrika, Arap, Avrasya plakaları arasında ve Alp-Himalaya Deprem Kuşağında bulunmaktadır. Anadolu levhası, Türkiye'nin üzerinde bulunur ve Arap, Avrasya ve Afrika levhalarının hareket etkisi altındadır.

Anadolu ve Arap levhasını Doğu Anadolu Fayı (DAF) ayırmaktadır. Çalışma bölgesinin de yer aldığı Anadolu ile Avrasya levhalarını ayırmış olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) bulunmaktadır.



Şekil 5. 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)

Çalışmanın yapıldığı alan bölgenin önemli aktif fayı olan Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey tarafında bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizindeki

konumu ile alakalı çeşitli çalışmalar yapılmıştır fakat net yeri hakkında araştırıcıların değişik görüşleri olsa da bunları kesinleştiren yeterli veri yoktur.

5.1. Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi

Yerel zemin sınıfı deprem tasarım spektrumlarını belirlenmesi için kullanılan bir parametredir. Zemin profilinde yer alan temelin veya kazık başlığının alt kotu itibarıyla başlayarak aşağı doğru en üst 30 metre kalınlığında bulunan kısım için kayma dalgası hızına göre zemin sınıfı belirlenir.

Zemin ve temel etüdü veri raporunda hesaplanan $(V_s)_{30}$ değeri Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5. 1. $(V_s)_{30}$ değerleri

	$(V_s)_{30}$ (m/sn)
MASW-1	235
MASW-2	237

Çizelge 5. 2. Yerel Zemin Sınıfları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%\ 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25$ kPa$)$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Elde edilen üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı $(V_s)_{30}$ değerlerine bağlı olarak zemin sınıfının Çizelge 5.2'ye göre yerel zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir.

5.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyinin Belirlenmesi

Deprem yer hareketi düzeyi TBDY 2018 kapsamında standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 sene olan seyrek deprem yer hareketini niteleyen DD-2 olarak seçilmiştir.

5.3.Tasarım Spektral İvme Katsayılarının Belirlenmesi

AFAD'ın sitesinden alınan harita spektral ivme katsayılarına (S_S-S_1) göre enterpolasyon ile yerel zemin etki katsayıları (F_S-F_1) hesaplanmıştır. Bunlara bağlı olarak da TBDY'ye göre kısa periyot ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayıları hesaplanmıştır.

S_S = 0,626, S_1 = 0,180, PGA=0,264 g, PGV=15,903 cm/sn

S_S: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA: En büyük yer ivmesi [g]

PGV: En büyük yer hızı [cm/sn]

Çizelge 5. 3. Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve S_S =0,626 için F_S=1,299

$$S_{Ds} = S_s F_s = 0{,}626 \times 1{,}299 = 0{,}813 \quad (5.1)$$

S_{Ds}: Kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

Çizelge 5. 4. 1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve S_1 =0,180 için F_1=2,240

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0{,}180 \times 2{,}240 = 0{,}403 \quad (5.2)$$

S_{D1} : 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

5.3.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

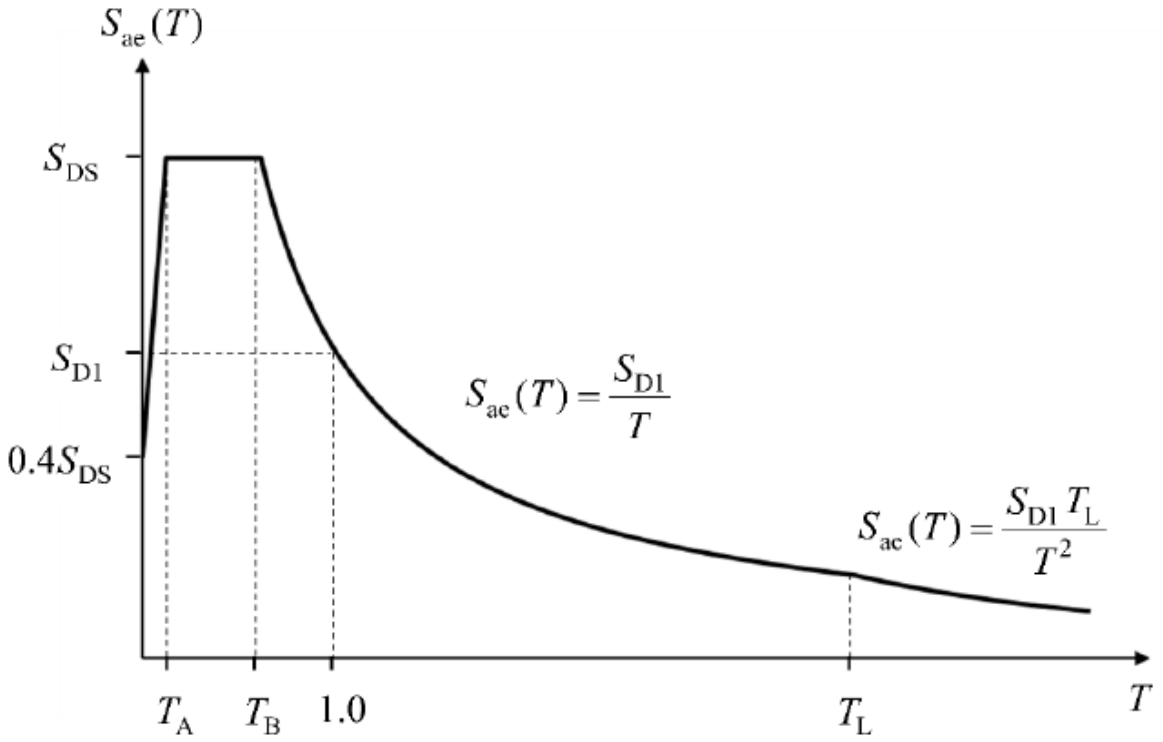
$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} && (0 \le T \le T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \le T \le T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \le T \le T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} && (T_L \le T) \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5.4)$$

Sabit yer değiştirme bölgesi geçiş periyodu olan T_L = 6 sn alınır. (TBDY 2018)

5.3 ve 5.4 numaralı denklemlere göre çalışmada kullanılacak sonuçlar;

T_A = 0,099 (sn), T_B = 0,496 (sn), T_L = 6,000 (sn) olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği

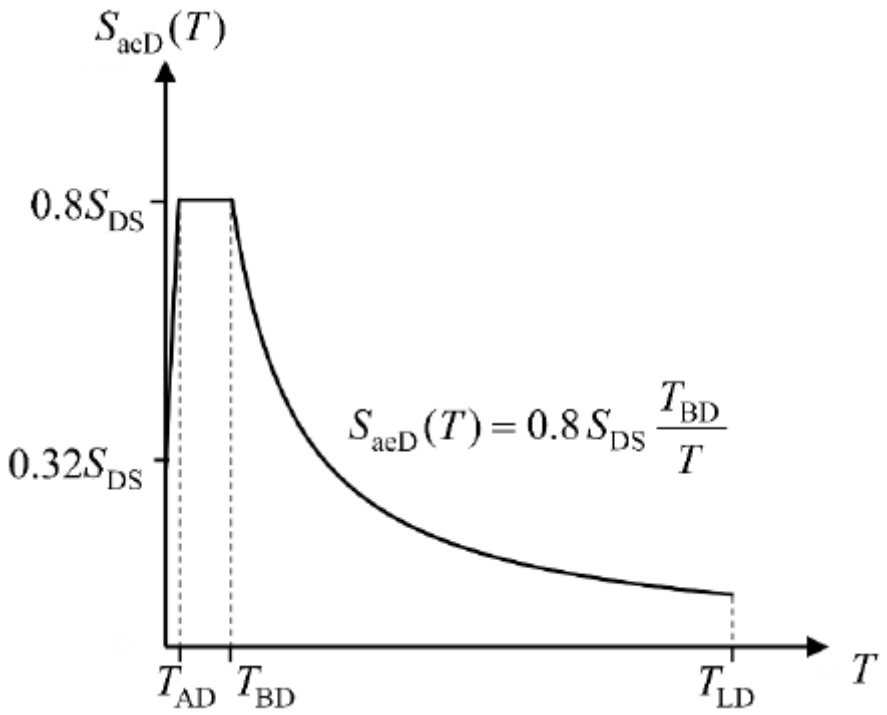
5.3.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

$$
\begin{aligned}
S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48\frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} && (0 \le T \le T_{AD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8\, S_{DS} && (T_{AD} \le T \le T_{BD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8\, S_{DS}\frac{T_{BD}}{T} && (T_{BD} \le T \le T_{LD})
\end{aligned}
\qquad (5.5)
$$

$$
T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \qquad (5.6)
$$

5.5 ve 5.6 numaralı denklemlere göre çalışmada kullanılacak sonuçlar;

T_{AD} = 0,033 (s), T_{BD} = 0,165 (s), T_{LD} = 3,000 (s) olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 3. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği

5.4.Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi

Bina kullanım sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Deprem yönetmeliği (2018) Madde 2.3.2.2'de tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) Çizelge 5.5.'ten DTS=1a olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 5. Deprem Tasarım Sınıfları (TBDY 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

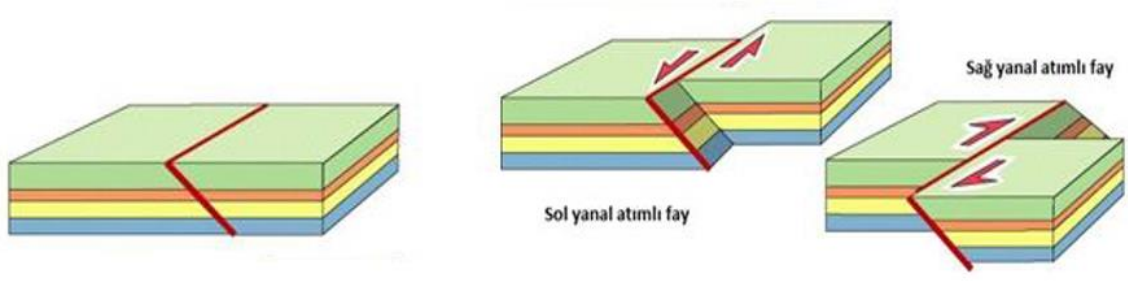
Çizelge 5. 6. Tasarım Deprem Özellikleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	
En Büyük Yer İvmesi (PGA)	0,264 g	
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=1	
Bina Önem Katsayısı	I=1,5	
Harita Spektral İvme Katsayısı	S_S=0,626	S_1=0,180
Yerel Zemin Etki Katsayıları	F_S=1,299	F_1=2,240
Tasarım Spektral İvme Katsayıları	S_{DS}=0,813	S_{D1}=0,403
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=7	
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1a	
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyotları (s)	T_A=0,099	T_B=0,496
Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyotları (s)	T_{AD}=0,033	T_{BD}=0,165

5.5. Faylanma

5.5.1. Doğrultu Atımlı Faylar

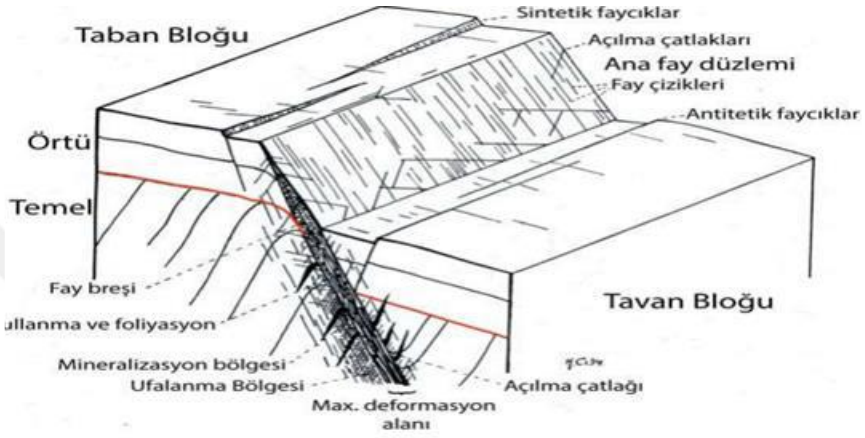
Doğrultu atımlı faylar, blokların birbirlerine doğru fay düzlemi boyunca yanal yönlü hareketi sonucunda oluşan faylardır. Doğrultu atımlı faylarda blokların birbirine göre genellikle yatay yönde sol ve sağ yönlere hareketlenirler. Doğrultu atımlı fay hareketinin yönü, duvara, yola, dereye vb. önceden ötelenmemiş olan doğrusal bir hat ile, faylanma sonrasında göreceli şekilde ne tarafa doğru ötelenmiş olduğunun belirlenmesiyle bulunur. İlave olarak gözlemci karşısında duran bloktaki nesne (duvar, yol vb.) fay hareketi sonrasında sağ yöne kaymış ise sağ yanal doğrultu atımlı fay, sol yöne kaymış ise sol yanal doğrultu atımlı fay şeklinde isimlendirilir. (Reid vd., 1913).



Şekil 5. 4. Doğrultu atımlı faylar (Foster, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır.)

5.5.2. Normal Atımlı Faylar

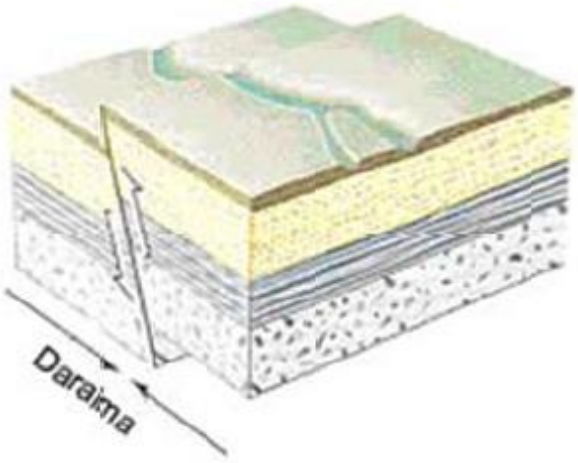
Normal Atımlı Faylar, gerilme olan bölgeler için eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlem altında kalan bloğa göre aşağı doğru hareketi sonucunda oluşur. Fay düzlemi altında kalan bloğa "Taban Bloğu", düzlem üzerinde kalan bloğa "Tavan Bloğu" denir. Bazı durumlarda, normal faylar düşürülen tavan blokları, çevrelerindeki taban bloklarına nispeten derin vadiler oluşturabilir (Reid vd., 1913).



Şekil 5. 5. Normal atımlı fay (Foster, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır.)

5.5.3. Ters Atımlı Faylar

Sıkışmalı bölgelerde meydana gelen ters faylar, eğik bir fay düzlemi üstünde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarı doğru hareket etmesiyle oluşur. Bu tür faylarda, fay düzleminin yataya yakın olması ve yukarı doğru hareket eden bloğun, diğer blok üzerinde uzun mesafeler katetmesiyle ortaya çıkan özel bir tür ters fay ise bindirme şeklinde isimlendirilir. Bu faylar, sıkışmalı bölgelerde oluştuğundan, her iki bloktaki tabakalar ilk şekillenmelerini kaybederek kıvrımlı yapılar oluşturur (Reid vd.., 1913).



Şekil 5. 6. Ters atımlı fay (Foster, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır.)

5.6.Odak Noktası (Hiposantr)

Deprem enerjisi yerin içinde ortaya çıkar ve bu noktaya odak noktası (hiposantr) veya iç merkez denir. Aslında, enerjinin ortaya çıktığı tek bir nokta değil bir alan vardır, ancak pratikte bu alan nokta şeklinde belirtilmektedir (Celep vd., 2004).

5.7.Dışmerkez (Episantr)

Dış merkez, odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki nokta şeklinde ifade edilir. Burası, aynı sırada deprem ile en çok hasar verilen veya en güçlü hissedilen noktadır. Ancak, bunu bir noktadan ziyade bir alan olarak ifade etmek daha doğrudur. Depremin dış merkezinin alanı, depremin şiddeti ile orantılı şekilde farklı büyüklüklerdedir. Bazı depremlerin odak noktası boyutları yüzlerce kilometreyi ölçülebilir (Celep vd., 2004).

5.8.Odak Derinliği

Deprem enerjisinin ortaya çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa mesafesi, depremin odak derinliği şeklinde tanımlanmaktadır. Depremler, odak derinliğine göre sınıflandırılabilirler ve bu sınıflandırma özellikle tektonik depremler için geçerli olmaktadır. Yerin 0 ile 60 km derinliğinde oluşan depremlere sığ depremler denir. Yerin 70 ile 300 km derinliğinde oluşan depremlere orta derinlikte depremler denir. Derin depremler ise yerin 300 km'den büyük derinliğinde meydana gelir. Orta ve derin depremler genellikle bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde görülür. Derin depremler geniş alanlarda hissedilebilir, ancak yaptıkları hasarlar genellikle az olur. Sığ

depremlerse küçük bir bölgede hissedilmesine rağmen, bu alan içinde büyük hasara yol açabilirler. (Celep vd., 2004).

5.9.Zemin Sınıfı

Deprem kayıtlarının alındığı zemin sınıfı dikkat edilmesi gereken parametrelerden biridir. Kayıtlar yerel zemin koşullarına göre spektral büyümenin farklı olabileceğini göstermiştir. Zemin tabakalarının bir deprem esnasında deprem özelliklerini nasıl değiştireceğiyle ilgili kullanılan en yaygın kullanım 30 metre içinde kalan eşdeğer kayma dalgası hızlarıdır. Eşdeğer kayma dalgası hızı zemin yüzünden itibaren 30 m içinde kalan zemin ve kaya tabakalarının kayma dalga hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanır. Deprem kayıtlarının alındığı yerin zemin sınıfı ölçekleme esnasında uygun bir şekilde dikkate alınmalıdır. Ancak, tek bir zemin sınıfından yeterli sayıda kayıt bulunmadığında, daha düşük veya daha yüksek zemin sınıflarından alınan kayıtlar da kullanılabilir (Bommer ve Acevedo, 2004).

5.10. PGA (Maksimum Yer İvmesi)

İngilizce açılımı “Peak Ground Acceleration” teriminin kısaltması olup Türkçede “En Büyük Yer İvmesi” olarak çevirdiğimiz değerdir. Bu değer deprem potansiyeli hakkında bize bilgi verir ancak tam anlamıyla net bilgiye sahip olamayız sonuçlarımızı yorumlamada güvenli bir değer olmayabilir. Çünkü bazı durumlarda PGA değeri çok küçük bir pik nokta ile görülebilir ancak büyük bir PGA değeri yapının davranışına etki olarak önemli belirleyicilik göstermeyebilir.

Genel olarak açıklayacak olursak bir depremin yeryüzünün belirli noktalarının sallantı etkisini gösteren değerdir. PGA birimi genellikle g kullanılır, yer çekim ivmesi 1g ve PGA verileri g değeri ise yer çekim ivmesi ile sallantının ne kadar olduğunu ifade eder. PGA değeri 0,4g olan bir deprem, yapıları yerçekiminin %40’ı kadar bir şiddetle sallantıya neden olmuştur. Depremin büyüklüğü etkili bir parametredir ancak depremin gösterdiği hasarı, etkiyi ve yıkıcılığı PGA değerleri ile anlaşılır.

PGA değeri ölçülen yerin jeolojik koşulları, depremin merkez üssüne uzaklığı gibi etkenlere göre farklılık gösterebilir. Bu kapsamda deprem büyüklüğünden ayrı olarak PGA

değerleri farklılık gösterir. 5,5 büyüklüğüne sahip deprem 1,5g şiddeti ile sallayabileceği gibi 7,5 büyüklüğüne sahip deprem 0,3g şiddetinde sallayabilir.

Çizelge 5. 7. Türkiye'de son zamanlarda yaşanan depremlere dair PGA verileri

Tarih	İsmi	Yer	Büyüklük (Mw)	PGA(g)
17 Ağustos 1999	Marmara Depremi	Kocaeli	7,6	0,42
17 Ağustos 1999	Marmara Depremi	Sakarya	7,6	0,36
17 Ağustos 1999	Marmara Depremi	Düzce	7,6	0,3
12 Kasım 1999	Düzce Depremi	Bolu	7,2	0,8
23 Ekim 2011	Van Depremi	Van	7,2	0,2
24 Ocak 2020	Elâzığ Depremi	Elâzığ	6,6	0,3
6 Şubat 2023	Kahramanmaraş Depremi	Kahramanmaraş	7,7	0,68

5.11. PGV (Maksimum Yer Hızı)

İngilizce açılımı "Peak Ground Velocity" teriminin kısaltması olup Türkçede "En Büyük Yer Hızı" olarak bilinen değerdir. PGV değerini depremlerin zemin özelliği moment büyüklüğü ve faya yakınlığı etkiler. Orta periyotlu yapılarda yer hareketi şiddet parametresi olarak kullanılmaktadır. Çünkü orta periyota sahip yapılar için oluşan hasarda PGA ve PGD değerlerine göre daha fazla etkinliği bulunmaktadır. PGV değeri PGA'ya kıyasla depremin şiddeti ve yıkıcılığı konusunda daha önemli yorumlar çıkartmaya yardımcı olur.

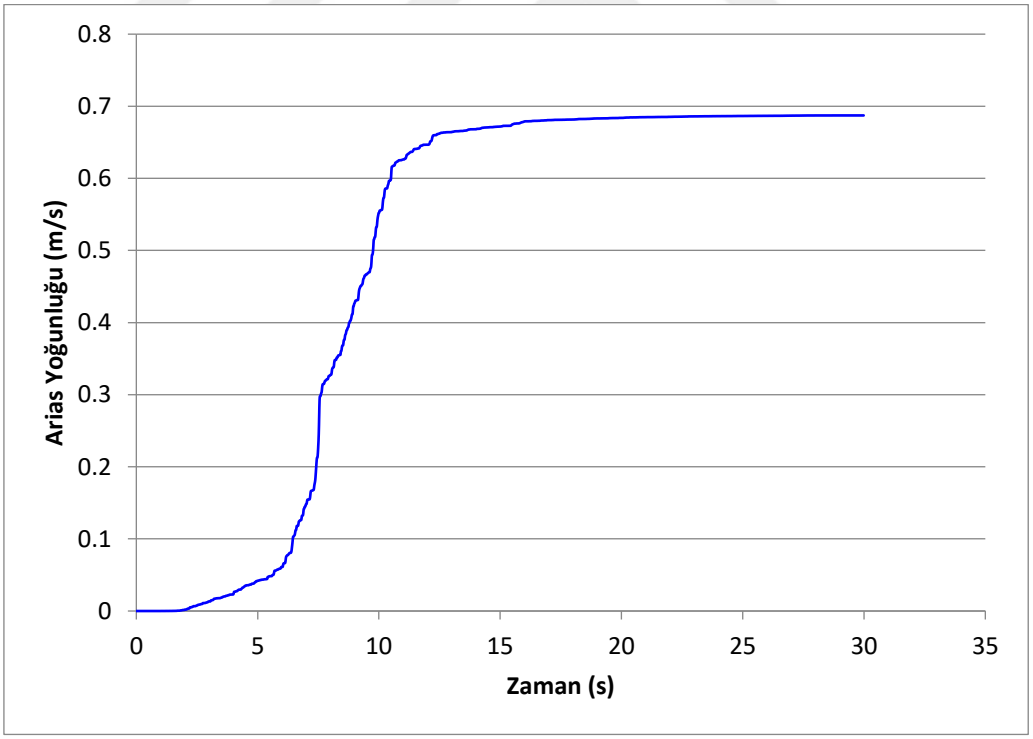
5.12. Arias Yoğunluğu

1970'de Arias aracılığıyla önerilen parametredir. Arias yoğunluğu, yer hareketiyle ivme zamanın integrali sonucunda çıkarılan bir değerdir. Elastoplastik sistemler için birim kütledeki toplam enerjinin dağılımını ele alarak, periyotlara uyum sağlayan bir şiddet parametresi olan Arias yoğunluğu Denklem (5.7)'de tanımlanmaktadır.

Depremler sonucu açığa çıkan enerji ölçüsü olan Arias yoğunluğu önem atfeden bir parametredir. AIC yöntemi, AI'yi hesaplayabilmek amacıyla yer hareketi verileri olan en yüksek yer ivmesini (PGA) ve en yüksek yer hızını (PGV) kullanılmaktadır. Yer hareketindeki verilerin maksimum genliği alınır ve bu veriler maksimum yer ivmesine (PGA) bölünerek hesaplamaya yapılır. Arias Yoğunluğunu sonraki aşamada PGA yüzdesi şeklinde tanımlanır. Arias Yoğunluğu, bir depremin şiddeti değerlendirilecekse ve farklı depremleri yoğunluk açısından karşılaştırmak gerektiğinde kullanılır (Arias, 1970).

$$I_h = I_{xx} + I_{yy} = \frac{\pi}{2g}\int_0^{t0} a^2{}_x(t)dt + \frac{\pi}{2g}\int_0^{t0} a^2{}_y(t)dt \qquad (5.7)$$

Ih Arias yoğunluğu, g yerçekim ivmesi, t arias yoğunluğunun ifade ettiği anlamlı süre (significant duration) tanımlamaktadır. Mammoth Lakes-01 deprem kaydı için elde edilmiş Arias yoğunluğu Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 7. Örnek olarak Mammoth Lakes-01 depreminin Arias yoğunluğu-Zaman ilişkisi

5.13. Housner Yoğunluğu

1952 yılında Housner tarafından önerilmiştir. Elastik sistemlerde depolanmış en büyük şekil değiştirme enerjisi Ee,max ve sözde hız spektrumuyla ilişkisi Denklem (5.8) ile gösterilmiştir.

$$E_{e,max}=mSv^2/2 \tag{5.8}$$

Denklem (5.8)'de ifade edildiği üzere sözde hız spektrumu sismik analizler için deprem hasarlarının şiddet ölçümünde kullanılır.

Housner yoğunluğu, sözde hız tepki spektrumunun 0,1 s ile 2,5 sn periyot arasındaki integrali almak koşuluyla denklem (5.9)'da belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$HI=\int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi=0{,}05\ ,\ t)dt \tag{5.9}$$

PSV (ξ=0,05 , t); t periyodunda ξ sönümlü sözde spektral hız değeridir. Sismik yer hareketinin yıkıcılık şiddeti ile gösterilen hasarın parametresi, bu kaydın hız karakteristiğiyle ilişkilidir. Ayrıca integrasyon işlemi için tanımlanan periyot aralığını yapıların çoğunluğunun 0,1 ve 2,5 sn aralığında doğal titreşim periyodunun olduğu için bu şekilde tanımlanmıştır. 0,1 ve 2,5 sn periyot aralığındaki psödo-hız tepki spektrumu altında kalan alan tanımlanmaktadır.

Denklem (5.8) ve Denklem (5.9)'de tanımlandığı üzere, Housner yoğunluğu ve Hız spektrum şiddeti birbirine benzerlik gösteren şiddet parametresidir. Bu parametreler arasında tek ayrım Housner yoğunluğunun sözde ivme spektrumundan, hız spektrum şiddetinin (VSI) ise gerçek kaydın hız spektrumu tarafından hesabının yapılmasıdır.

5.14. PGD (Maksimum Yer Değiştirme)

Sismik yer hareket sırasında, istasyondan alınan kaydın 3 bileşenli ölçülen ya da kaydedilen maksimum yer hareketi yer değiştirmesidir. PGD ivme zaman kaydının 2 kez integrasyonuyla bulunur. PGD değeri yüksek periyota sahip yapıları daha çok etkilemektedir. Bu sebeple düşük ve orta yüksekliğe sahip yapıların yerine izalatörlü,

yüksek kata sahip vb. yapılar için PGD değerini deprem şiddet parametresi olarak kullanmak daha doğru olacaktır.

Çizelge 5. 8. Çalışmada kullanılan parametrelere ait özet bilgi

Kısaltımı	Yer Hareketi Şiddet Ölçeği	Açıklama
PGA	Zemindeki en büyük ivme	İvme-zaman kaydından okunan en büyük ivme
PGV	Zemindeki en büyük hız	Hız-zaman kaydından okunan en büyük hız
AI	Arias yoğunluğu	$AI = \frac{\pi}{2g}\int_0^t [a(t)]^2 dt$
HI	Housner yoğunluğu	$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi=0{,}05, t)dt$
PGD	Zemindeki en büyük deplasman	Deplasman-zaman kaydından okunan en büyük deplasman

6. DEPREM KAYDI SEÇİMİ

Yerkabuğunun içinde olan kırılmalar nedeniyle aniden meydana gelen titreşimlerin dalga şeklinde yayılarak geçtiği katmanları ve yer yüzeyini sarsması depremi tanımlamaktadır. Her bir depremin birbirinden farklı yırtılma mekanizması, büyüklük, odak noktası, dışmerkez, zemin sınıfı ve odak derinliği gibi birtakım parametreleri bulunmaktadır.

Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı'nda gerçekleşen hesap yöntemlerini deprem analizinde ve yapı tasarımı için çok sık kullanılabilir hale getiren yapısal analiz ve hesaba bağlı hızlı gelişmedir. Deprem kayıtlarının elde edilmesi önemli bir sorun teşkil etmektedir. Deprem ivme kayıtları tasarım ivme spektrumuna uygun yapay kayıtlar, benzeştirilen kayıtlar ve deprem sırasında kaydedilen ivme kaydı olarak üç şekilde elde edilebilir. İstasyonların teknoloji ile gelişerek zenginleşmesi depremlerden alınan kayıtların daha kolay elde edilmesini sağlamıştır.

Yapıların deprem yükleri etkisinde hesabı genellikle "Eşdeğer Statik Deprem Yükü Yöntemi" ve "Mod Birleştirme Yöntemi" ile yapılır. Son zamanlarda yapısal analizlerde ve teknolojinin gelişmesiyle, Doğrusal Elastik ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı'ndaki hesaplama yöntemi yapıların tasarımı ve analizinde çok sık kullanılmaktadır. Bu hesap yönteminde analizlerin gerçekleştirilmesindeki önemli konu uyumlu sismik kayıtlar seçimi ve ölçeklenme işlemidir.

Belirlenmiş bir alandaki tasarım ivme spektrumuna uyumlu gerçek yer hareketi kaydının seçilmesi maksadıyla kullanılan ölçütler jeoloji ve sismolojiye uygun şartlar bulundurmalıdır. Bu kriterlerden bazıları deprem büyüklüğü, fay tipi, yırtılma yönü, çalışma alanı ile fay arasındaki mesafe, kaydın spektral içeriği ve yerel zemin koşullarıdır.

PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) veri tabanı ve AFAD TADAS (Türkiye İvme Veri tabanı ve Analiz Sistemi) uygulaması yapısal analizlerde önemli bir adım olan deprem kaydı seçimi için kullandığımız kaynaklardır. PEER veri tabanı, dünya

genelindeki çeşitli depremlerden elde edilen gerçek yer hareketi kayıtlarını içerirken AFAD TADAS uygulaması ise Türkiye ve KKTC'deki depremlerin gerçek yer hareketi kayıtlarını içerir.

PEER veri tabanı ve AFAD TADAS uygulaması belirli bir projenin gereksinimlerine uygun kayıtları seçmek ve analizlerde kullanmak amacıyla çeşitli filtreleme seçenekleri ile veri kayıtlarına daha kolay ulaşabilmemize imkân sunar.

Çalışma için kullanılan deprem ivme kayıtları PEER tarafından oluşturulan veri tabanı yardımıyla seçilmiştir. Deprem moment büyüklüğü (Mw), DD-2 deprem düzeyi için Mw=6,0-8,0 arasında, deprem merkezine en kısa uzaklık 0-22 km arasında, istasyonun kurulu olduğu zeminin ortalama kayma dalgası hızı "(Vs)30" 180 m/sn ve 360 m/sn arasında değişen 5 adet doğrultu atımlı, 5 adet normal atımlı ve 5 adet ters atımlı olmak üzere TBDY 2018 DD-2 spektrumu ile uyumlu toplam 15 adet deprem kaydı seçilmiştir.

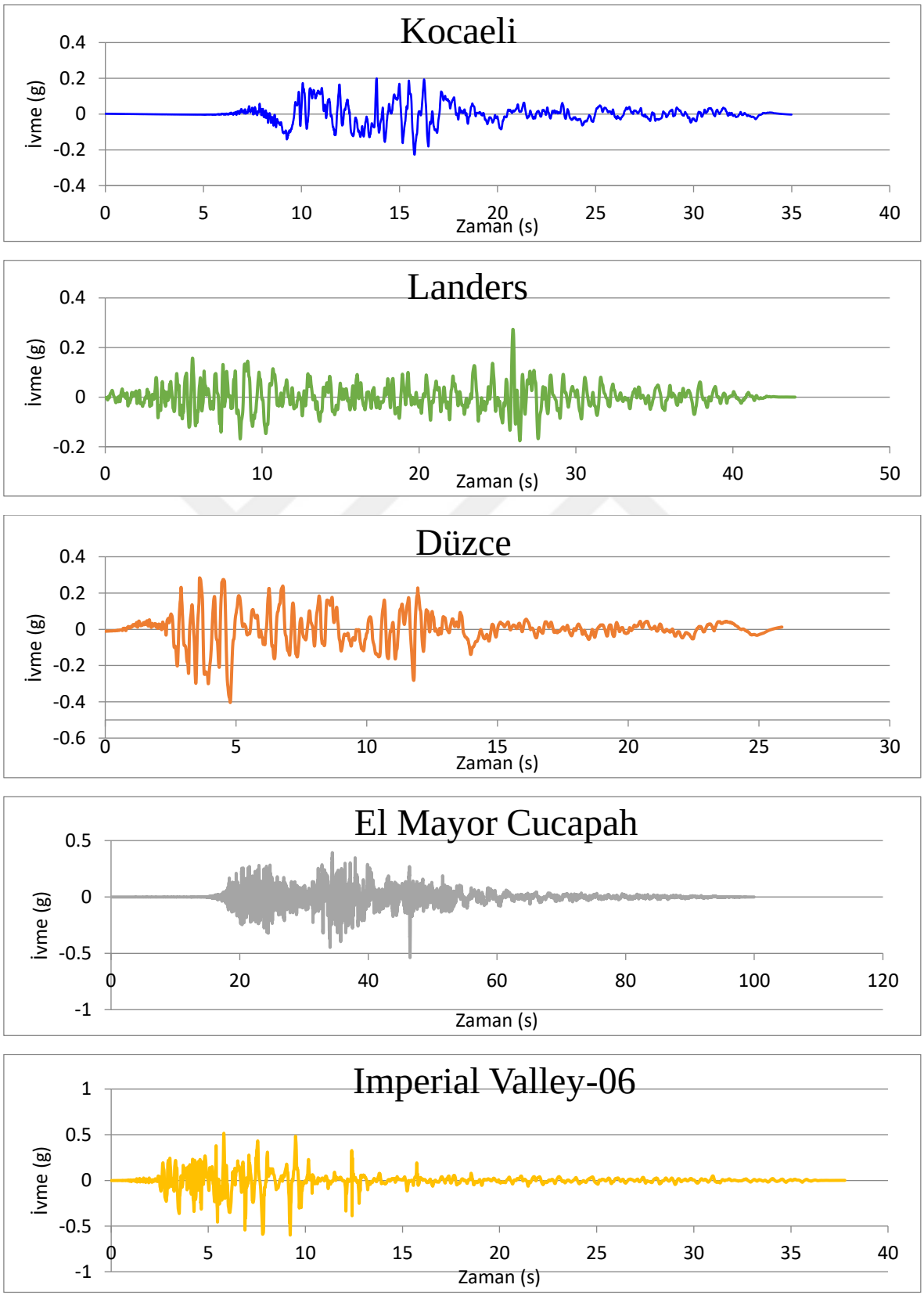
Çizelge 6. 1. Seçilen Deprem Kayıtları

Sıra No	Deprem İsmi	İstasyon	MW	Fay Mekanizması	Deprem Merkezine En Kısa Uzaklık(km)	$(V_s)_{30}$ (m/s)	Maksimum ivme(PGA)(g)
1	Imperial Valley-06	Bonds Corner	6,53	Doğrultu Atımlı	6,19	223,03	0,599
2	Kocaeli. Türkiye	Yarımca	7,51	Doğrultu Atımlı	19,3	297	0,227
3	Düzce, Türkiye	Düzce	7,14	Doğrultu Atımlı	1,61	281,86	0,404
4	Landers	Joshua Tree	7,28	Doğrultu Atımlı	13,67	379,32	0,272
5	El Mayor-Cucapah	Mıchoacan De Ocampo	7,2	Doğrultu Atımlı	18,82	242,05	0,538
6	Coalinga-01	Pleasant Valley P.P. - yard	6,36	Ters Atımlı	9,98	257,38	0,602
7	Loma Prieta	Capitola	6,93	Ters Atımlı	9,78	288,62	0,511
8	Northridge-01	Beverly Hills - 14145 Mulhol	6,69	Ters Atımlı	13,39	355,81	0,443
9	Montenegro, Yugo.	Ulcinj - Hotel Olimpic	7,1	Ters Atımlı	14,71	318,74	0,293
10	Christchurch, New Zealand	Christchurch Cathedral College	6,2	Ters Atımlı	5,75	198	0,384
11	Mammoth Lakes-01	Mammoth Lakes H. S.	6,06	Normal Atımlı	10,91	346,82	0,324
12	Corinth, Greece	Corinth	6,6	Normal Atımlı	19,92	361,4	0,296
13	Dinar, Türkiye	Dinar	6,4	Normal Atımlı	0,44	219,75	0,326
14	Umbria Marche, Italy	Castenuovo Assisi	6	Normal Atımlı	22,23	293	0,173
15	Umbria Marche, Italy	Colfiorito	6	Normal Atımlı	4,79	317	0,198

Çizelge 6. 2. Deprem Kayıtları Parametre Değerleri

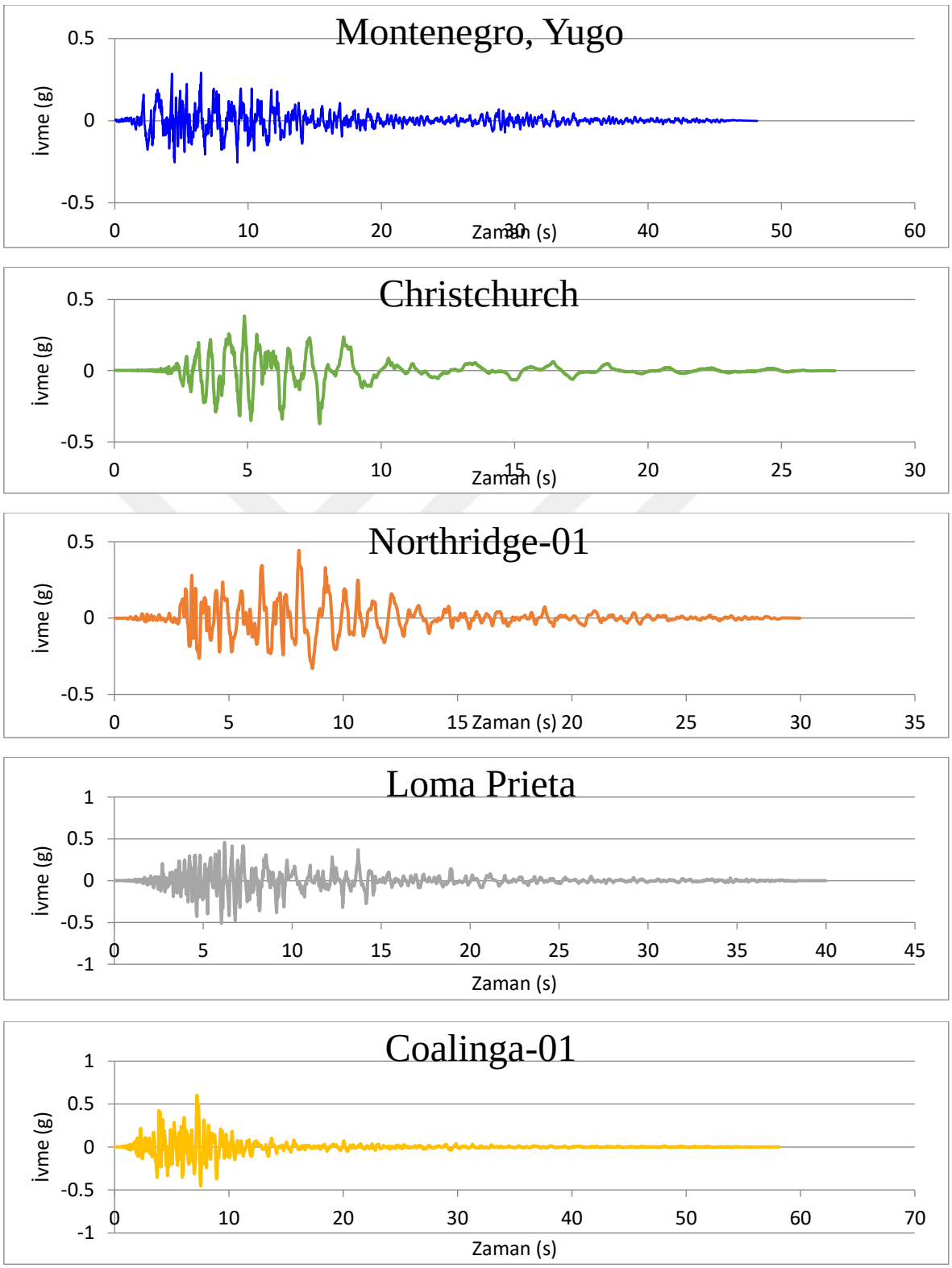
Deprem İsmi	İstasyon	Fay Mekanizması	Maksimum Yer İvmesi (PGA)(g)	Maksimum Yer Hızı (PGV) (cm/sn)	Maksimum Yer Değiştirme (PGD)(cm)	Arias Yoğunluğu (m/sn)	Housner Yoğunluğu (cm)
Kocaeli, Türkiye	Yarımca	Doğrultu	0,227	69,696	62,046	1,33	155,526
Landers	Joshua Tree	Doğrultu	0,272	26,2	8,57	1,643	127,6
Düzce, Türkiye	Düzce	Doğrultu	0,404	71,049	50,104	2,703	178,191
El Mayor-Cucapah	Mıchoacan De Ocampo	Doğrultu	0,538	61,549	34,614	6,096	217,884
Imperial Valley-06	Bonds Corner	Doğrultu	0,599	46,736	20,309	3,988	174,645
Montenegro, Yugo,	Ulcinj - Hotel Olimpic	Ters	0,293	43,776	17,432	1,831	159,077
Christchurch	Christchurch Cathedral College	Ters	0,384	54,507	17,973	2,39	247,073
Northridge-01	Beverly Hills - 14145 Mulhol	Ters	0,443	59,3	15,523	3,087	243,482
Loma Prieta	Capitola	Ters	0,511	38,037	7,158	4,406	192,052
Coalinga-01	Pleasant Valley P,P, - yard	Ters	0,602	60,499	22,204	4,127	199,082
Umbria Marche, Italy	Castenuovo Assisi	Normal	0,173	14,233	2,533	0,344	59,564
Umbria Marche, Italy	Colfiorito	Normal	0,198	17,96	3,436	0,472	74,779
Corinth, Greece	Corinth	Normal	0,296	23,819	5,653	0,851	96,272
Mammoth Lakes-01	Mammoth Lakes H, S,	Normal	0,324	16,313	2,07	0,687	36,83
Dinar, Türkiye	Dinar	Normal	0,326	45,311	10,923	2,031	209,78

Doğrultu atımlı fay depremleri;



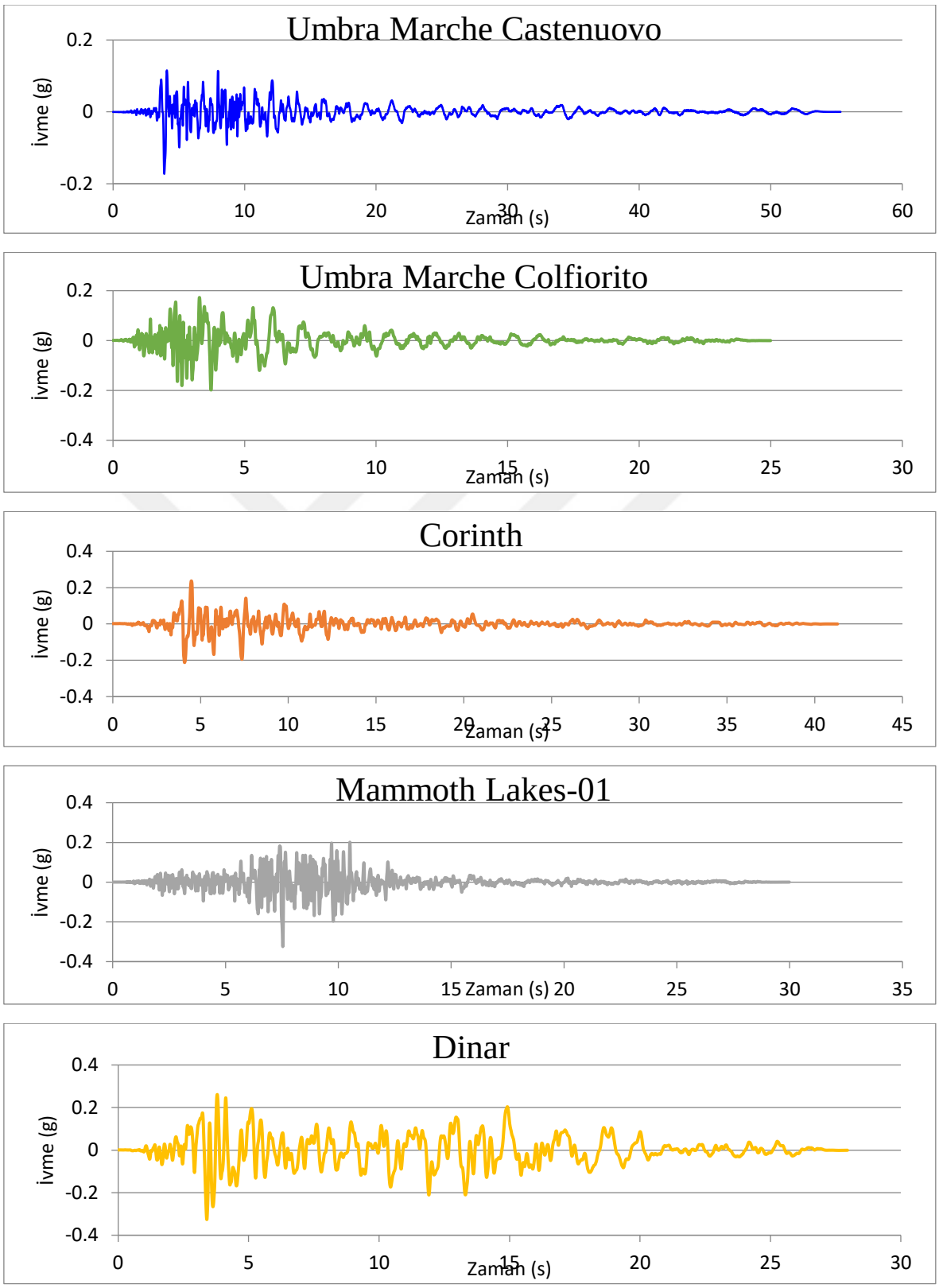
Şekil 6. 1. Doğrultu Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri

Ters Atımlı Fay Depremleri;

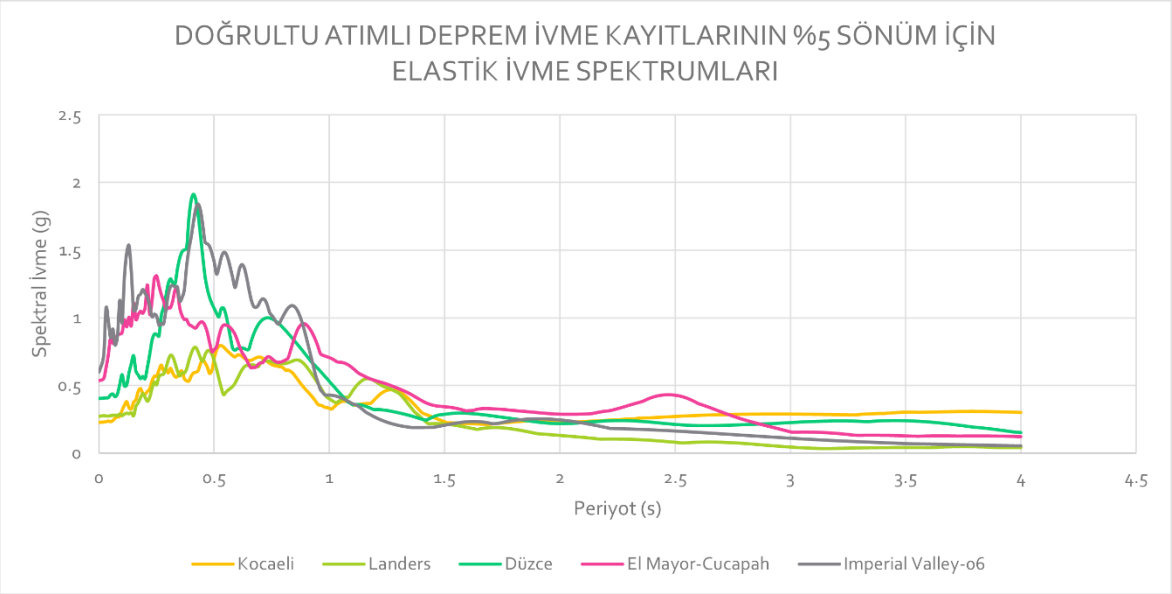


Şekil 6. 2. Ters Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri

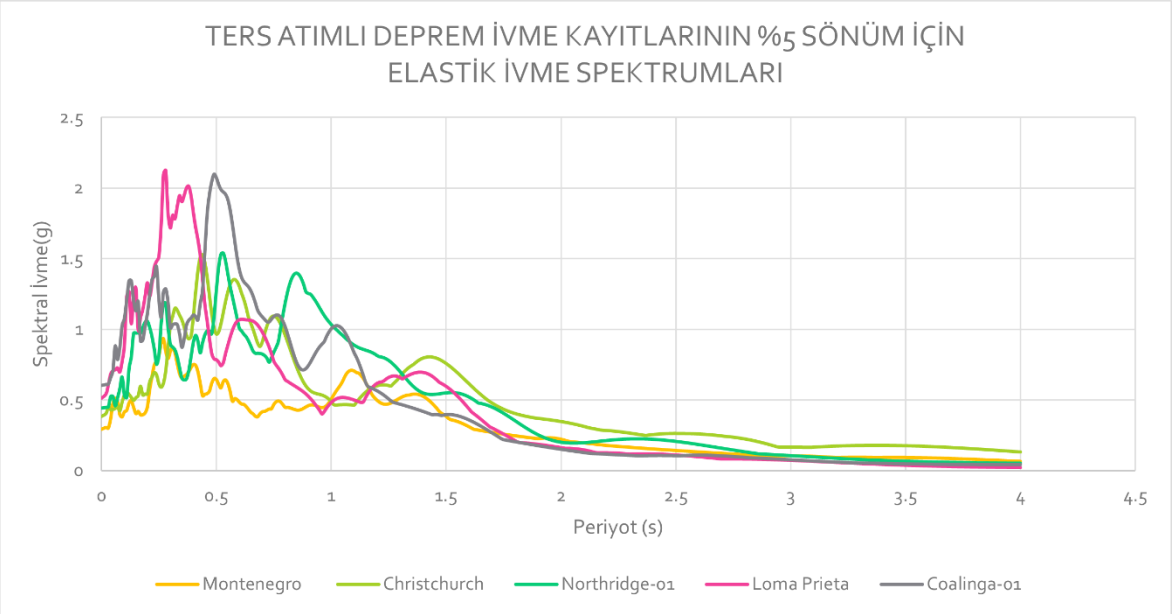
Normal Atımlı Fay Depremleri;



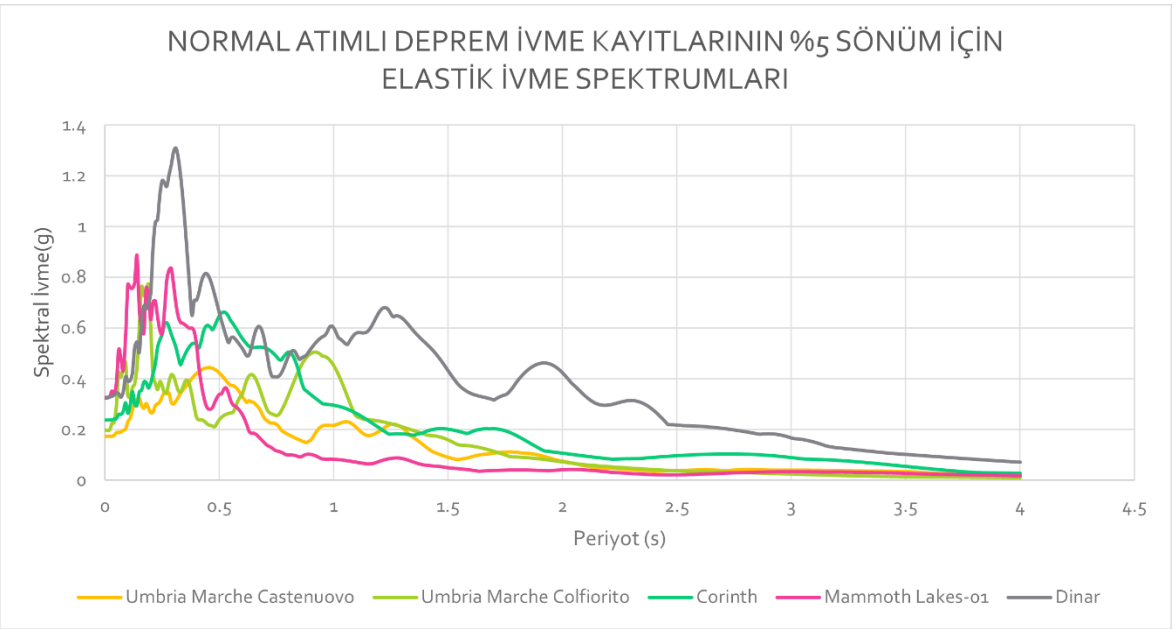
Şekil 6. 3. Normal Atımlı Fay Depremlerinin İvme-Zaman Grafikleri



Şekil 6. 4. Doğrultu atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri



Şekil 6. 5. Ters atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri



Şekil 6. 6. Normal atımlı deprem ivme kayıtları %5 sönümde elastik ivme spektrum eğrileri

7. PLAXİS 2D İLE MODELLEME YAPILMASI

Plaxis, Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki dolguların deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi maksadıyla 1987 yılında geliştirilen geoteknik alanında şu an çok sık kullanılan bir yazılımdır. Plaxis, birçok zemin problemlerinde çözüm için başvurulan bir yazılımdır. Plaxis 2D sistemi "mesh" ile adlandırılan elemanlara böler. Her elemanda 6 veya 15 düğüm noktası bulunur. Düğüm noktası sayısı, elde edilen çözümlerin doğru sonuca yaklaşımını ve sistemin çözüm hızını etkiler. 15 düğüme sahip elemanın çözümü ile 6 düğüme sahip elemanın çözümü kıyaslanırsa 15 düğümlü elemanın çözümü daha yavaş olur fakat doğru sonuca yaklaşılmış olur.

Plaxis 2D ile iki boyutlu grafiksel modellemeler yapılır. Plaxis 2D programına, zeminin katmanları, yapılacak inşaatlar, yapımın aşamaları, aktarılacak yükler girilip ve zeminin tabakaları için sınırlama durumu tanımlanır.

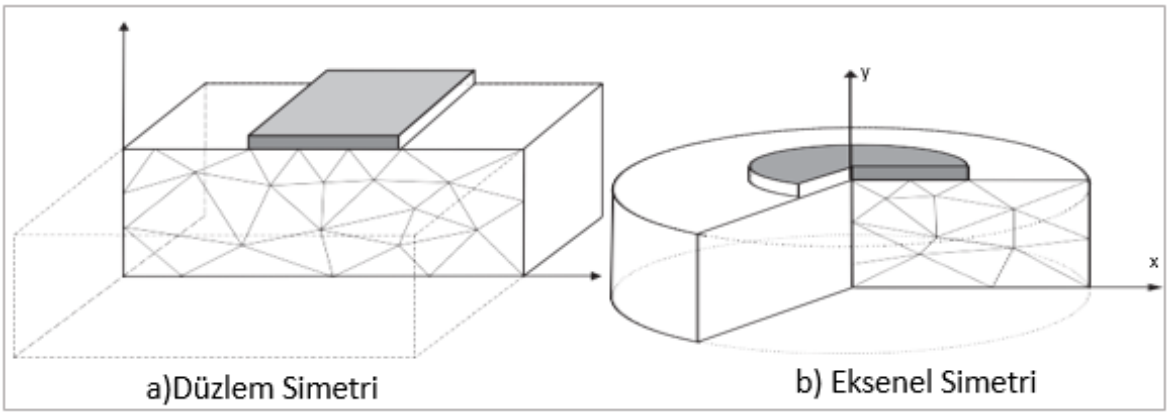
Sürekli bir ortam, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak birbirine bağlı sonlu elemanlara bölünür. Her bir eleman için denklemler oluşturulur ve bu denklemler entegre edilerek sistemin genel denklemleri bulunur. Sürekli bir ortamda başlangıçta dikkat edilen diferansiyel denklemler, lineer bir denklem takımı için çözülerek sonuçlar elde edilir.

Zeminlerin gerilme şekil değiştirme davranışlarının tespiti amacıyla sonlu elemanlar analizinde numerik malzeme modeli düzenlenmiştir. Numerik malzeme modellerinin gayesi zemin davranışları ve yapı zemin etkileşimini gösterecek şekilde yakın ortam oluşturmaktır.

7.1. Plaxis 2D Programı ile Geometrik Modelin Oluşturulması

Plaxis 2D programına ait özel bir grafik ortamı, program kullanıcılarına zeminin tabakaları, kazının aşamaları, yapılar, yük ve sınır şartları girilmesi için olanak sağlar. Özel grafik arayüzü yardımıyla model, gerçek pozisyon için daha uygun biçimde tamamlanmış olur. Plaxis programı iki adet modelleme için seçenek sunar. Düzlem şekil değişimi olarak

adlandırdığımız plane strain model ve eksenel simetrik olarak adlandırdığımız Axisymmetry modeli kullanılır.

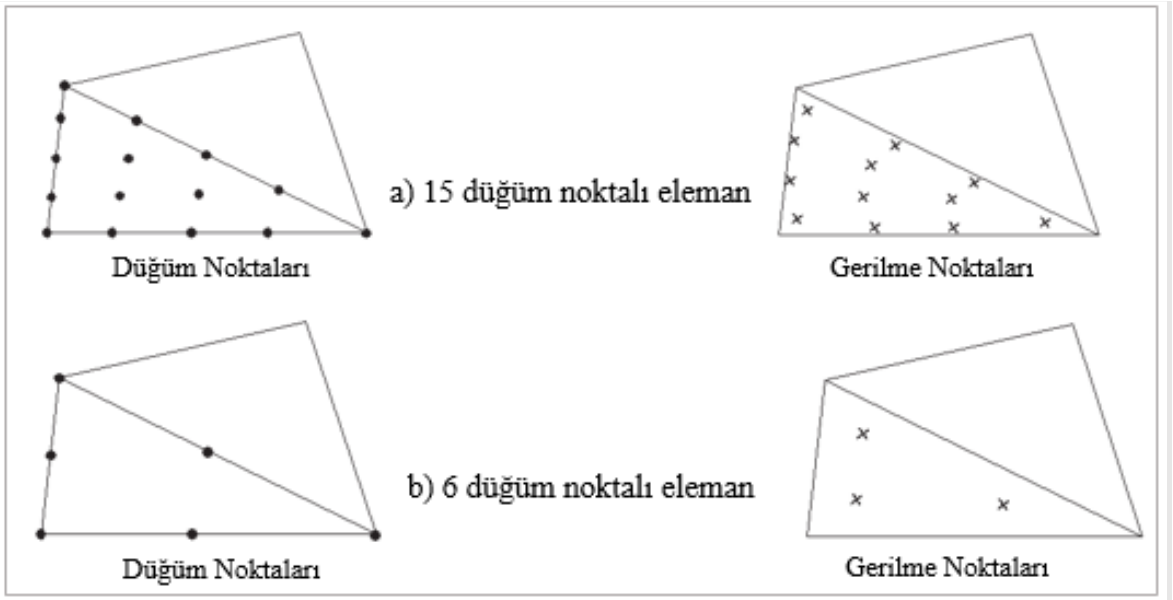


Şekil 7. 1. Planestrain model örneği (düzlem simetri) ve Axisymmetry model örneği (eksenel simetrik) (Plaxis, 2019.)

Bu iki modelde X ve Y eksenleri iki serbestlik dereceli şekilde çözümlenmektedir. Sayısal modelin belirlenerek analizinde Planestrain modeli kullanılmaktadır.

7.2. Plaxis 2D Programındaki Zemin Eleman Tipleri

Zemin ortamı oluşturulması için iki boyutlu üçgen öğeler kullanılır. Bu öğeler genellikle 6 veya 15 düğüm noktasına sahiptir.



Şekil 7. 2. 6 ve 15 düğüm noktalı eleman (Plaxis, 2019.)

Bu çalışmada 6 düğüm noktalı eleman seçilerek analiz edilmiştir.

7.3. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli

Mohr-Coulomb Modeli zeminlerin gerilme-şekil değiştirme eğrisi birinci bölgesindeyse elastik, ikinci bölgesinde yer alıyorsa mükemmel plastik bir malzeme olduğu varsayımı vardır. Mohr-Coulomb malzeme modeli zeminleri elasto-plastik olarak tanımlar. PLAXIS'e tanıtılırken 5 adet parametre girilir. Bu parametreler kohezyon, elastisite modülü, poisson oranı, dilatasyon açısı ve içsel sürtünme açısıdır. Zemin rijitliğini ifade eden elastisite modülü parametresi tüm zemin tabakalarında sabittir. Bu malzeme modeli zemin davranışını yaklaşık olarak doğru ve kısa sürede yapılabilmesi avantajları sayesinde sıkça kullanılır. Dahası bu model tüm zeminleri modellemek için kullanılabilir.

7.4. Hardening-Soil (HS) Pekleşen Zemin Modeli

Hardening-Soil modeli farklı türlerdeki sert veya yumuşak zeminlerin (orta-sıkı, sıkı kumlar ile aşırı konsolide sert killer) davranışlarını modellemek için kullanılır. Hardening-Soil modeli Mohr-Coulomb modeline göre oldukça geliştirilmiş bir modeldir. Geliştirilmiş bir model olduğu için hesaplama adımı çok fazladır bu yüzden analiz sonuçları uzun sürer. Hardening-Soil modelinde gerilim sonucu rijitlik modülü önemlidir, çünkü zeminin rijitliği basınçla artış gösterir.

Hardening-Soil modeli Mohr-Coulomb modelinden farklı olarak zeminin deformasyon davranışını üç farklı rijitlik modülünü kullanarak modellemektedir. Bu model, drenajlı üç eksenli basınç deneyi sonucunda gözlenen eksenel deformasyon ile deviatör gerilme ilişkisinin yaklaşık hiperbol şeklinde olmasına dayanır.

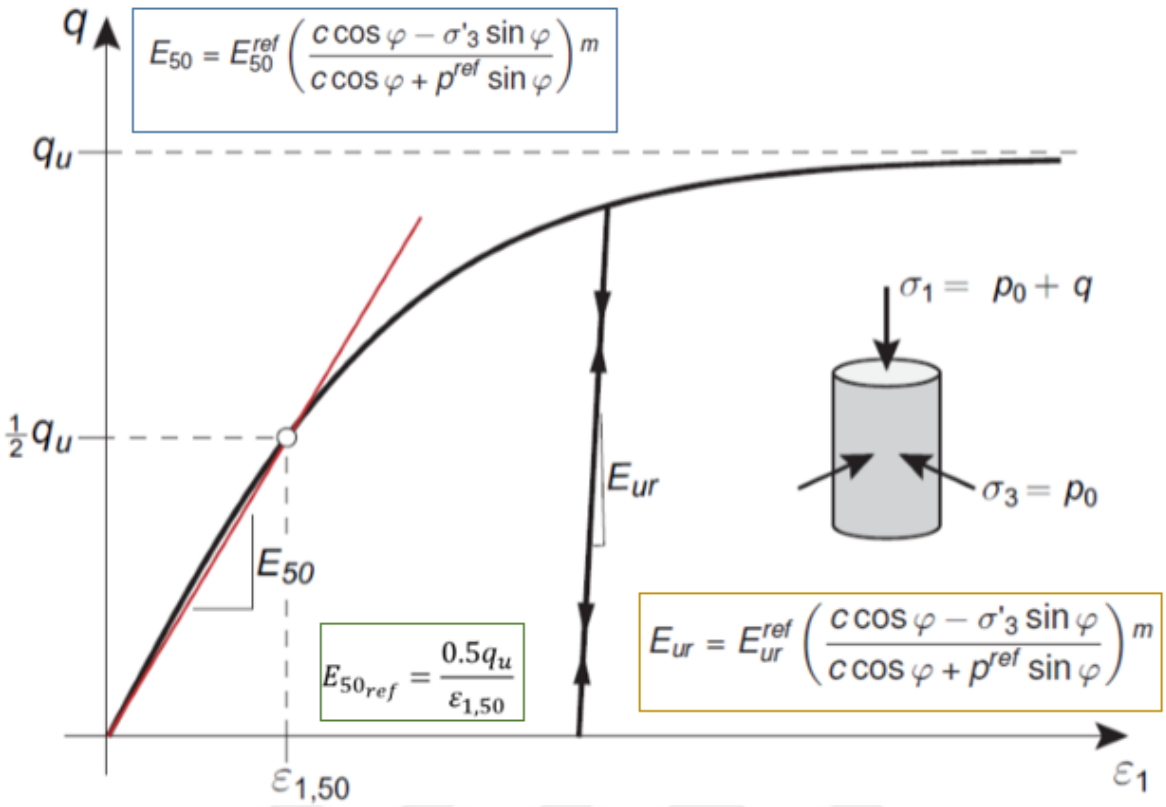
Hardening-Soil (HS) Pekleşen Zemin Modeli Parametreleri (Laman, M. Yıldız, A. Örnek, M. ve Demir, A. (2007)) Çizelge 7.1.'de verilmiştir.

Çizelge 7. 1. Hardening Soil malzeme parametreleri

Parametre	**Birim**
Üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}^{ref})	kN/m^2
Ödometre yükleme rijitliği (E_{oed}^{ref})	kN/m^2
Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği (E_{ur}^{ref})	kN/m^2
Rijitliğin gerilmeye bağlı değeri (m)	-
Kohezyon (c_{ref}')	kN/m^2
İçsel sürtünme açısı (φ')	°
Dilatasyon açısı (ψ)	°
Yeniden yükleme / boşaltma için poisson oranı (v_{ur})	-
Normal konsolide durumdaki zeminin sükûnetteki basınç katsayısı. ($K_{0\text{-}nc}$)	-
Yenilme oranı (R_f)	-
İlk boşluk oranı (e_{init})	-
Aşırı konsolidasyon oranı veya ön konsolidasyon basıncı (OCR/POP)	-

7.4.1. Üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}^{ref})

Üç eksenli yükleme rijitliği Şekil 7.3.'de verilen formül ile hesaplanabileceği gibi deney sonuçlarından da hesaplanabilir. Üç eksenli hücre kesme deneyi sonucuna göre E_{50} değerinin hesaplanması için yenilme yükü $\sigma_{d,max}$ belirlenmelidir. Saha deneylerinden korelasyonla elde edilecekse, referans basınç p_{ref} =100 kPa kabul edilebilir. (Demir, B. (2019))

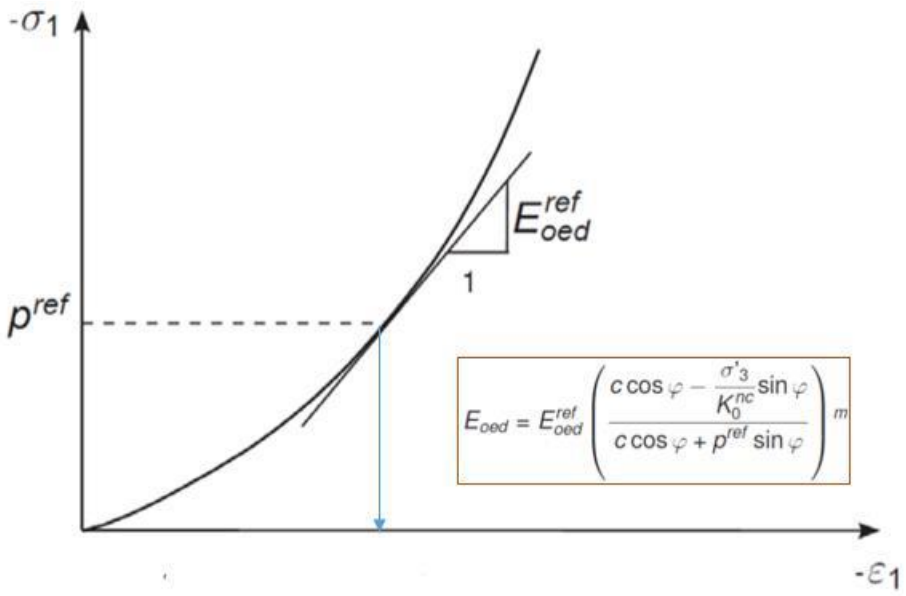


Şekil 7. 3. E_{50} üç eksenli yükleme rijitliği ve E_{ur}^{ref} üç eksenli boşaltma / yükleme rijitliği. (Demir, B. (2019))

Yeniden yükleme / boşaltma modülü genellikle üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}) ile bağdaştırılarak hesaplanır. Konsolidasyon deneyindeki c_r/c_c oranı ile E_{ur}/E_{50} oranı benzer kabul edilir. Aralıkları E_{ur}/E_{50}=2-6 arasındadır. Fakat hiçbir veri olmadığı durumunda 3 alınabilir.

7.4.2. Ödometre yükleme rijitliği (E_{oed}^{ref})

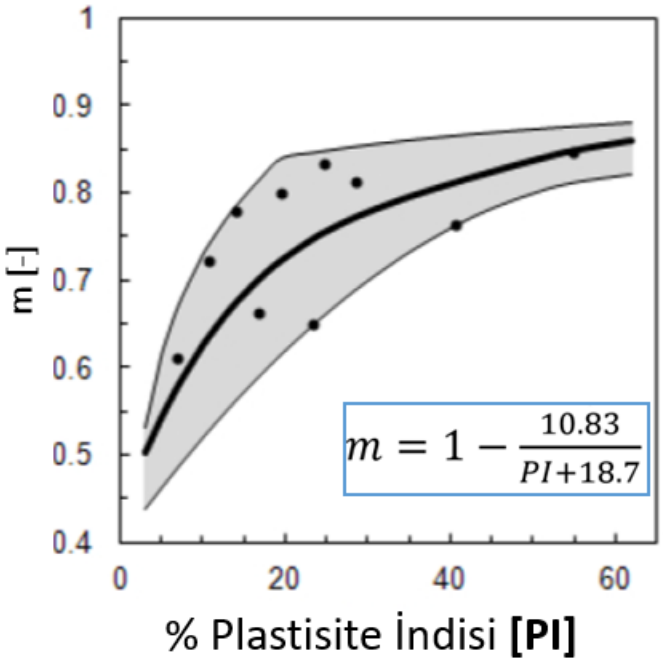
Ödometrik deformasyon modülü (E_{oed}) referans basıncına (p_{ref}) bağlıdır. Bir noktada bulunan referans basıncı (p_{ref}) E_{oed} değerini vermektedir (Şekil 7.4.), geri kalan ise hiperbolik modele göre Plaxis tahmin eder. Kısaca kullanıcı 80 kPa için E_{oed} verse bile, bina yüküne göre plaxis bu E_{oed}'yi arttırmaktadır. Örnek olarak her katın ağırlığı 20 kPa olan 10 katlı bir binanın temel tasarımı yapılırken binanın yükü 20x10=200 kPa olur. Plaxis, bu yük sebebiyle ortaya çıkan gerilme artışlarını ele alarak deformasyon modüllerini otomatik olarak hesaplamış olur.



Şekil 7. 4. Öedometrik deformasyon modülü (Eoed). (Demir, B. (2019))

7.4.3. Elastisite modülünün gerilmeye bağlılığı için üstel katsayı (m)

Üstel katsayının (m) plastisite indisine bağlı olarak hesaplanabileceği Viggiani ve Atkinson (1995) aracılığıyla tanımlanmıştır. Şekil 7.5.'te gösterilen biçimde plastisite indisinin 0 olması durumunda m=0,42 olur, PI=40 iken m=0,82 olur.



Şekil 7. 5. Elastisite modülünün gerilmeye bağlılığı için üstel katsayı (m) (Vıggıanı, G., Atkınson, J.H., (1995))

7.4.4. Yeniden yükleme / boşaltma için poisson oranı (ν'_{ur})

Plaxis malzeme modelleri el kitabında, $\nu'ur$ değeri 0,2 olarak önerilmekte ve 0,15 ile 0,25 aralığında değişmesi tavsiye edilmektedir. Önemli olan husus ise $\nu'ur$ Poisson oranı değildir. Yükleme boşaltma için Poisson oranıdır.

7.4.5. Mohr-Coulomb parametreleri ve kabarma açısı (c', ϕ', ψ)

İçsel sürtünme açısının ve kohezyonun laboratuvar yardımıyla konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deneylerin sonucunda bulunabilir. Dilatasyon açısını tahmin etmek zor olabilir. Bu hususta ortak bir yaklaşım $\psi = \phi' - 30°$ kullanılmasıdır.

7.4.6. Normal konsolide durumdaki zeminin sükûnetteki basınç katsayısı ($K_{0\text{-}nc}$)

Zeminde deformasyon olmadığı durum sükûnet durumu şeklinde ifade edilir. Zemin içerisindeki düşey ve sürtünmesiz bir elemanın bir tarafının herhangi bir yer değiştirmeye mahal vermeden boşaltılması durumunda yanal zemin basıncının (efektif) düşey gerilmeye (efektif) oranına sükûnet basınç katsayısı denir.

7.4.7. Aşırı konsolidasyon oranı veya ön konsolidasyon basıncı (OCR/POP)

Ön konsolidasyon basıncı mevcut gerilmeye eşit olduğu hususta zemin normal konsolide zemin olarak tanımlanır. Zemin ön konsolidasyon gerilmesinin mevcut gerilmeden büyük olduğu durumda zemin aşırı konsolide şeklinde adlandırılmaktadır.

Aşırı konsolidasyon oranı 'OCR' ön konsolidasyon basıncının mevcut gerilmeye oranı şeklinde tanımlanır. Normal konsolide zeminler için OCR=1'dir. OCR değeri 1'den yüksek zeminlere aşırı konsolide zemin, 1'den az zeminlere yetersiz konsolide zemin denilir.

7.4.8. Yenilme oranı (R_f)

Duncan ve Chang (1970) aracılığıyla 0,75-1 aralığında seçilmesi önerilmiştir.

7.4.9. İlk boşluk oranı (e_{init})

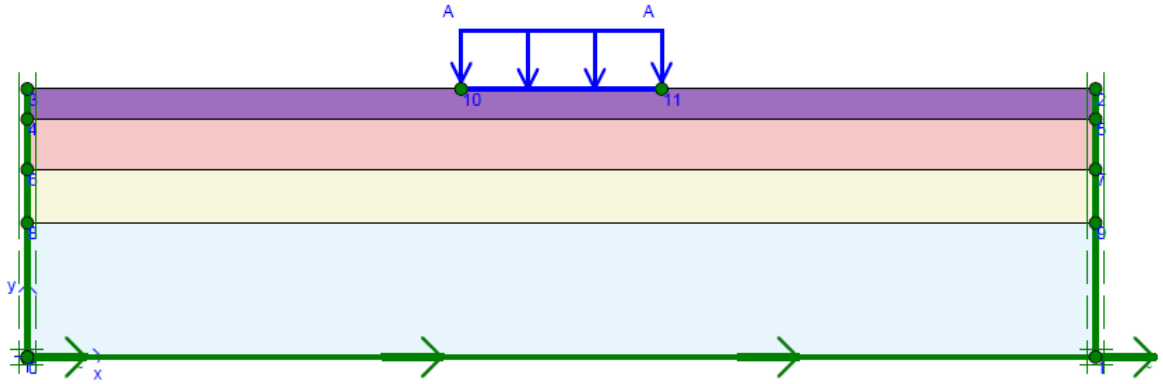
Boşluklu bir yapıdaki zeminde, ne kadar boşluk olduğunu gösteren bir ifadedir. Boşluk hacmi ile dane hacminin oranı olarak ifade edilir. Birimi yoktur genelde ondalık

veya yüzdelik şeklinde yazılır. Aynı zeminlerde de dane dizilimine göre sıkı durumda küçük, gevşek durumda ise büyük değerdedir.

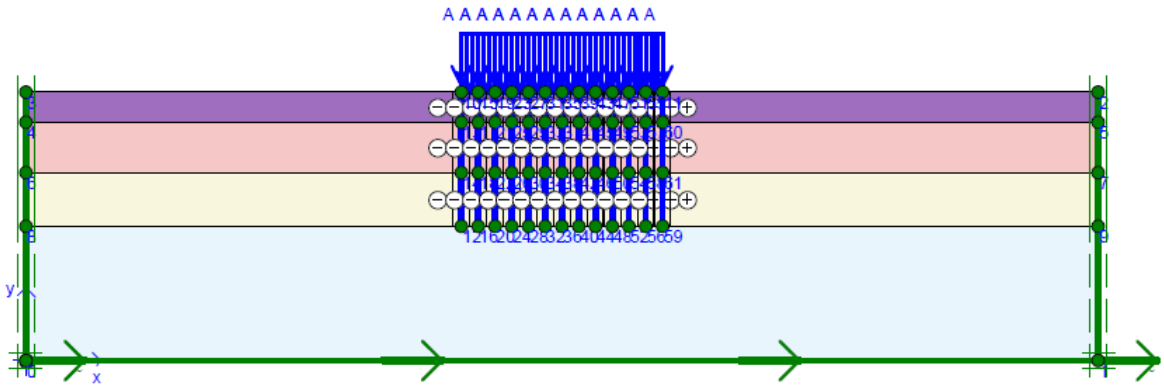
Bu çalışma kapsamında Plaxis 2D'de kazıklı ve kazıksız olmak üzere 2 yapı kesitinin geometrisi modellenmiştir. Modellenen kesitler için uygun malzeme modeli belirlenip gerekli parametreler kullanılarak programa girilmiştir. Analiz kısmına geçilmeden önce kesit üzerinden özel çözüm için noktalar belirlenerek ölçeksiz olarak seçilen depremlerin ivme-zaman verileri programa girilerek analizleri başlatılmıştır. Yapılan analizler dinamik analiz olup ortalama 12 ile 15 saat arasında çözümleme yapılmıştır.

8. MODEL

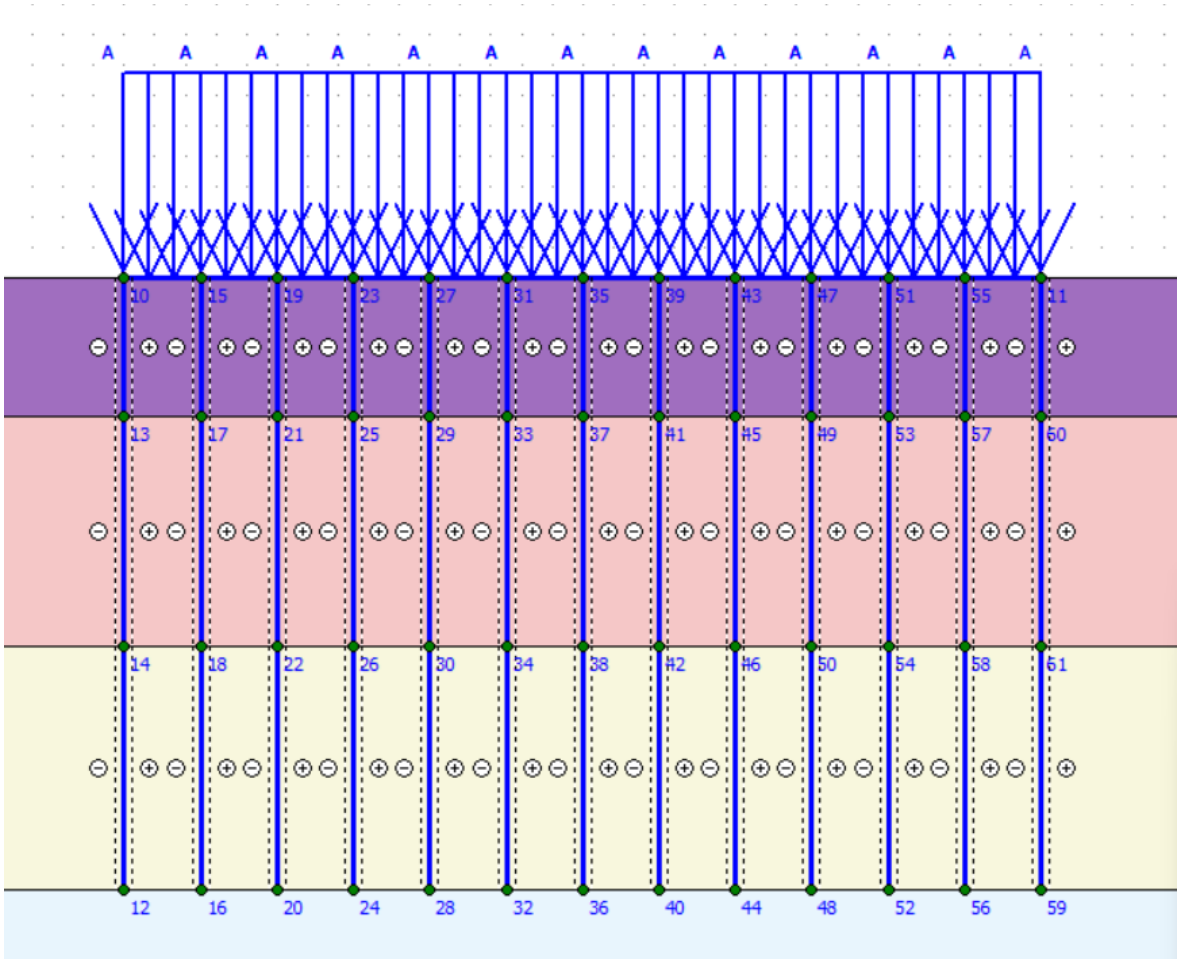
Deprem kaydı seçiminin düşey yüklü kazıkların davranışına etkisini görebilmek amacıyla 2 farklı model belirlenmiştir. İlk modelde 100 kN/m^2'lik düzgün yayılı yük etkisindeki 30x30 m bir radye temele zemin ve malzeme parametreleri işlenilerek Plaxis'de 15 adet deprem kaydının girilmesiyle dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. İkinci modelde ilk modeldeki temele, sağlam zemine yüklerin aktarılması için 20 m olarak seçilen 0,80 m çapındaki kazıklar 2,5 m aralıklarla eklenilerek ve aynı depremleri programa işleyerek dinamik analiz yapılmıştır.



Şekil 8. 1. Kazıksız Model



Şekil 8. 2. Kazıklı Model

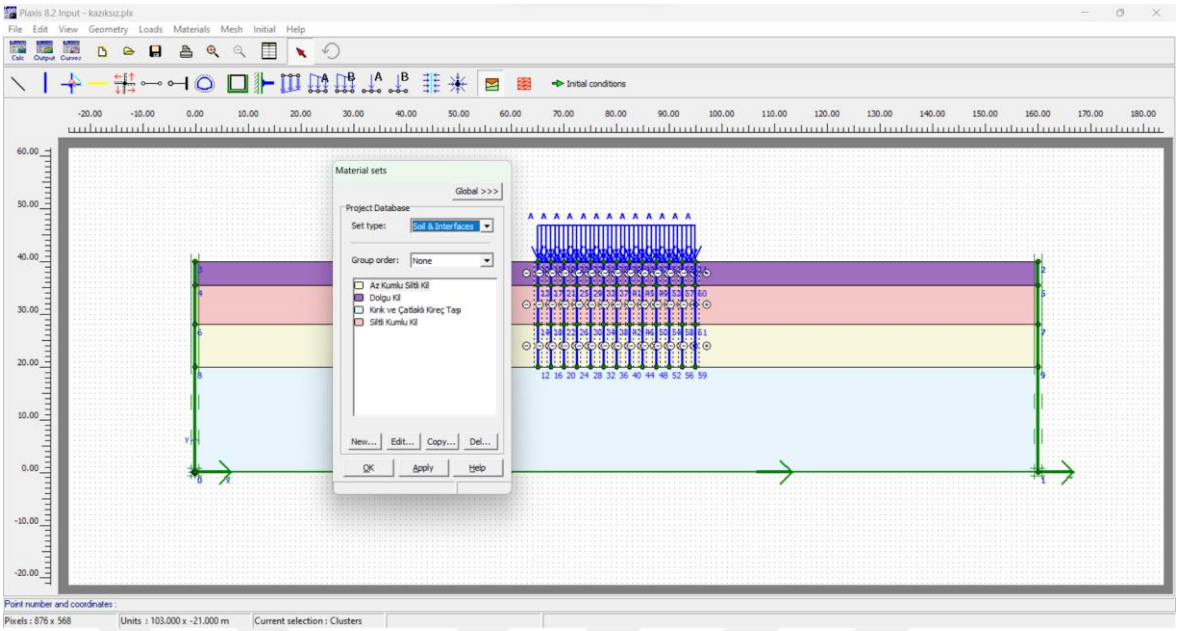


Şekil 8. 3. Kazıkların Detaylı Görünümü

Kazıklar yapı temeli altında 0,80 m çapında, 2,50 x 2,50 m karelaj ile zeminde boyları sağlam zemine yüklerin aktarılması için 20,00 m olacak şekilde tasarlanmıştır.

8.1. Parametrelerin Programa Girilmesi

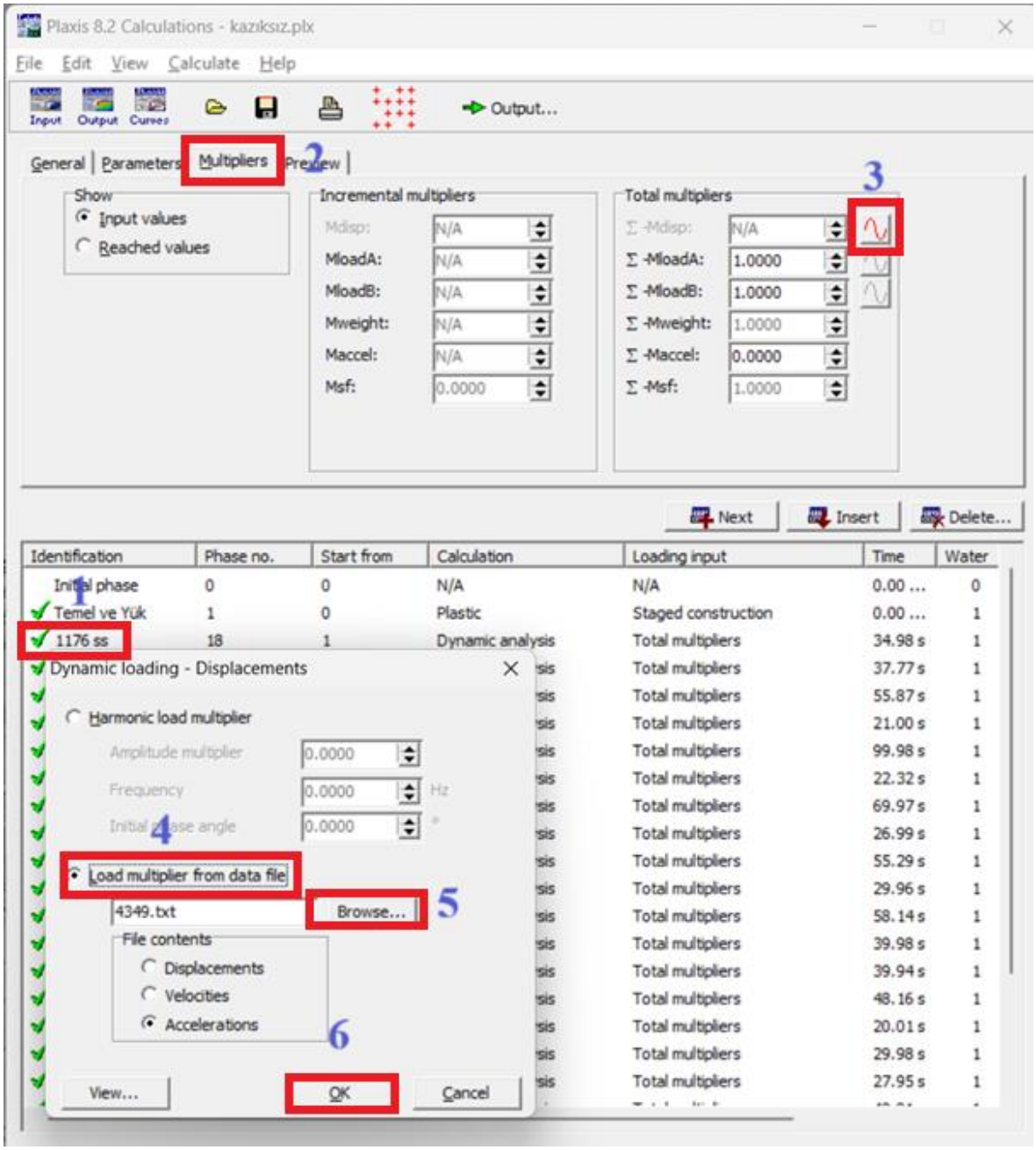
Hesaplamalarda kullanılacak parametreler modelleme yapıldıktan sonra programa işlenir. ‘‘Material Sets’’ sekmesine girilerek ‘‘Set Type’’ bölümünden malzeme tipi seçilir. Programda zemin, geogrid, ankraj, tabaka olmak üzere 4 malzeme tipi bulunmaktadır. Zemin ve geogrid malzeme tiplerini seçerek New sekmesine girerek yeni parametreler programa işlenir. Çalışma kapsamında Hardening Soil malzeme modeli kullanılmıştır.



Şekil 8. 4. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi

8.2. Dinamik Analiz Adımları

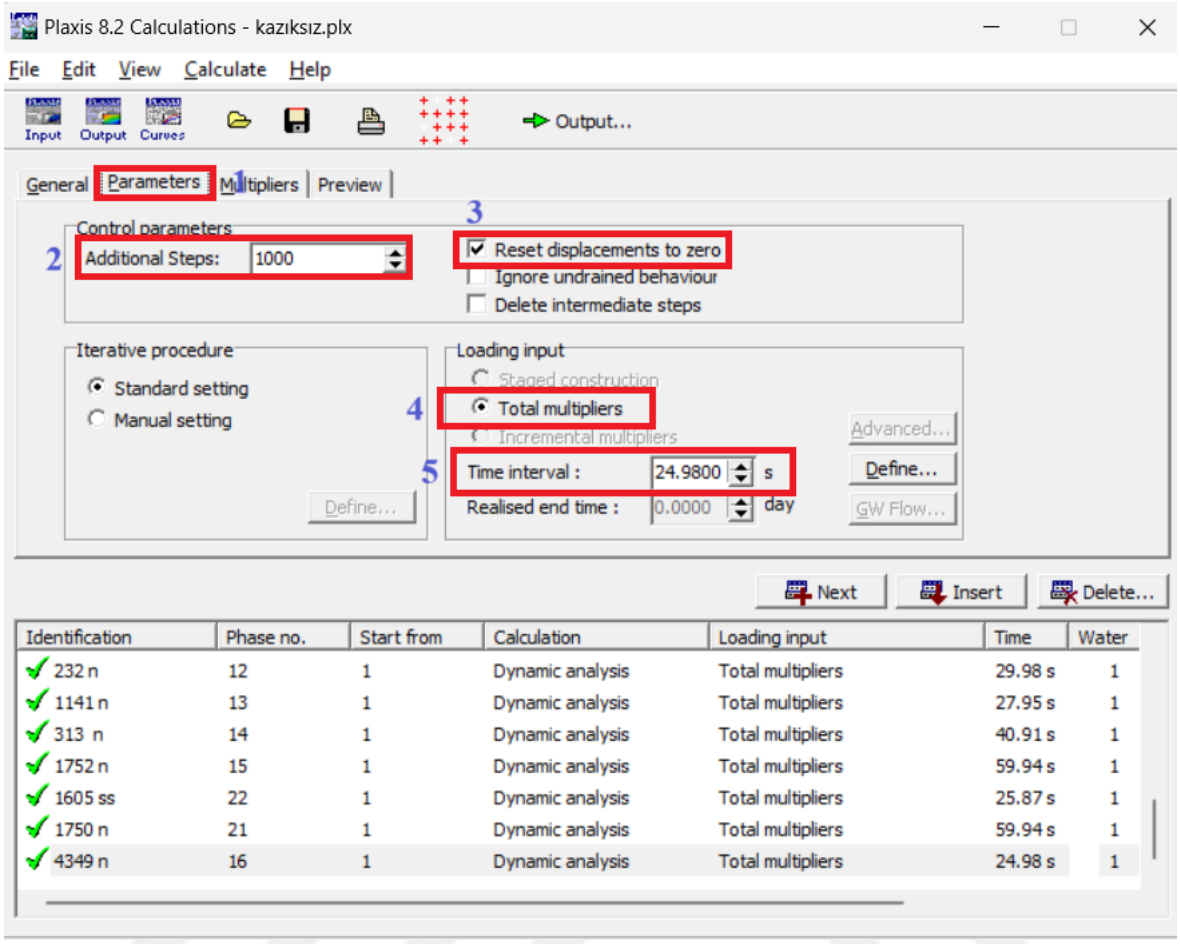
Malzeme atama işlemlerinden sonra modelin kolay çözümlenmesi için gövdeyi ağlara ayırmak gerekir. "Mesh" sekmesinden "Global Coarseness" açılır. Buradan "Element Distribution" "Fine" olarak seçilir. Burada yapılan işlem geometriyi parçalara ayırma işlemini detaylı bir şekilde yapmaktır. Oluşturulan ağlar ne kadar iyileştirilirse analiz süresi de o kadar uzamaktadır. Daha Sonra "General Settings" sekmesi "Elements" kısmından 15 ya da 6 düğüm noktası olmak üzere program 2 seçenek sunar. Buradaki fark oluşturulacak ağlar içine 6 ya da 15 düğüm noktası atama işlemidir. 6-node seçilirse analiz süresi kısalır ancak 15-node seçilirse analiz süresi bir hayli uzayacaktır. Bu çalışma kapsamında 6 node seçilmiştir. Tüm bu ayarlamalar yapıldıktan sonra "Initial Conditions" seçilerek su seviyesi seçme aşamasına geçilir. Bu kısımda su seviyesi çizilir ve çizilen su seviyesine göre boşluk suyu basınçları hesaplanır. Daha sonra "Calculate" aşamasına geçilir. Calculate kısmında 2 adet aşama oluşturulur. İlk oluşturulan aşama "Calculation Type" kısmından "Plastic" seçilerek statik yükler altındaki değerleri hesaplamak için oluşturulur. İkinci aşama ise "Calculation Type" kısmı "Dynamic Analysis" seçilerek deprem ivme verilerini programa tanıtıp dinamik yükler altındaki değerleri hesaplamak için oluşturulur. Bu aşamada "Multipliers" sekmesinden bulunan kısımdan ivme verisi tanımlanır. Tanımlama işlemi için kullanılacak sıralama aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 8. 5. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi

İvme verileri tanımlandıktan sonra kesit üzerinde ve tabakalarda özel noktaların özel çözümlerini görmek için "Select Points" butonundan kesit üzerinde nokta seçimi yapılır.

Bir sonraki aşamada "Parameters" sekmesinden "Additional Steps" kısmından işlem adımı 1000 olarak seçilerek aşağıdaki adımlar uygulanmıştır. 4 numaralı adımda deprem süresi girilmiştir.

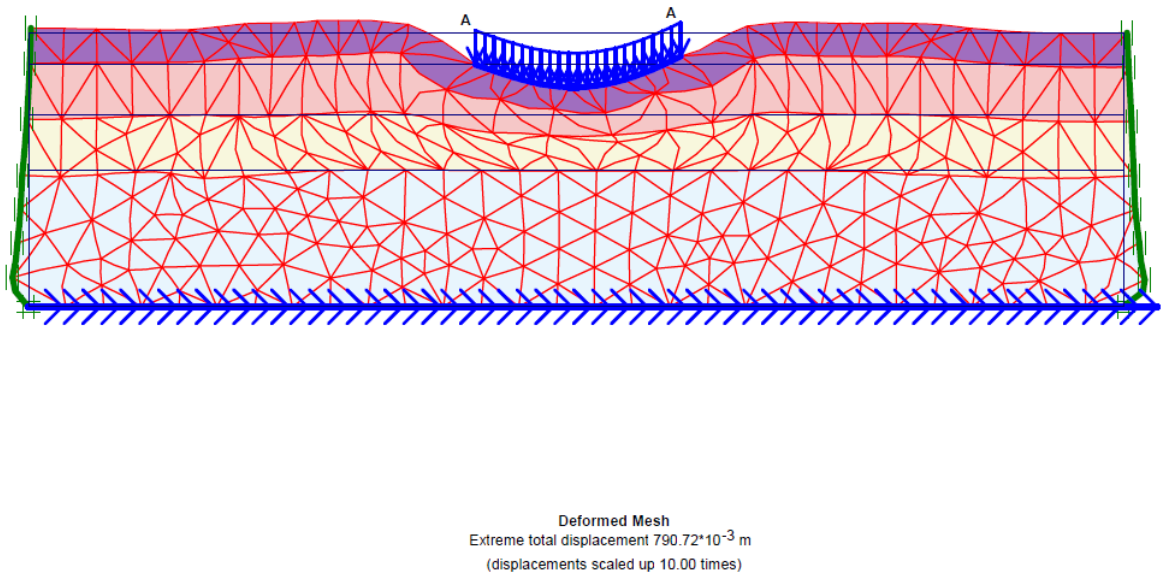


Şekil 8. 6. Parametrelerin Plaxis 2D Programına Girilmesi

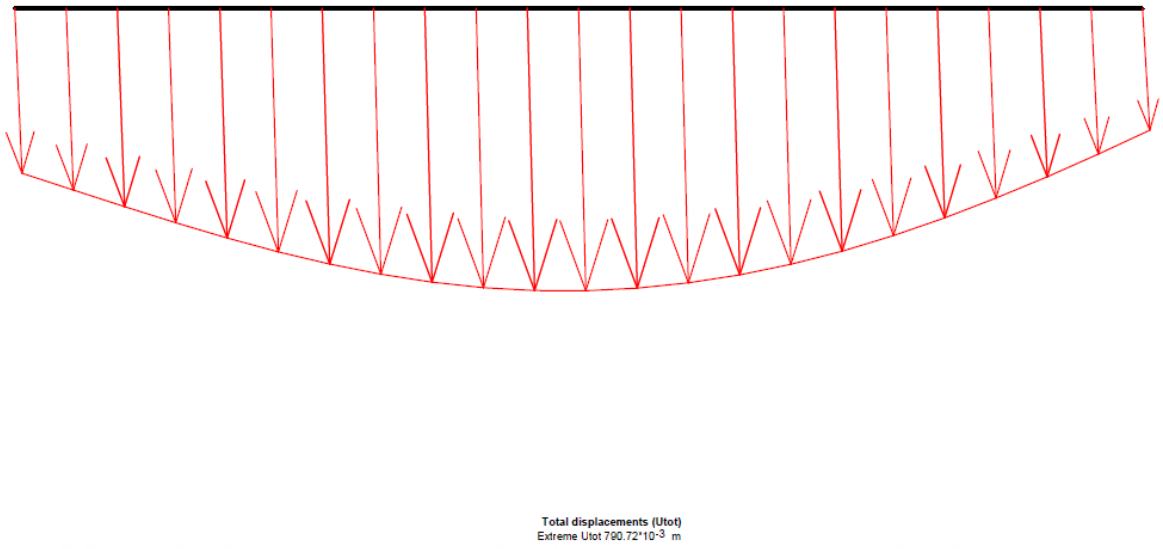
9. BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz sonuçları doğrultusunda elde edilen grafikler yorumlama yapılmasına kolaylık sağlayacaktır. Kazıksız ve kazıklı olarak 2 modelin grafiklere aktarılarak depremleri de kendi içerisinde doğrultu atımlı, normal atımlı ve ters atımlı olmak üzere kendi içerisinde gruplanması sonucu analizler yorumlanmıştır. Böylelikle sonuçları daha anlaşılır şekilde görülebilecek yorumlar elde edilmiştir.

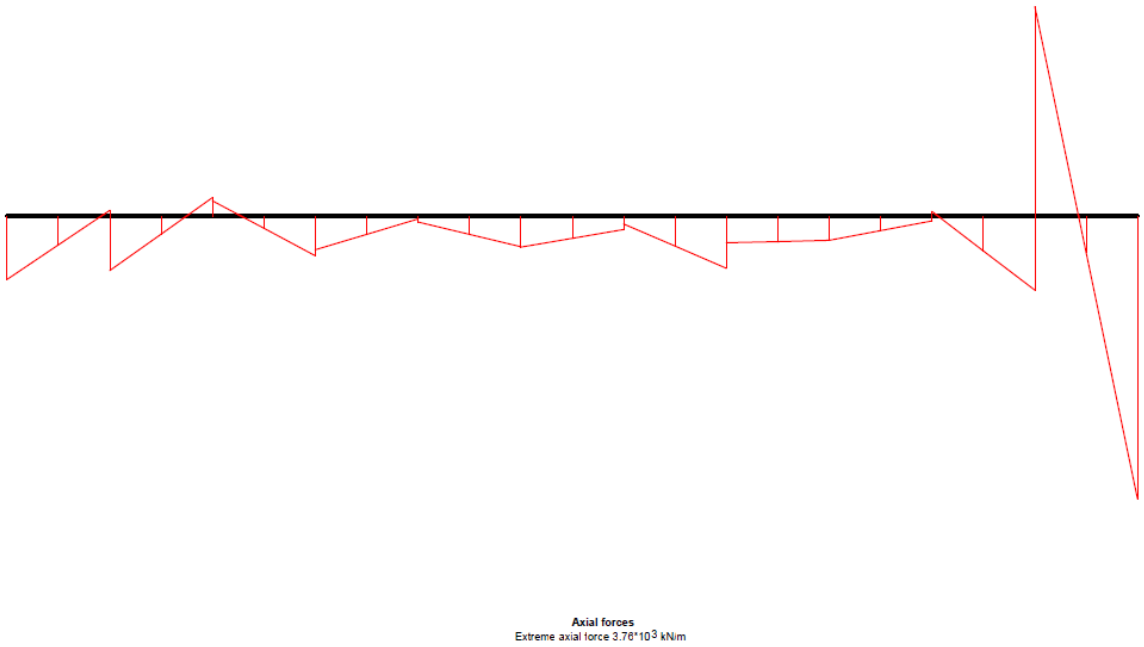
Bu çalışma kapsamında örnek olması amacıyla Modelin Düzce depremi analizi sonucundaki davranışı şekillerle aşağıda verilmiştir.



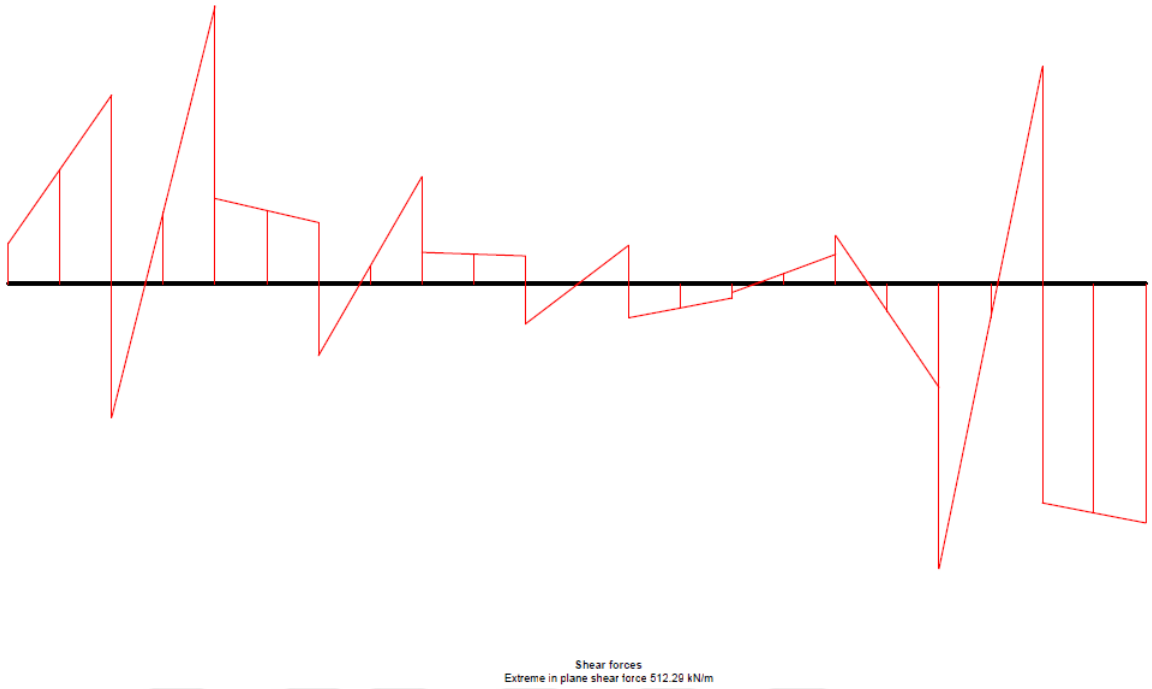
Şekil 9. 1. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Davranışı



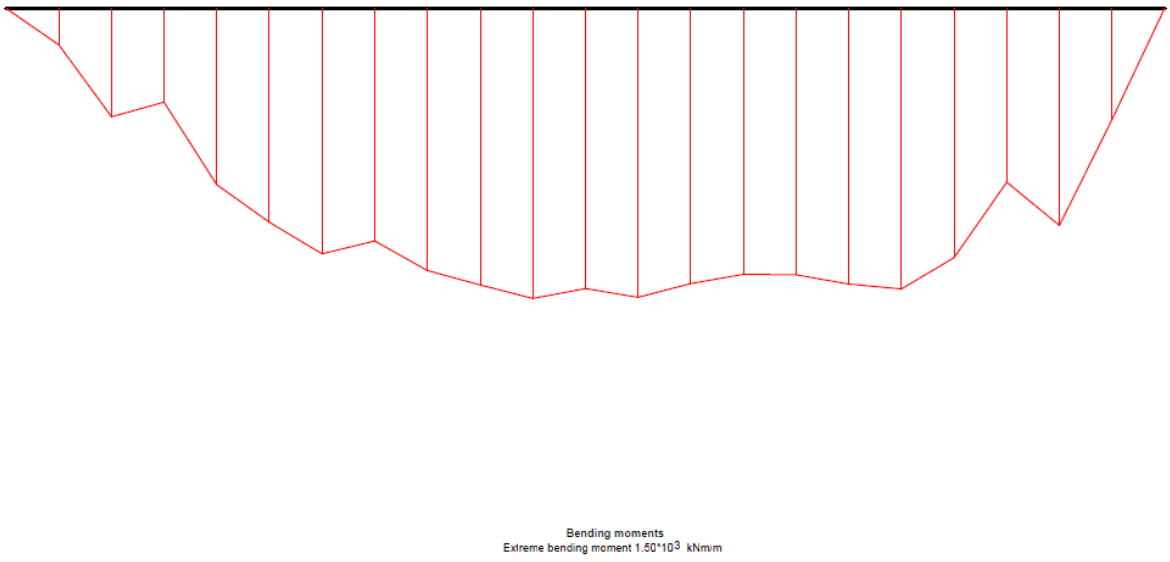
Şekil 9. 2. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Toplam Deplasmanı



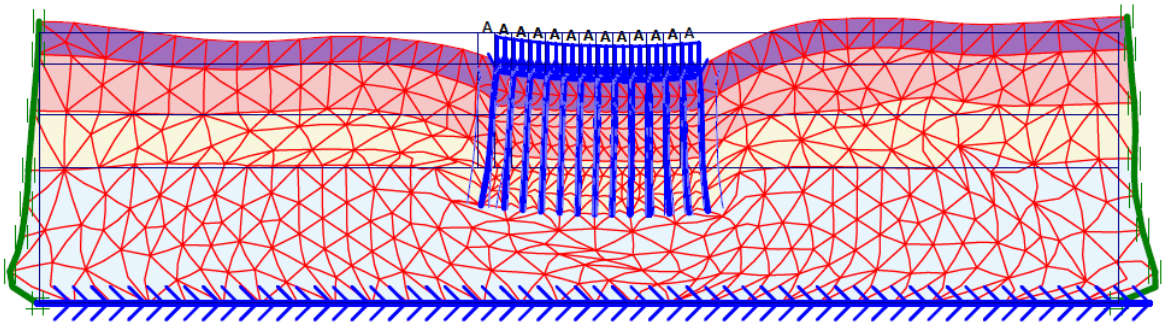
Şekil 9. 3. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Eksenel Kuvvetleri



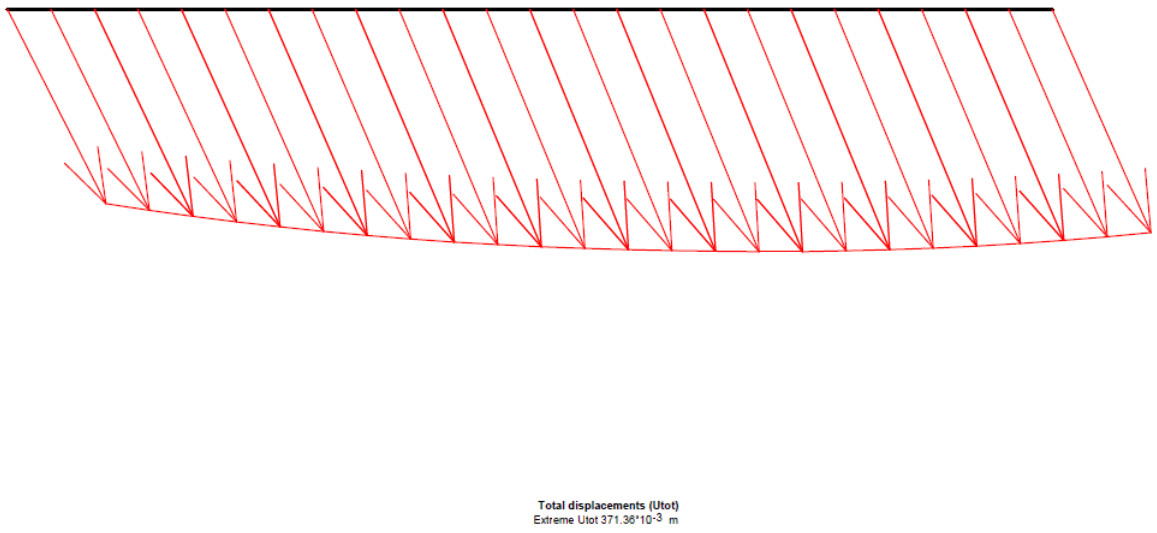
Şekil 9. 4. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Kesme Kuvvetleri



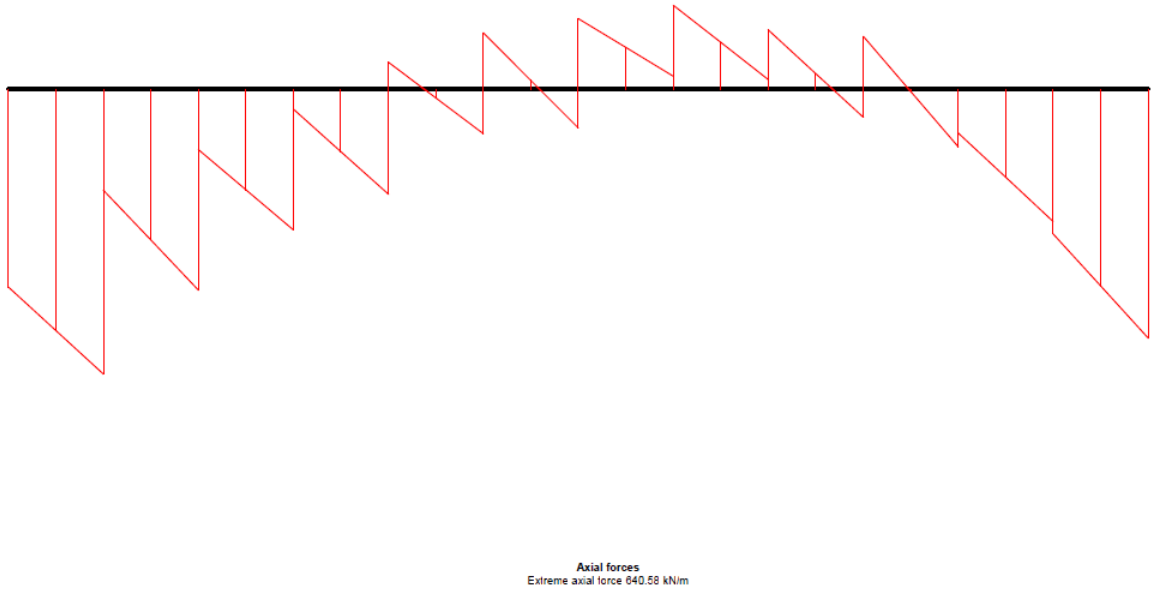
Şekil 9. 5. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıksız Modelin Temelindeki Eğilme Momentleri



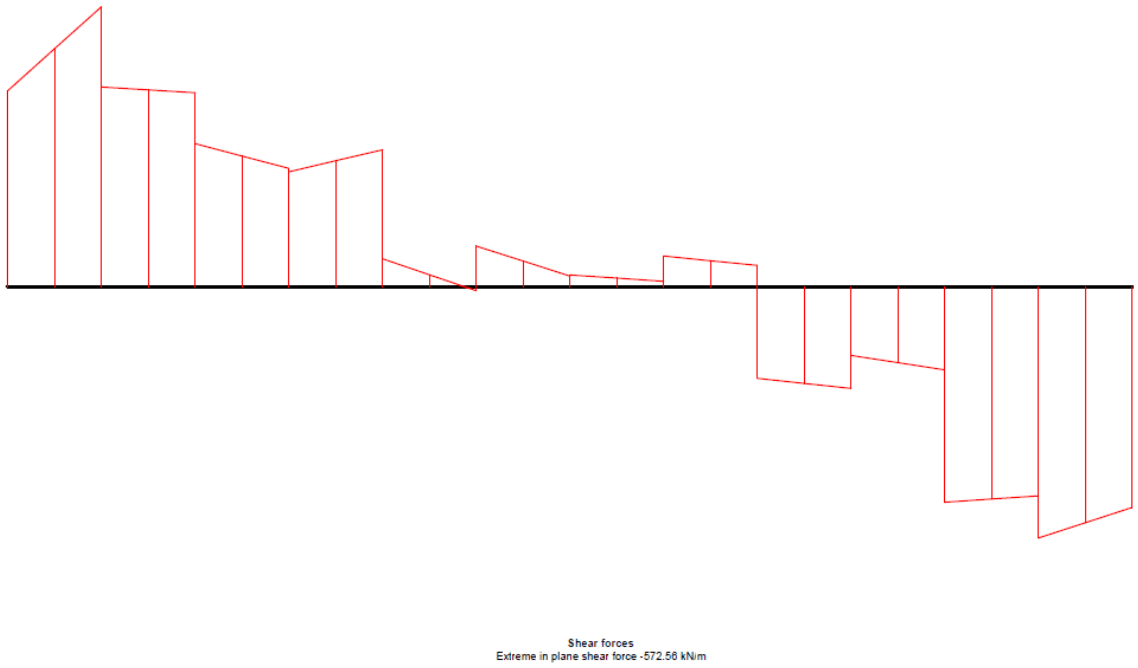
Şekil 9. 6. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Davranışı



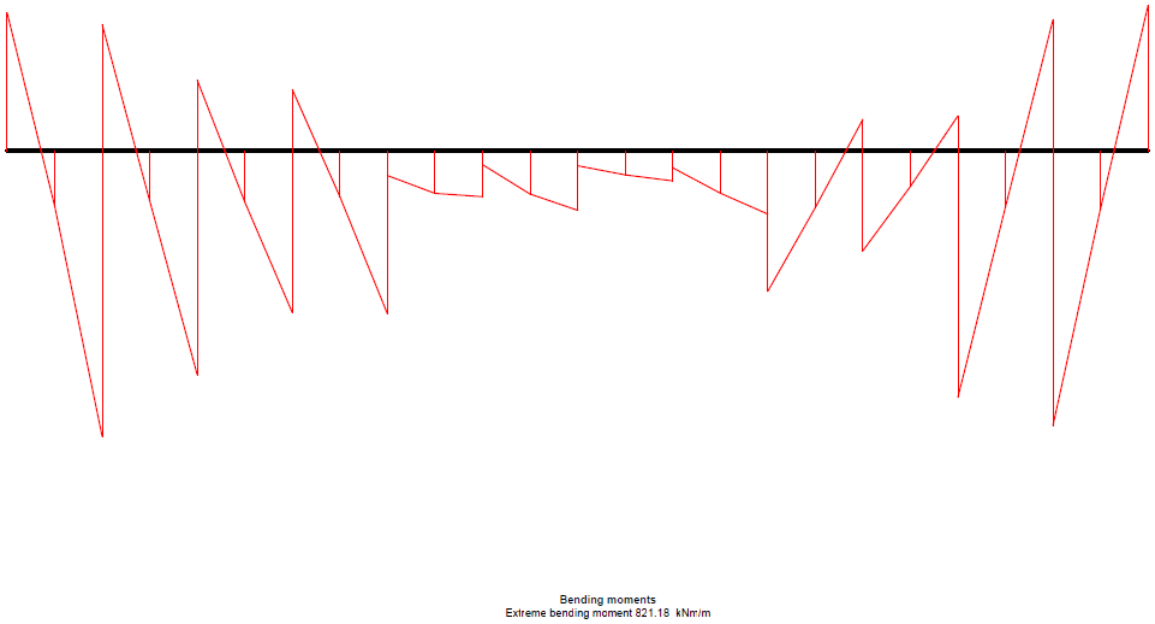
Şekil 9. 7. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Toplam Deplasmanları



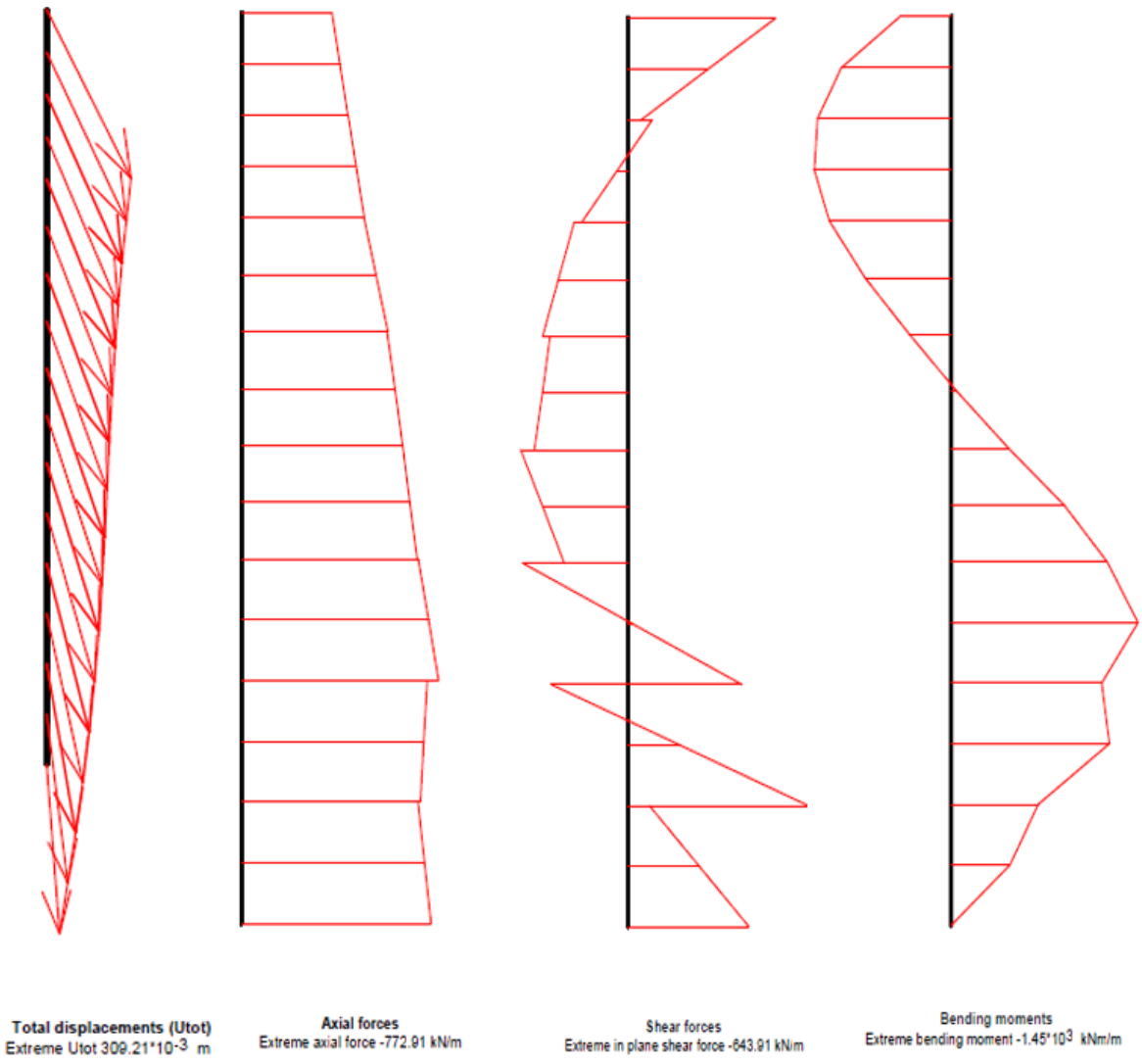
Şekil 9. 8. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Eksenel Kuvvetleri



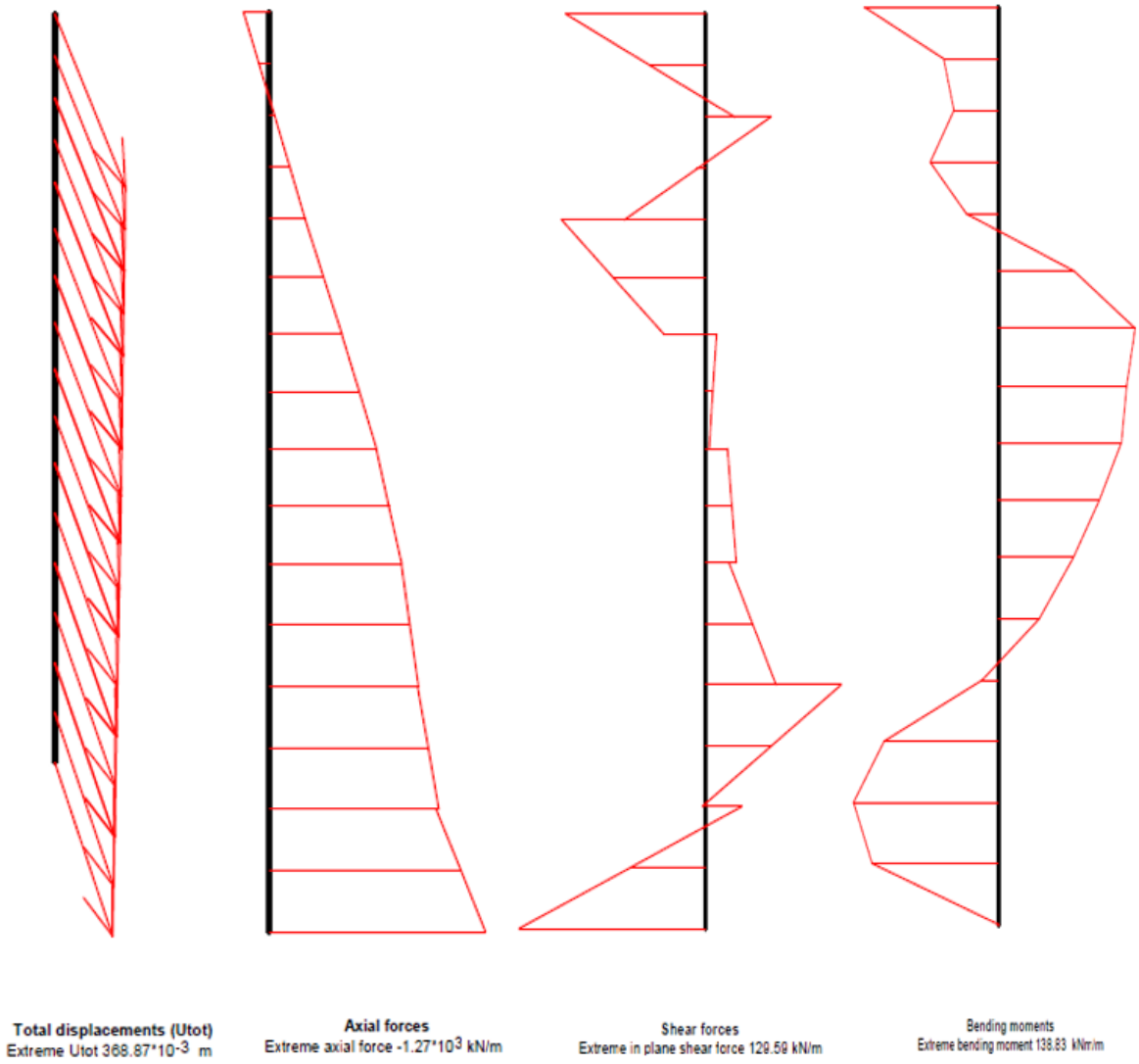
Şekil 9. 9. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Kesme Kuvvetleri



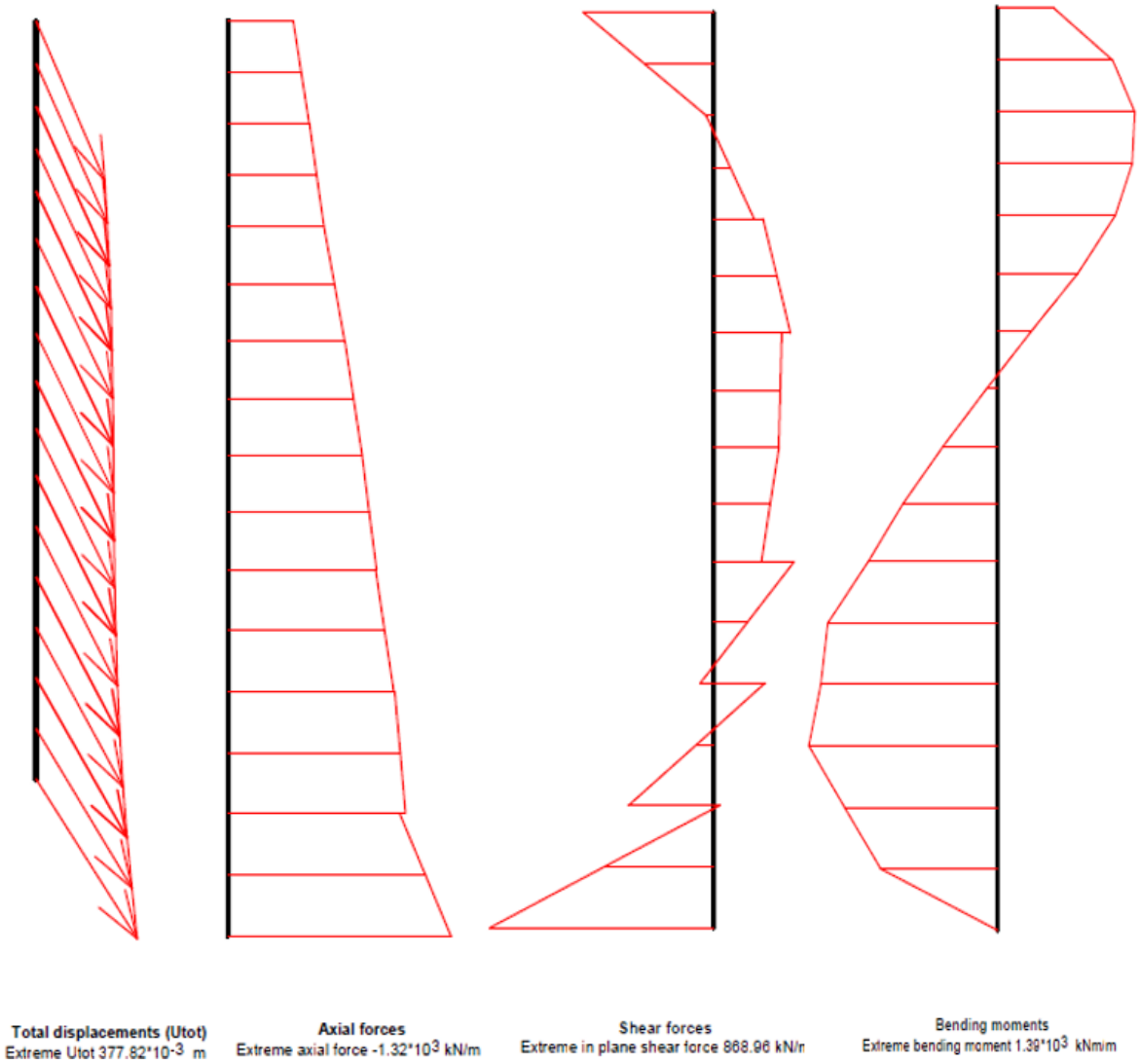
Şekil 9. 10. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modelin Temelindeki Eğilme Momentleri



Şekil 9. 11. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 1 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri



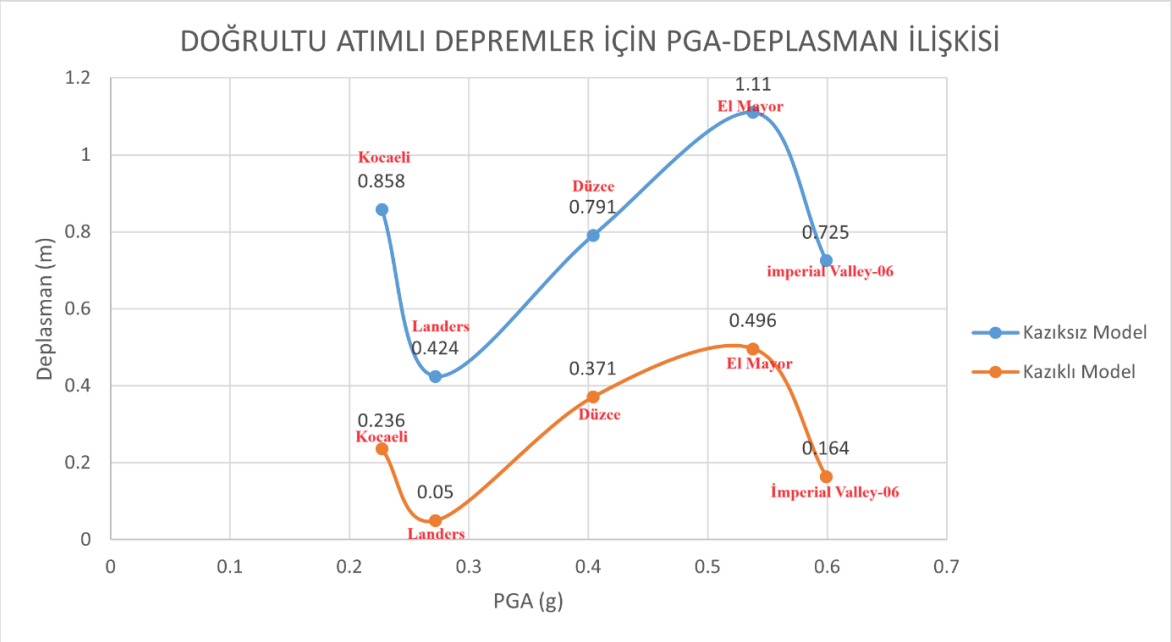
Şekil 9. 12. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 7 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri



Şekil 9. 13. Düzce Depremi Analiz Sonucu Kazıklı Modele Ait 13 Numaralı Kazığın Toplam Deplasmanları, Eksenel Kuvvetleri, Kesme Kuvvetleri ve Eğilme Momentleri

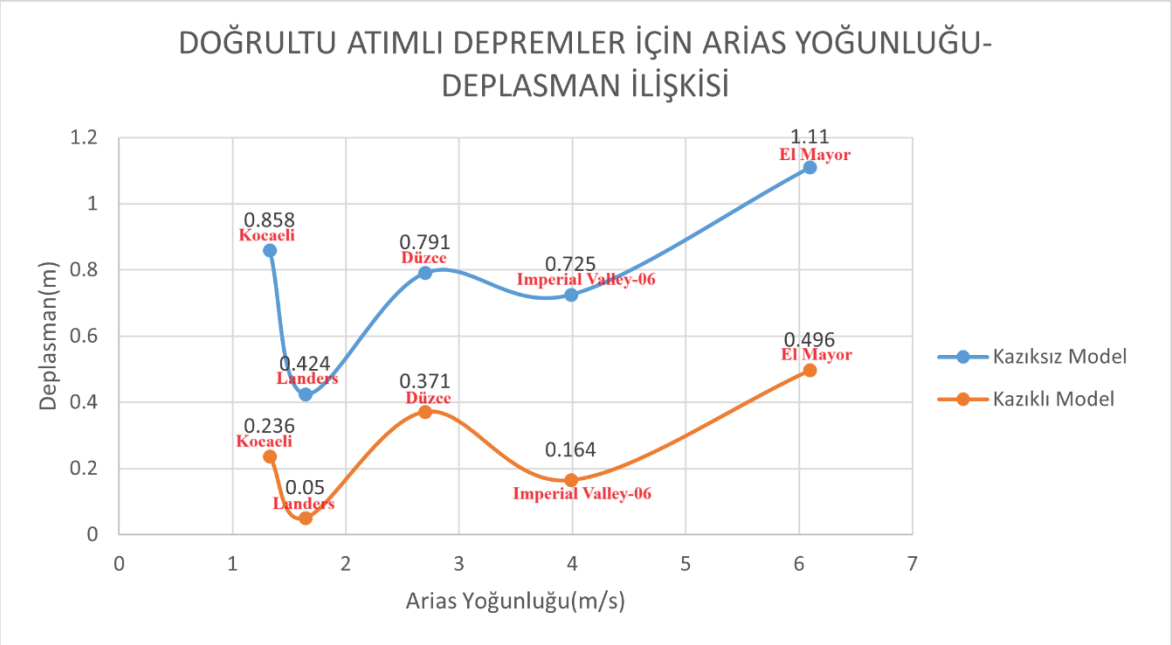
9.1. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıksız ve Kazıklı Temel Grafiklerinin Deplasmana Göre İncelenmesi

9.1.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumlar



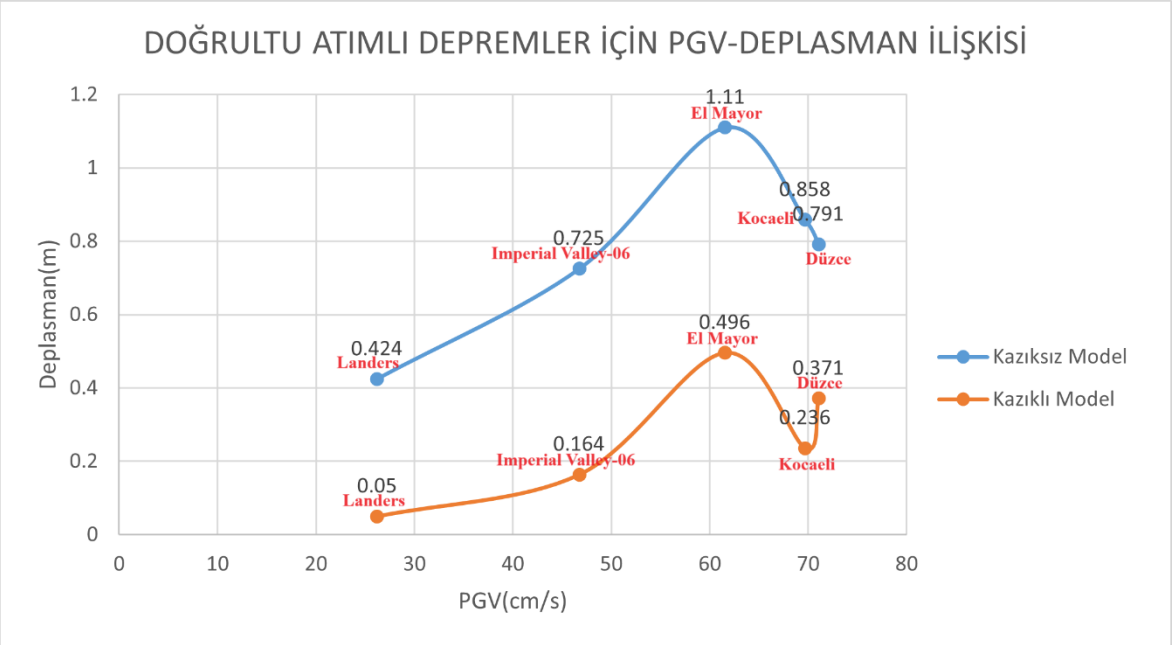
Şekil 9. 14. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.14.'de PGA ile deplasmanın doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmamaktadır. Imperial Valley-06 Depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen çok düşük deplasman yapmıştır. Bunun için sadece PGA değerlerine bakarak yorum yapmak yanıltabilir. Aynı şekilde Kocaeli Depremi en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek deplasman yapmıştır. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile deplasman ilişkisi grafikleri incelenmiştir. Bu parametrelerin ne kadar etkili olduğu grafiklerden yorumlanarak deprem kaydı seçiminde ne kadar öneme sahip olduğu grafiklerde incelenmiştir.



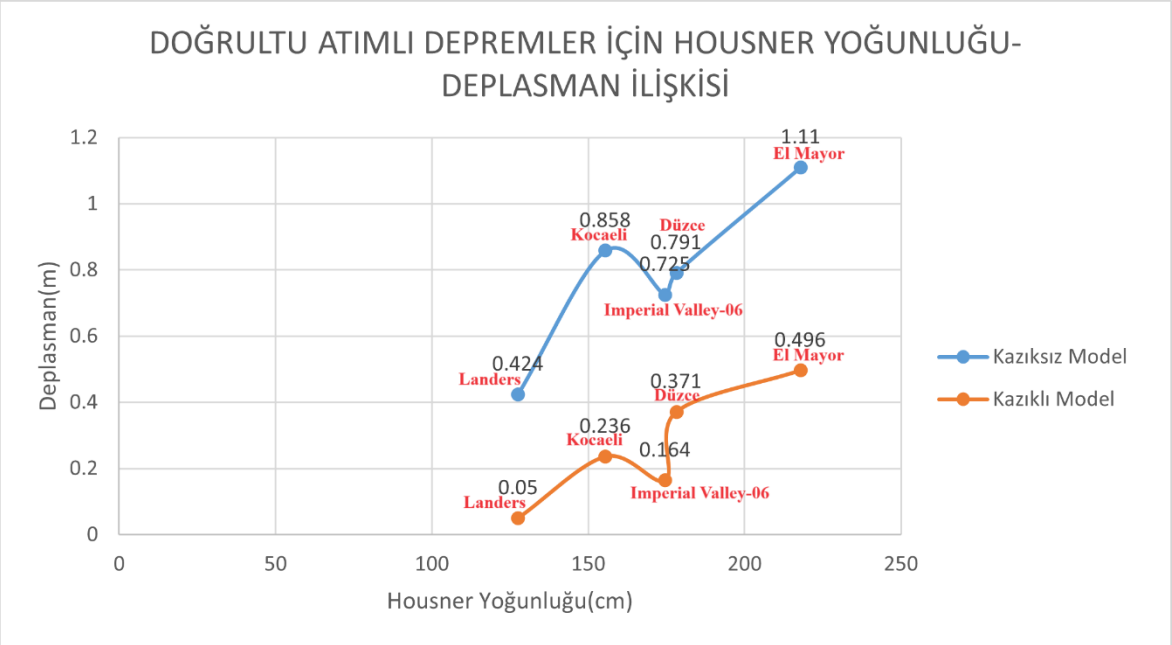
Şekil 9. 15. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.15.'de El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek deplasman yapmasının sebebi apaçık Arias Yoğunluğunun en yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



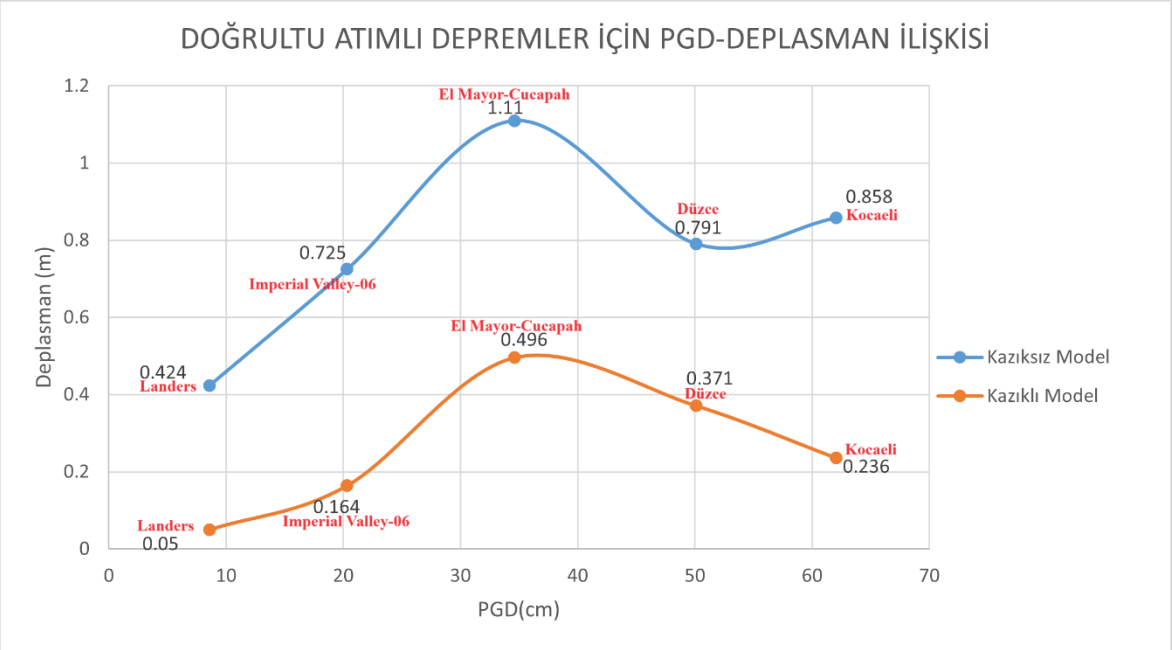
Şekil 9. 16. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.14.'de Kocaeli Depreminin en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek deplasman yaptığı görülmekteydi. Şekil 9.16.'da ise yüksek deplasman değerinin PGV değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 9. 17. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

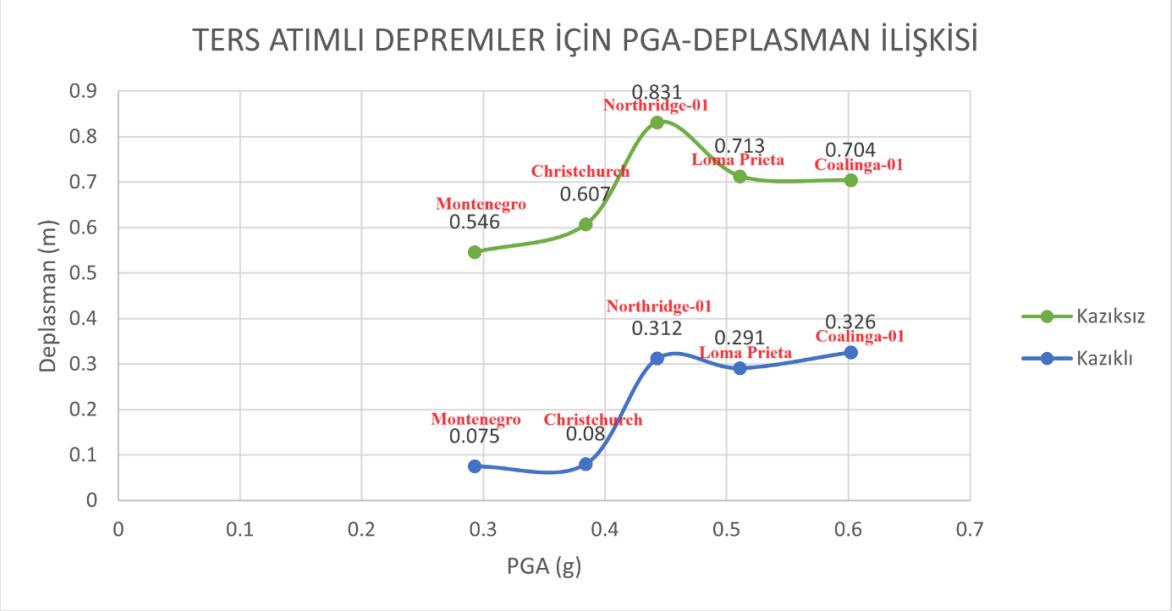
Şekil 9.17.'de El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek deplasman yapmasının sebebi Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.. Landers Depreminin PGA, Arias Yoğunluğu, PGV ve Housner Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı çok düşük deplasmanlara sahiptir.



Şekil 9. 18. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği

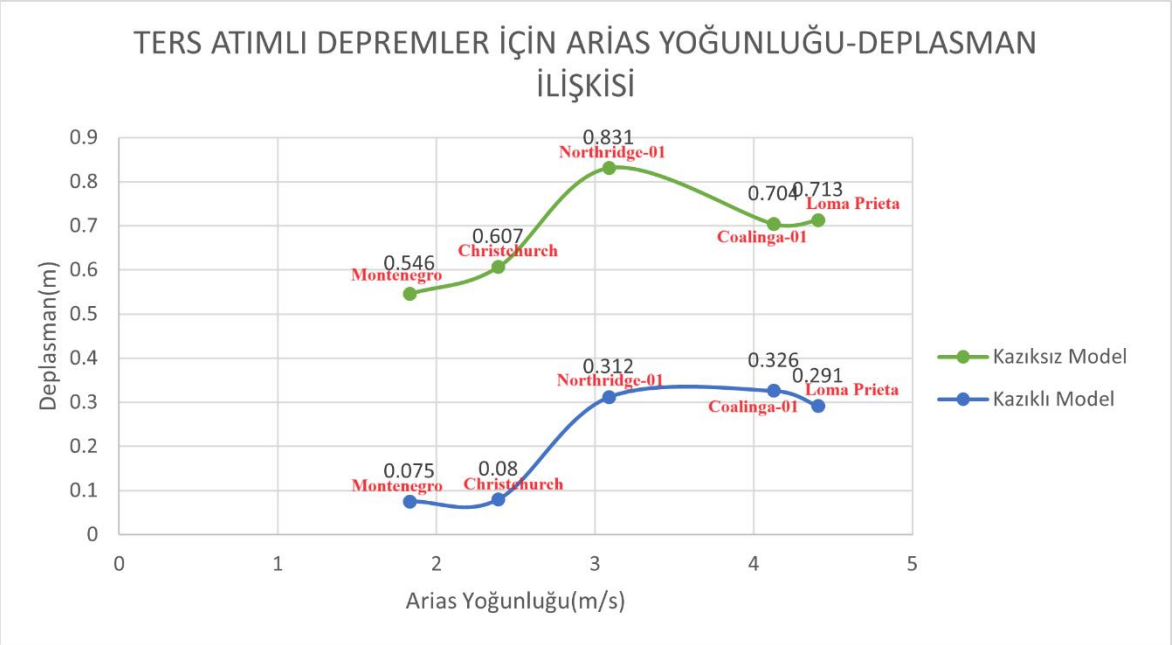
Şekil 9.18.'de Landers Depreminin PGA, Arias Yoğunluğu, PGV, Housner Yoğunluğu ve PGD düşük olmasından dolayı çok düşük deplasmanlar göstermiştir. Kocaeli depremi en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen en yüksek PGD değerine sahiptir. Kocaeli depreminin Landers ve Imperial Valley-06 depreminden daha yüksek deplasmana sahip olmasının nedeni PGV ve PGD değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

9.1.2. Ters Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumlar



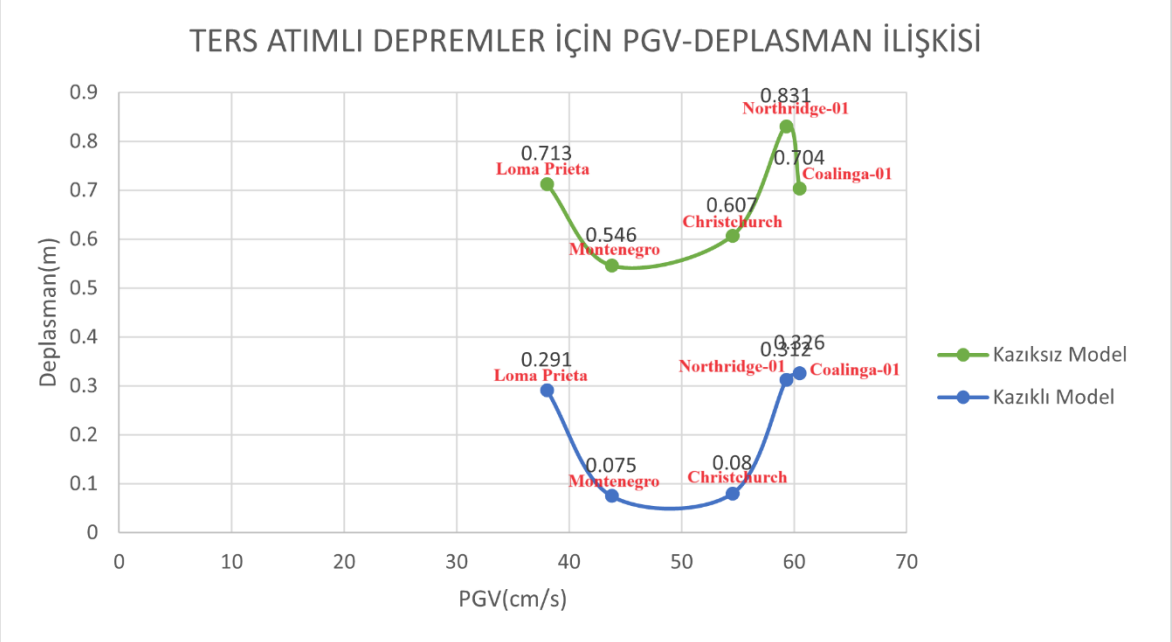
Şekil 9. 19. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.19.'da Doğrultu atımlı depremlerde olduğu gibi PGA ile deplasmanın doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmamaktadır. Coalinga-01 depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen en yüksek deplasmana sahip değildir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakarak yorum yapmak yanıltabilir. Northridge-01 depremi PGA değeri çok yüksek olmamasına rağmen yüksek deplasman değerine sahiptir. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile deplasman ilişkisi grafikleri incelenmiştir.



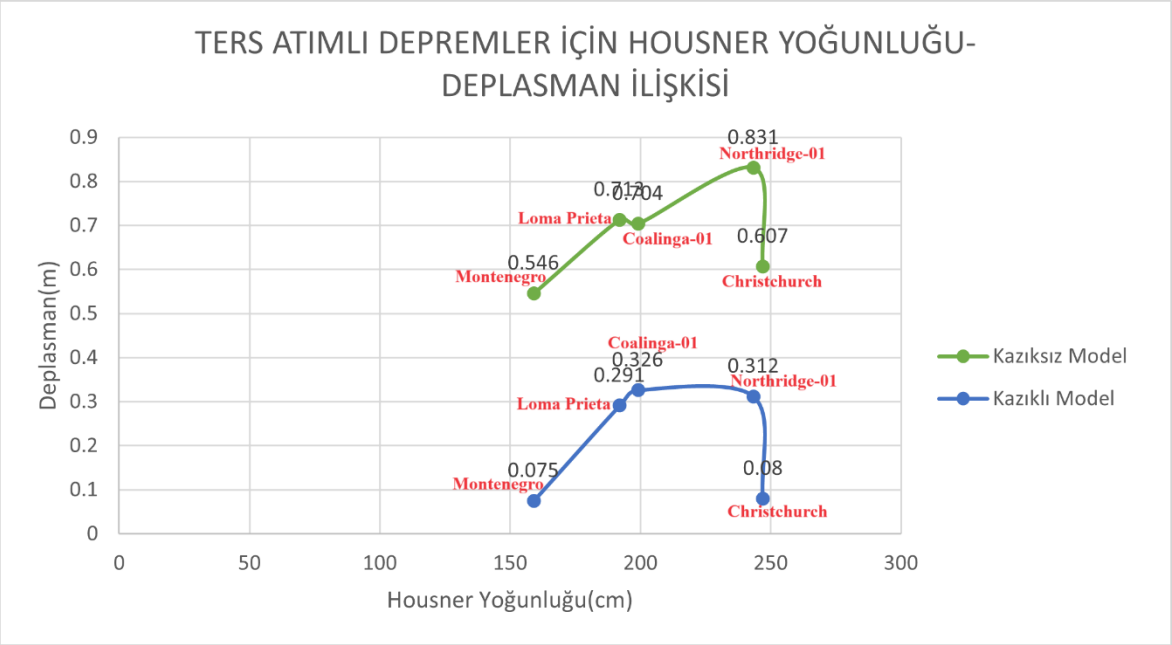
Şekil 9. 20. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.20.'de Arias yoğunluğu ile PGA grafiklerinin benzer olduğu görülmektedir. Northridge-01 depreminin çok yüksek deplasman yapmasının sebebi Arias Yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanır denilemez çünkü Coalinga-01 ve Loma Prieta depreminin Arias Yoğunluğu değerleri daha yüksektir.



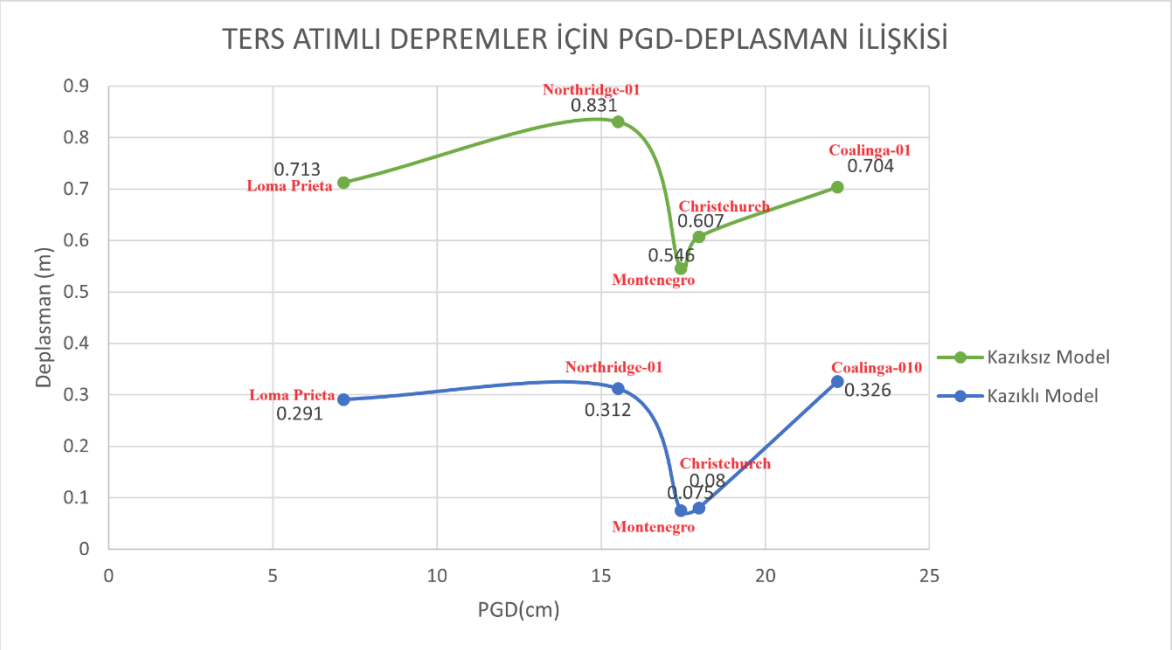
Şekil 9. 21. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.21.'de Northridge-01 depreminin yüksek deplasman yapmasının sebebi PGV değerinin yüksek olmasıdır. Loma Prieta depreminin en düşük PGV değerine sahip olmasına rağmen yüksek deplasman yapmasının nedeni Arias Yoğunluğu ve PGV değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. 22. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

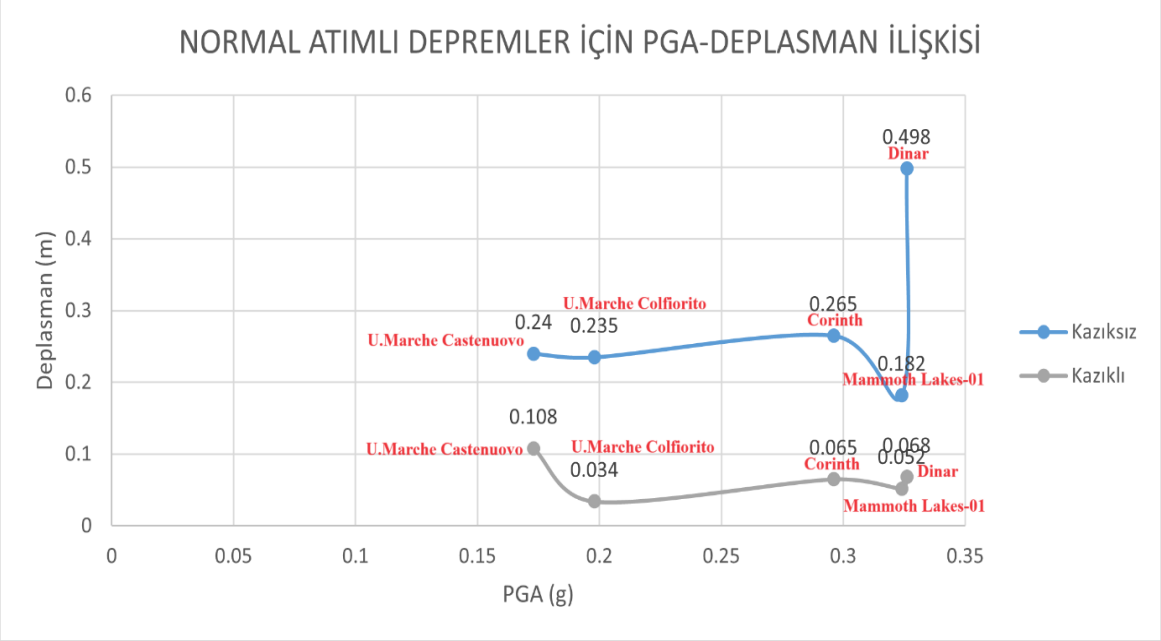
Şekil 9.22.'de Montenegro depreminin Housner Yoğunluğu da düşük diğer parametreleri de düşük olduğu için düşük deplasman yapmıştır. Christchurch depreminin yüksek Housner Yoğunluğu olmasına rağmen diğer parametrelerinin düşük olması nedeniyle düşük deplasman yapmıştır.



Şekil 9. 23. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği

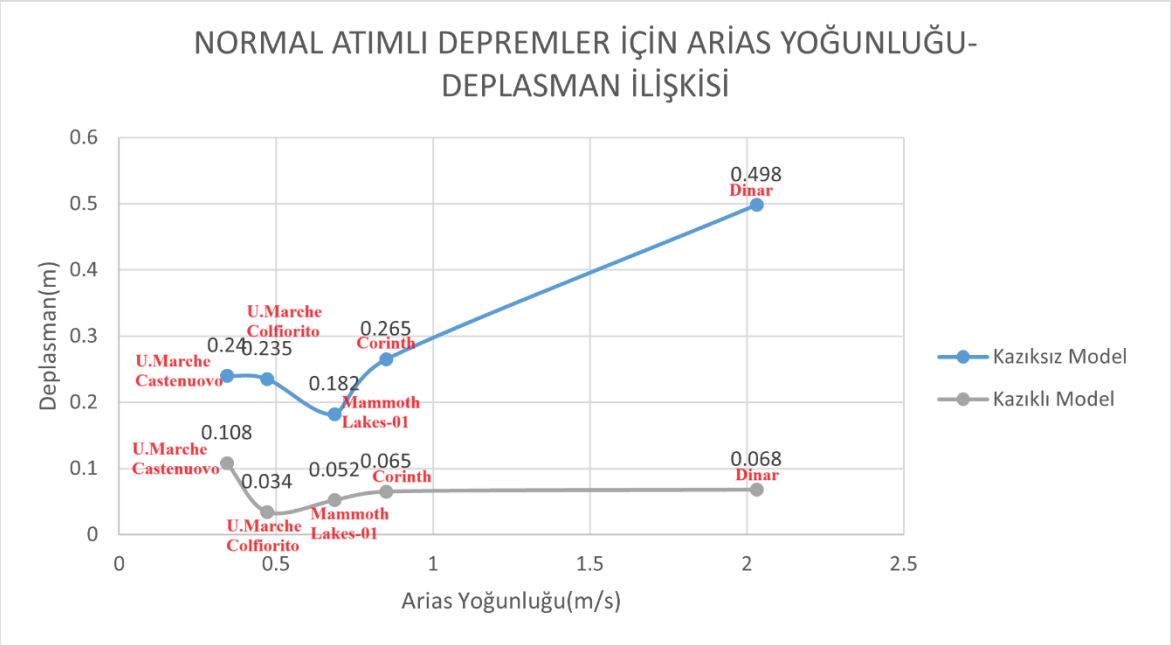
Şekil 9.23.'de Loma Prieta depreminin en düşük PGV ve PGD değerine sahip olmasına rağmen yüksek deplasman yapmasının nedeni Arias Yoğunluğu ve PGV değerinin yüksek olmasıdır. Coalinga-01 depreminin PGA, PGV, Arias Yoğunluğu ve PGD değerleri yüksek olduğu için deplasman değerleri yüksektir.

9.1.3. Normal Atımlı Depremlerin Deplasman Analiz Yorumları



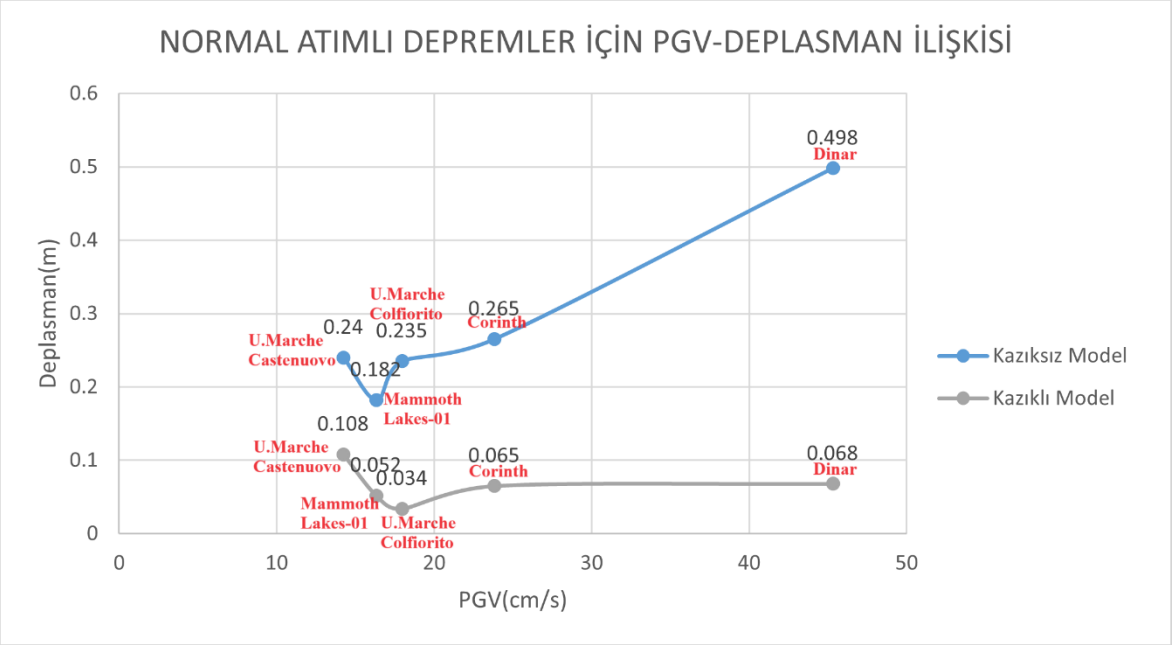
Şekil 9. 24. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.24.'de Doğrultu ve ters atımlı depremlerde olduğu gibi PGA ile deplasmanın doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmamaktadır. Umbra Marche depremi Castenuovo istasyonundaki ivme kayıtlarının analiz sonuçlarına göre en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen kazıklı modelde en yüksek deplasmana sahiptir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakarak yorum yapmak yanıltabilir. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu ve PGV ile deplasman ilişkisi grafikleri incelenmiştir.



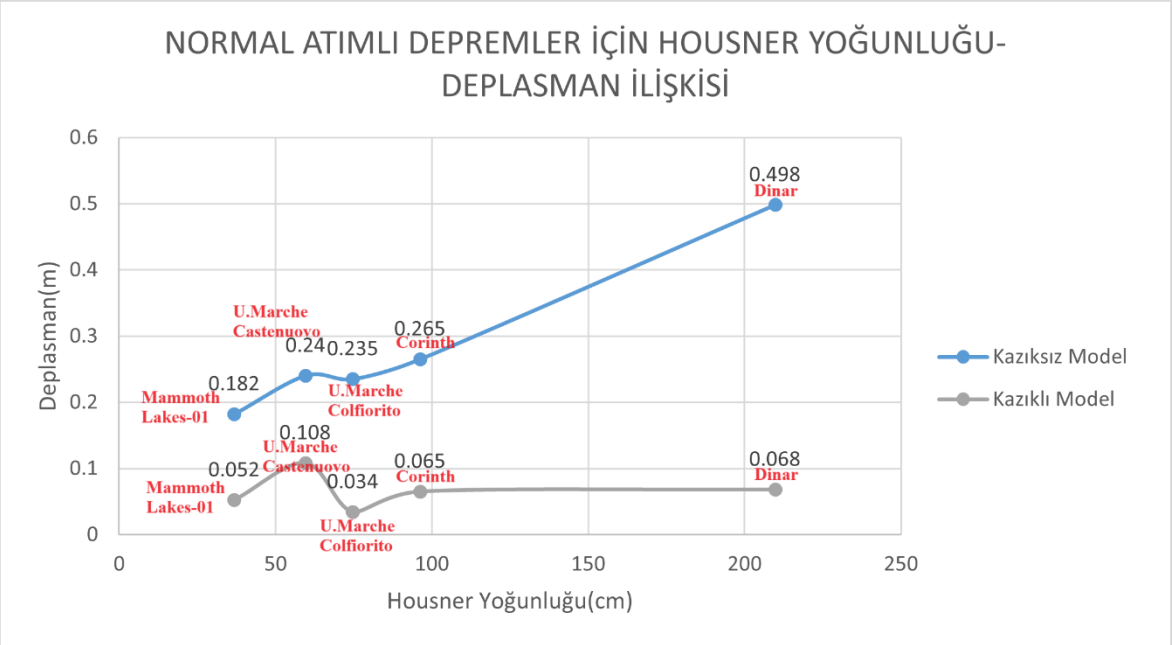
Şekil 9. 25. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.25.'de Dinar depreminin Arias yoğunluğu yüksek olduğu için kazıksız temel modelinde deplasmanı yüksektir ancak kazıklı model temelinde diğerlerinden yüksek deplasman yapmamıştır.



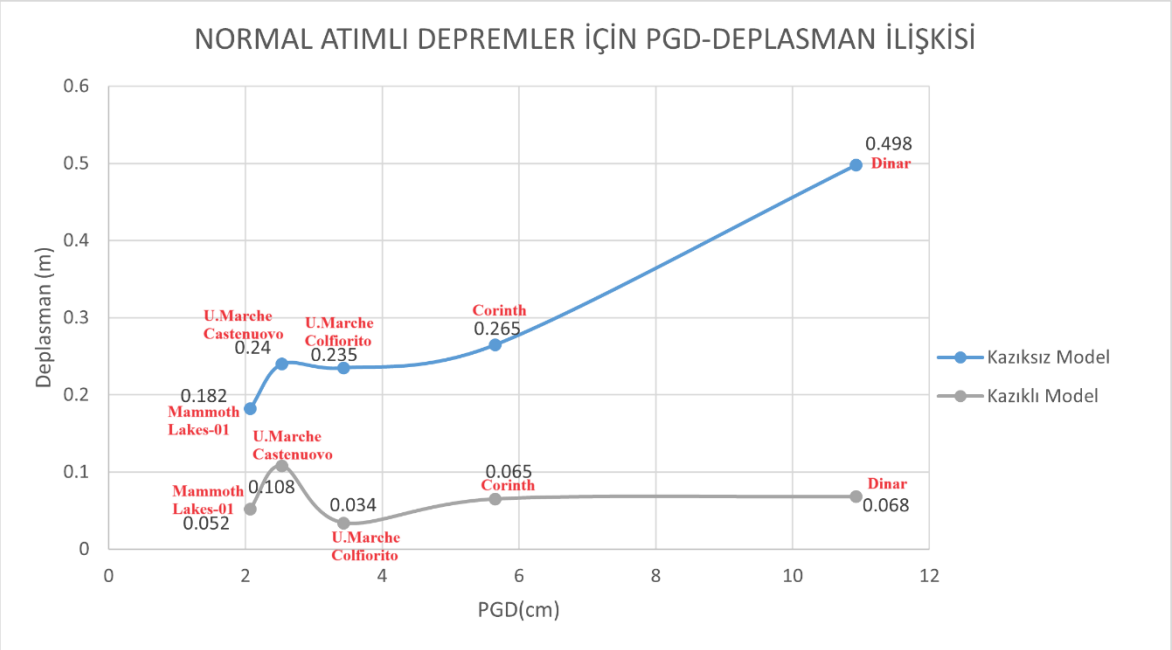
Şekil 9. 26. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.26.'da Dinar depremi hariç diğer depremlerin PGV değerleri birbirine yakın olduğu için deplasmanları da yaklaşık değerlere sahiptir. Umbra Marche (Castenuovo istasyonu) depremi düşük PGV değeri olmasına rağmen yüksek deplasman yapmıştır.



Şekil 9. 27. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.27.'de kazıksız temel modelinde Housner yoğunluğu arttıkça deplasman artmıştır. Kazıklı temel modelinde ise doğru orantılı artış görülmemektedir. Mammoth Lakes-01 depreminin en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük deplasman yapmasının nedeni Housner Yoğunluğu değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

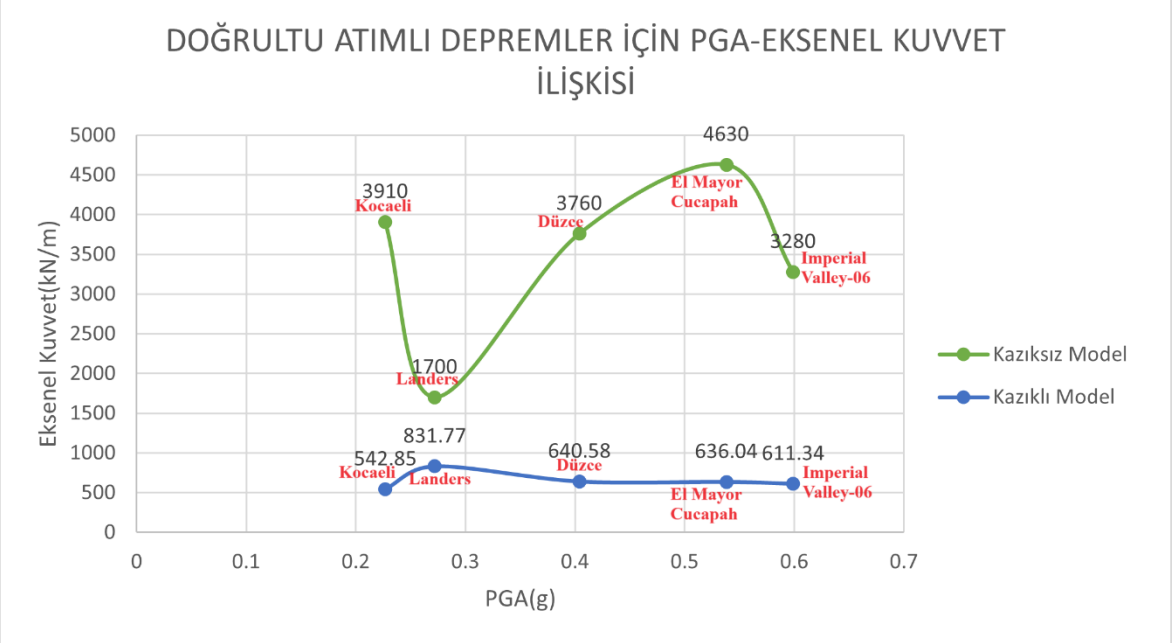


Şekil 9. 28. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Deplasman İlişkisi Grafiği

Şekil 9.28.'de kazıksız temel modelinde Housner yoğunluğu arttıkça deplasman artmıştır. Kazıklı temel modelinde ise doğru orantılı artış görülmemektedir. Mammoth Lakes-01 depreminin en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük deplasman yapmasının nedeni Housner Yoğunluğu değerinin düşük olmasıdır.

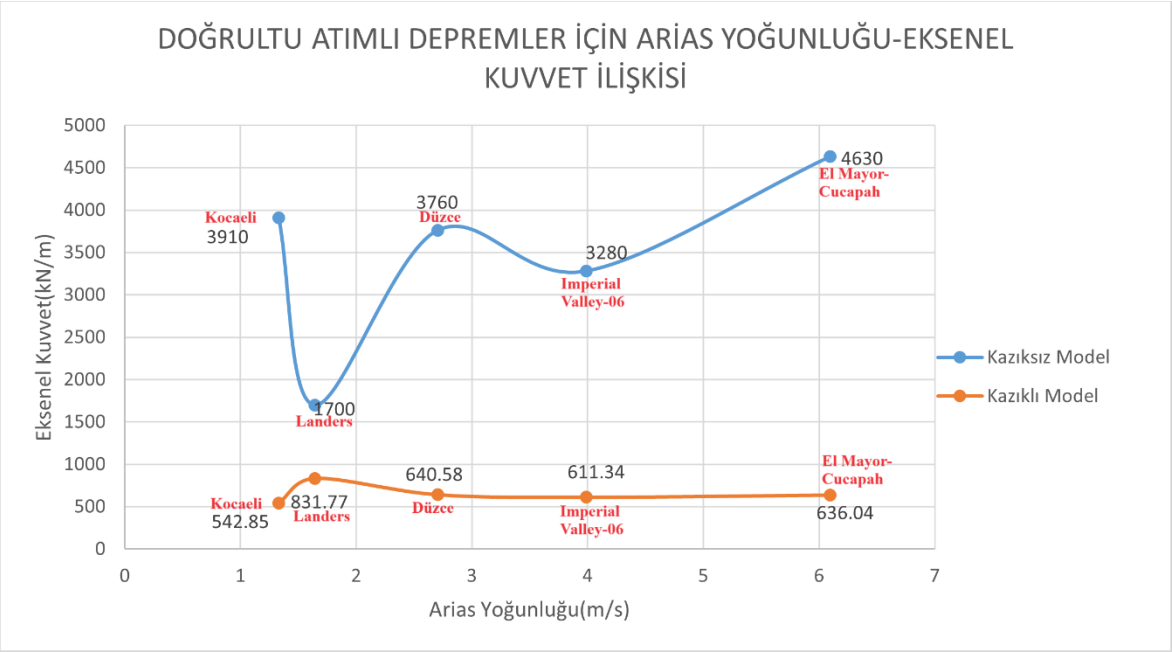
9.2. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıksız ve Kazıklı Temel Grafiklerinin Eksenel Kuvvete Göre İncelenmesi

9.2.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları



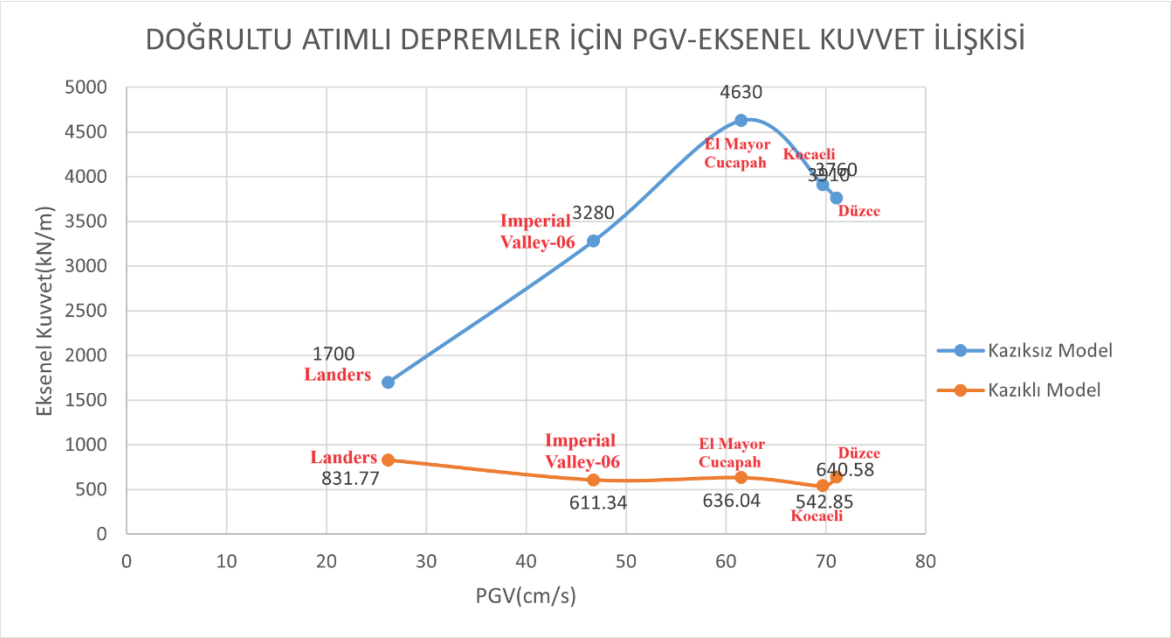
Şekil 9. 29. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.29.'da PGA ile eksenel kuvvetin doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmamaktadır. Imperial Valley-06 Depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük eksenel kuvvet değerine sahiptir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakarak yorum yapmak yanıltabilir. Aynı şekilde kazıksız modelde Kocaeli Depremi en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek eksenel kuvvet değerine sahiptir. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile eksenel kuvvet ilişkisi grafikleri incelenmiştir. Bu parametrelerin ne kadar etkili olduğu grafiklerden yorumlanarak deprem kaydı seçiminde ne kadar öneme sahip olduğu grafiklerde incelenmiştir.



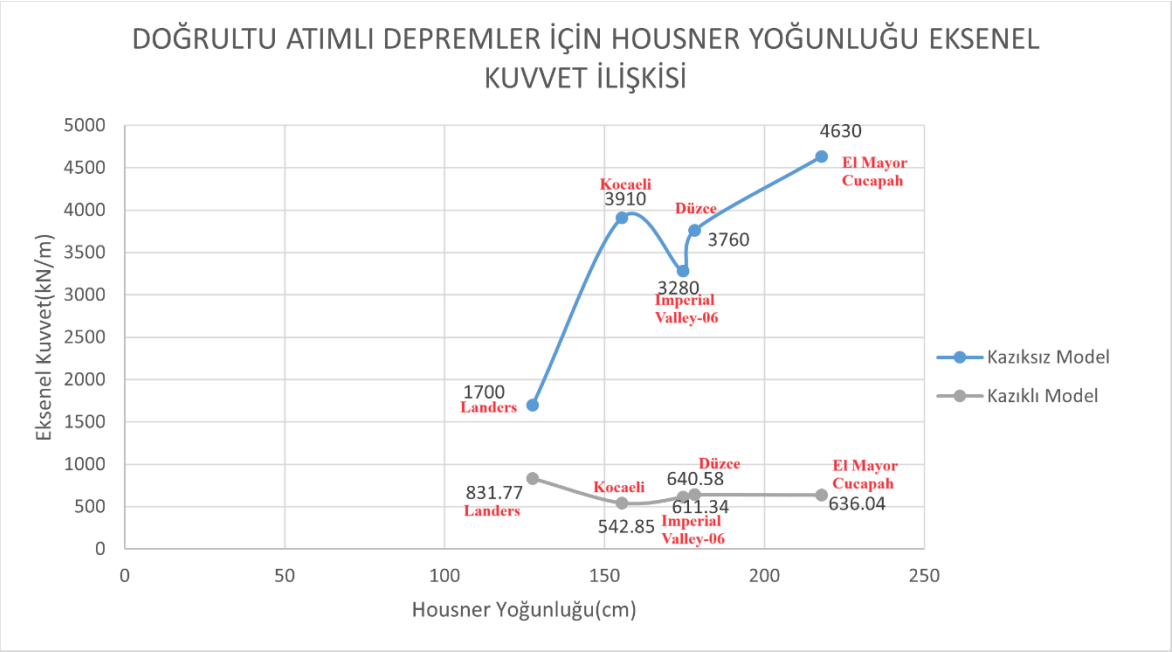
Şekil 9. 30. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.30.'da El Mayor Cucapah Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek eksenel kuvvet değerine sahip olmasının sebebi apaçık Arias Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır.



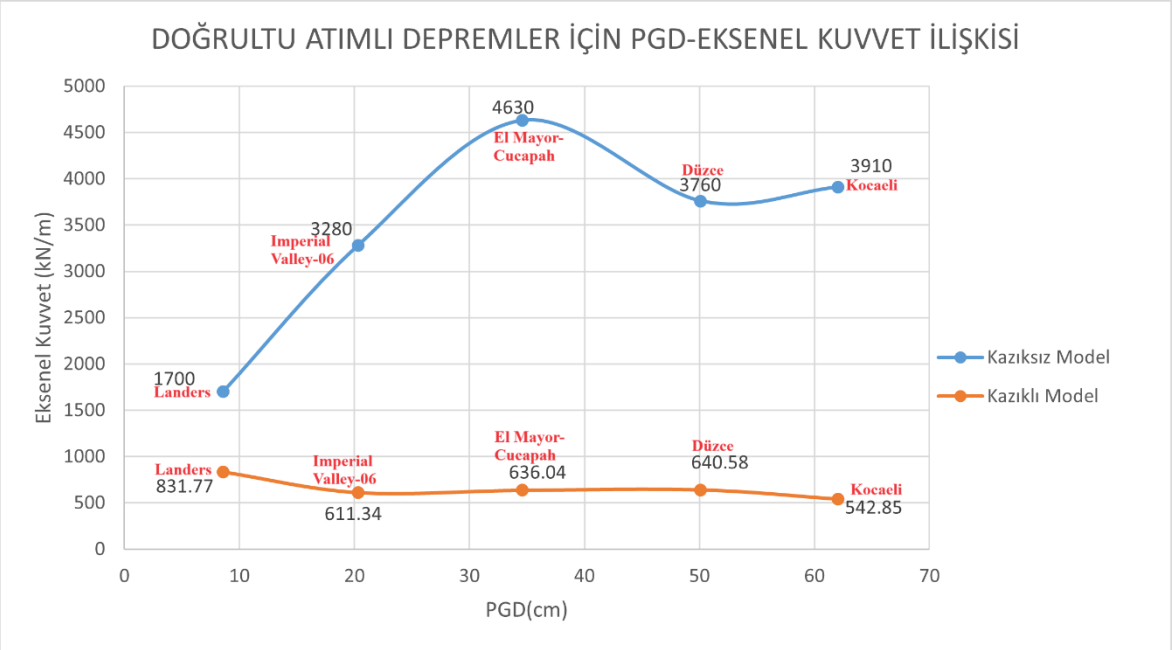
Şekil 9. 31. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.29.'da Kocaeli Depreminin en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek eksenel kuvvet değerine sahip olduğu görülmüştü. Şekil 9.31.'de ise yüksek eksenel kuvvet değerinin PGV değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 9. 32. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

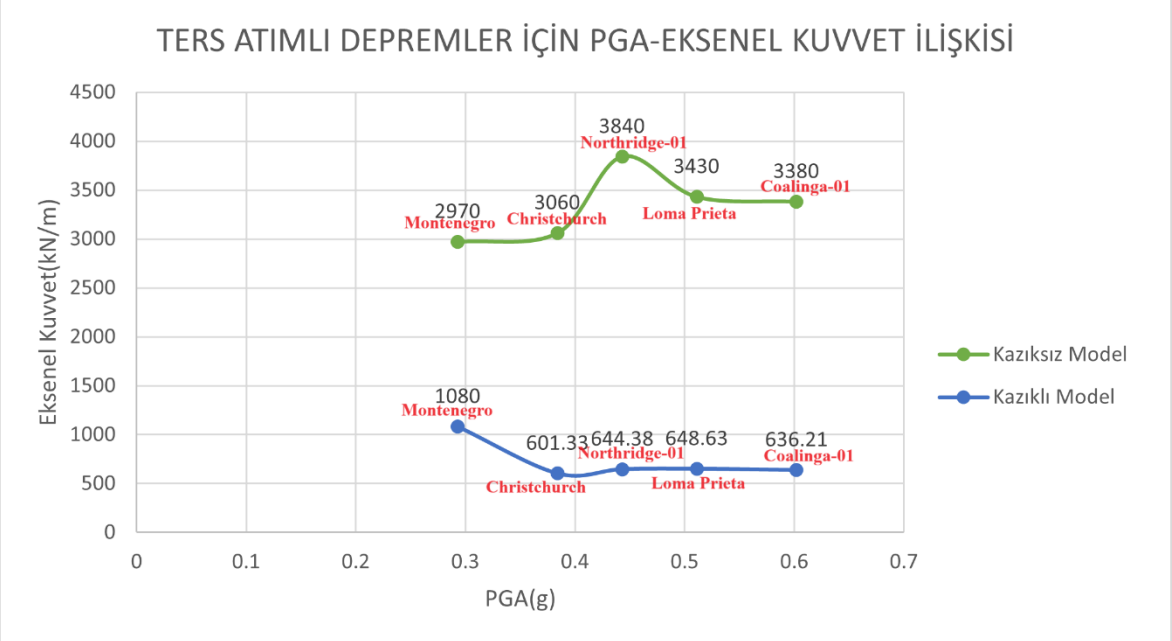
Şekil 9.32.'de El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek eksenel kuvvet değerine sahip olmasının sebebi Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Landers Depreminin PGA, Arias Yoğunluğu, PGV ve Housner Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı çok düşük eksenel kuvvet değerlerine sahiptir.



Şekil 9. 33. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD -Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

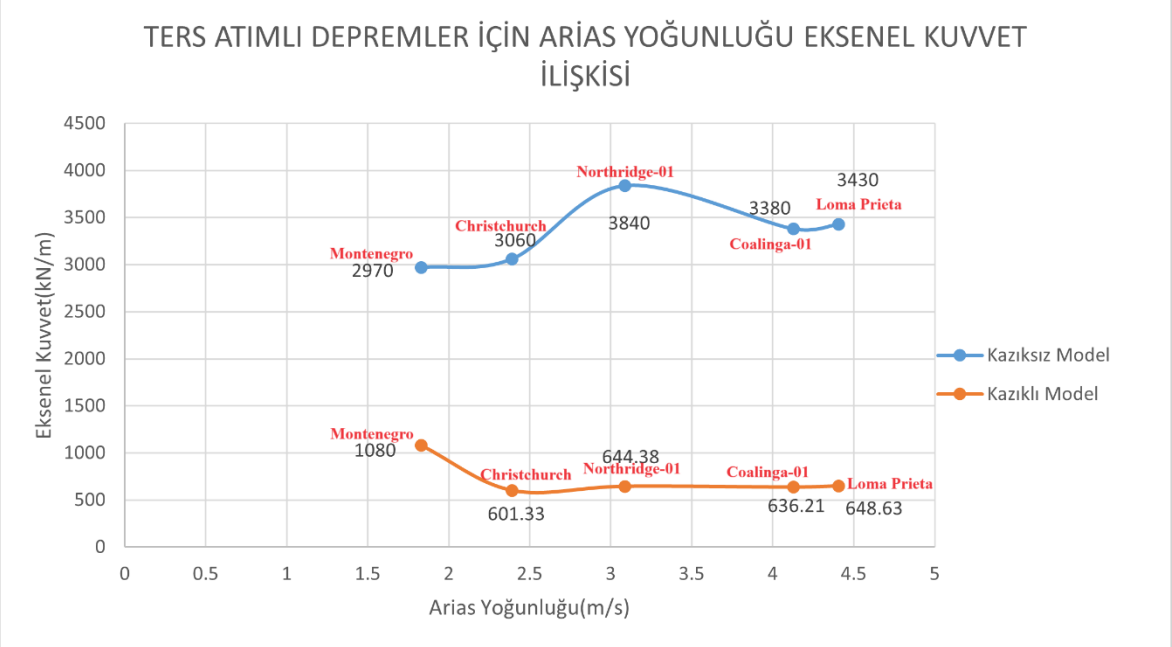
Şekil 9.33.'de kazıksız modelde Landers depreminin düşük eksenel kuvveti değerinin nedeni PGD değerinin düşük olmasıdır. Ancak kazıklı modelde bu yorumu yapmak doğru olmayacaktır.

9.2.2. Ters Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları



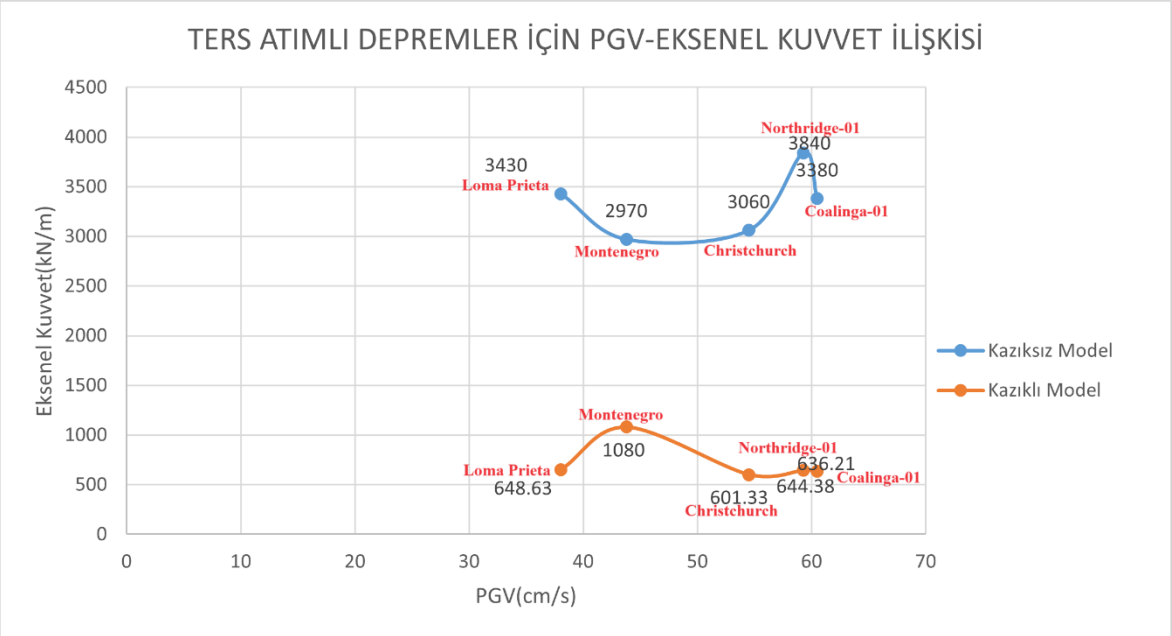
Şekil 9. 34. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.34.'de Doğrultu atımlı depremlerde olduğu gibi PGA ile eksenel kuvvet değerinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmaz. Coalinga-01 depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen en yüksek eksenel kuvvet değerine sahip değildir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakarak yorum yapmak yanıltabilir. Montenegro ve Northridge-01 depremi PGA değeri çok yüksek olmamasına rağmen yüksek eksenel kuvvet değerine sahiptir. Bu kapsamda ek olarak Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile eksenel kuvvet ilişkisi grafikleri incelenmiştir.



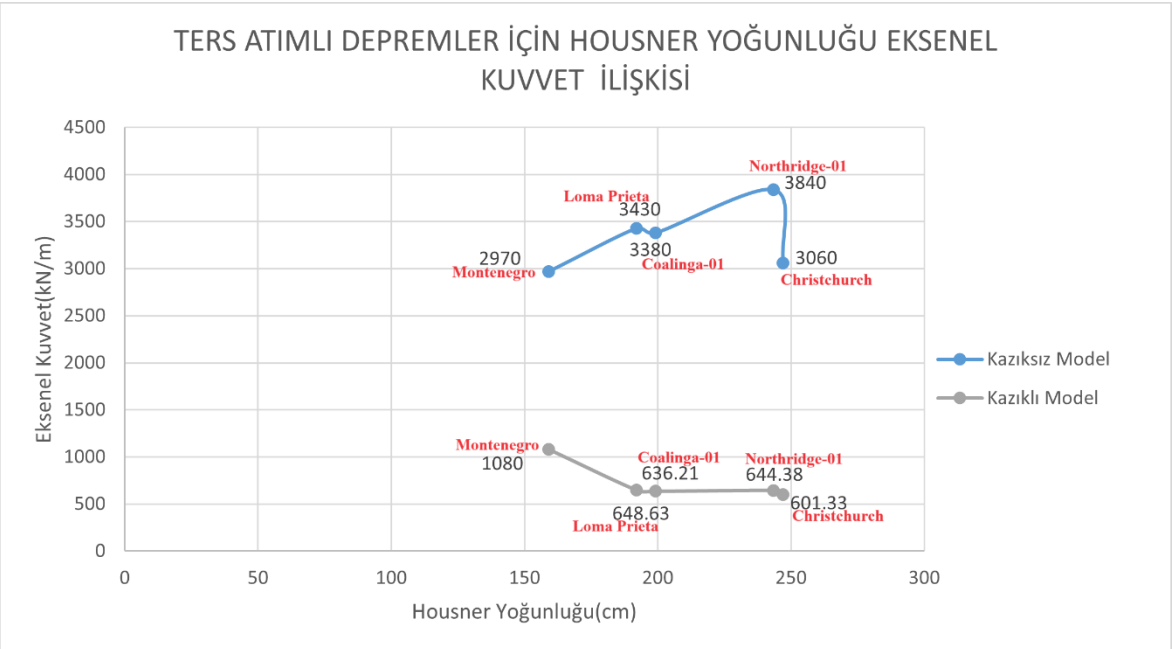
Şekil 9. 35. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.35.'de Arias yoğunluğu ile PGA grafiklerinin benzer olduğu için sağlıklı yorum yapılamamaktadır. Örneğin Northridge-01 depreminin çok yüksek eksenel kuvvet değerine sahip olmasının sebebi Arias Yoğunluğunun yüksek olmasından denilemez çünkü Coalinga-01 ve Loma Prieta depremlerinden daha düşük Arias Yoğunluğuna sahiptir.



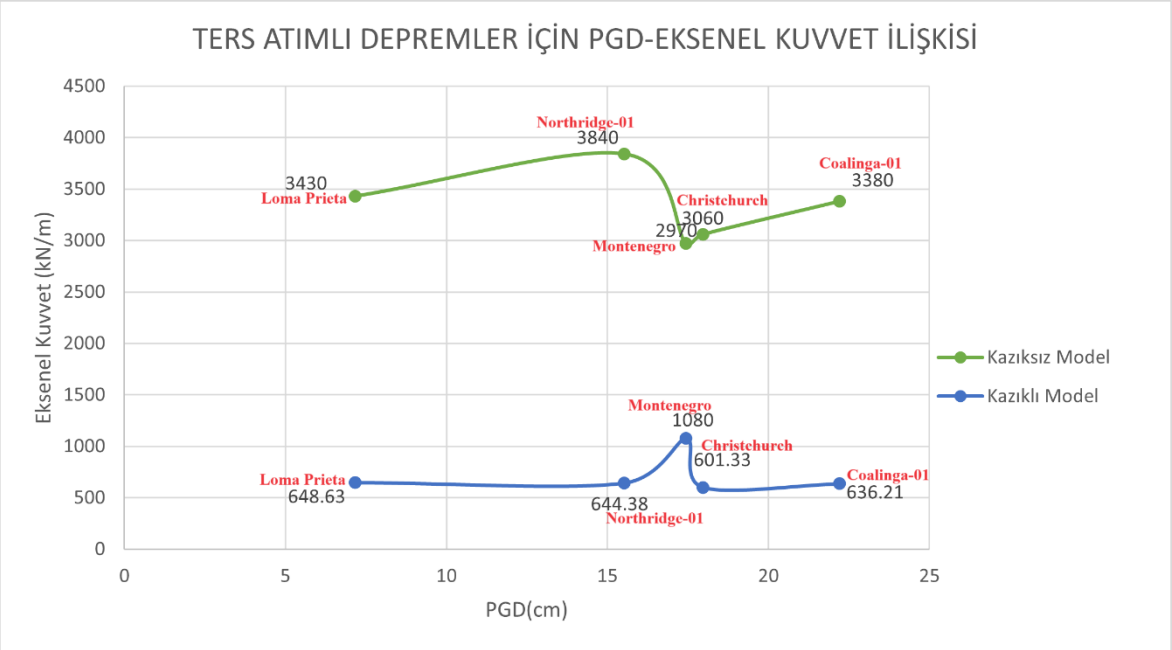
Şekil 9. 36. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.36.'da Northridge-01 depreminin yüksek eksenel kuvvet değerine sahip olmasının sebebi PGV değerinin yüksek olmasıdır. Loma Prieta depreminin Arias Yoğunluğu en yüksek değere sahipken PGV değeri en düşüktür.



Şekil 9. 37. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

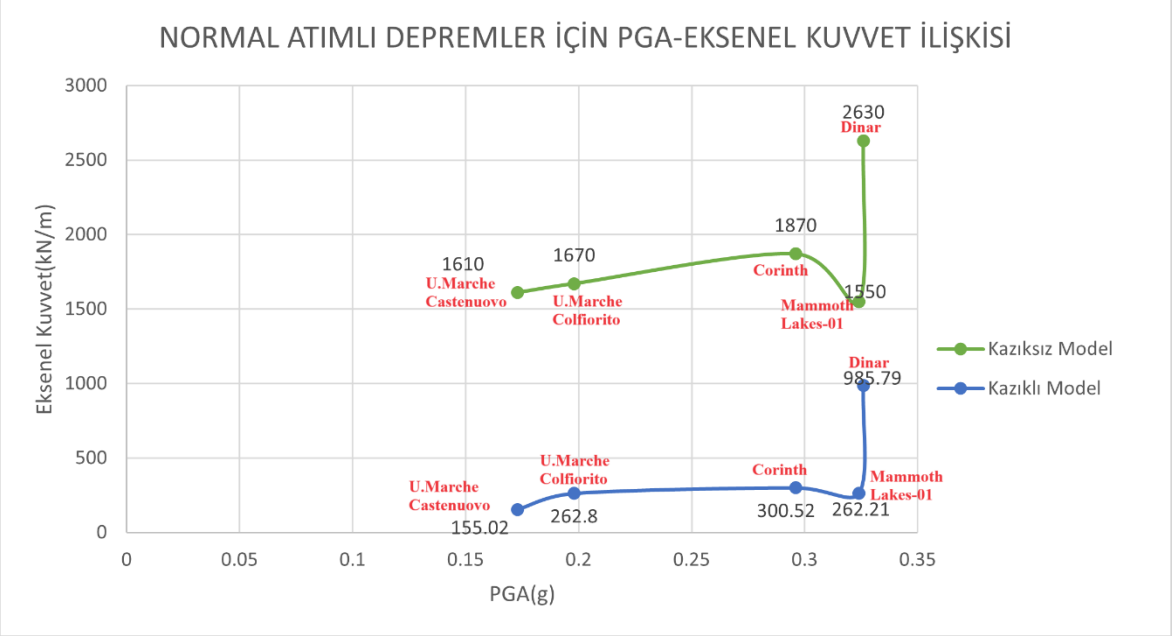
Şekil 9.37.'de Housner Yoğunluğu ile eksenel kuvvet ilişkisi grafiği incelenirse kazıklı modeldeki Montenegro depreminin düşük Housner Yoğunluğu olmasına rağmen yüksek eksenel kuvvet değerinin olmasından dolayı diğer parametrelerinin incelenmesi daha doğru sonuçlar verecektir.



Şekil 9. 38. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

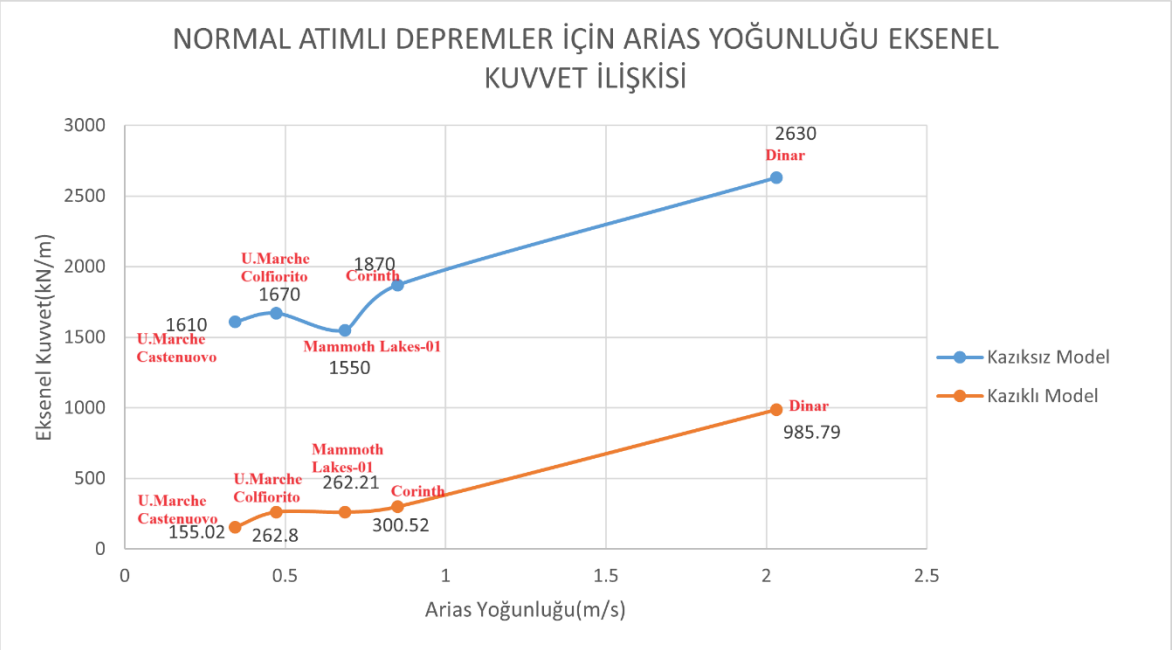
Şekil 9.38.'de Loma Prieta depreminin Arias Yoğunluğu en yüksek değere sahipken PGV ve PGD değeri en düşüktür.

9.2.3. Normal Atımlı Depremlerin Eksenel Kuvvet Analiz Yorumları



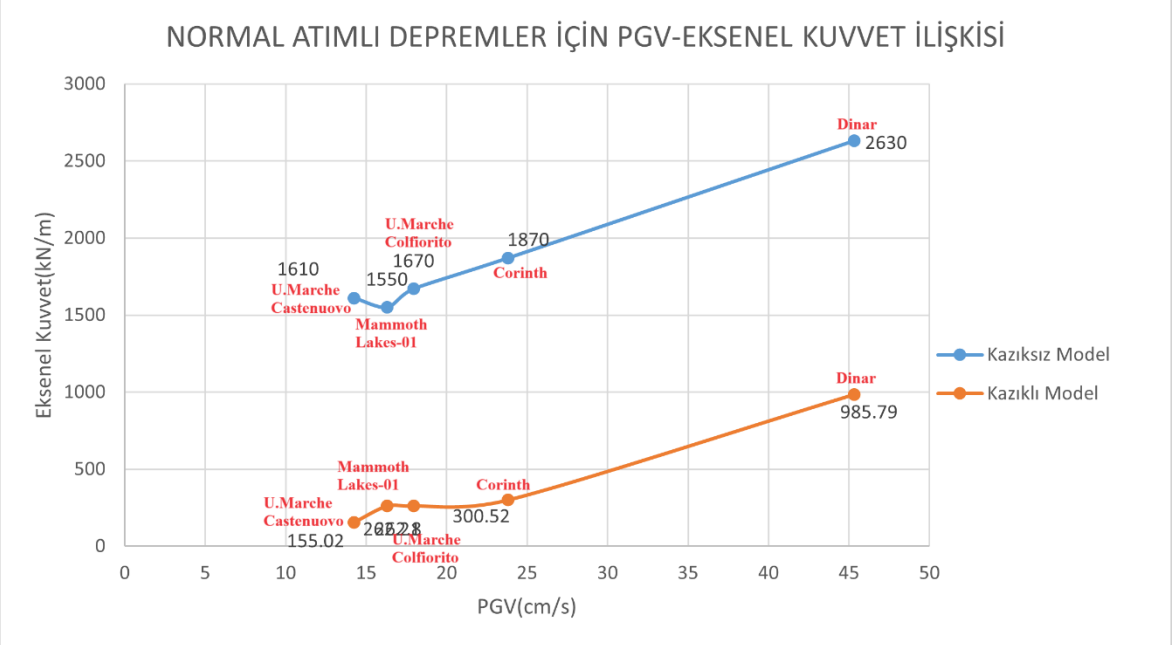
Şekil 9. 39. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.39.'da Dinar depreminin eksenel kuvvet değeri ve PGA değeri en yüksektir. PGA ile eksenel kuvvetin bu grafiğe bakılarak tam anlamıyla doğru orantılı olduğu söylenemez. Mammoth Lakes-01 depreminin PGA değeri yüksek olmasına rağmen eksenel kuvvet değeri düşüktür. Bu nedenle PGV, Arias Yoğunluğu PGD, Housner Yoğunluğu ve PGD grafiklerine bakılarak değerlendirilebilir.



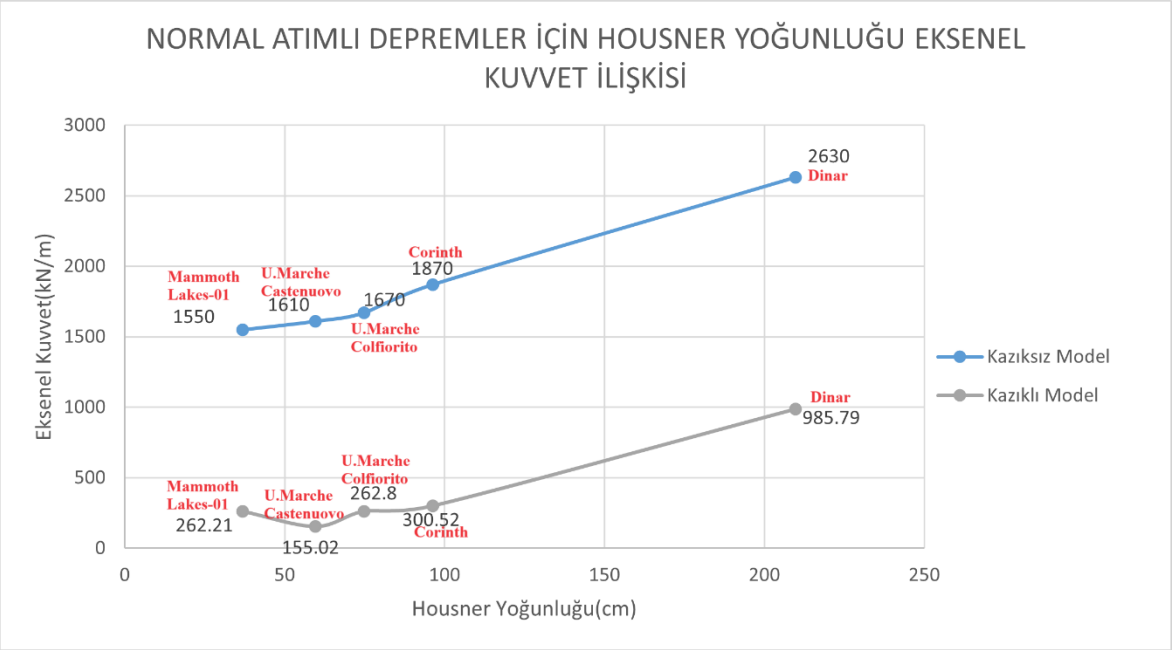
Şekil 9. 40. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.40.'da Dinar depreminin Arias yoğunluğu da yüksek olduğu için eksenel kuvvet değeri diğer depremlerden daha yüksek sonuçlar vermiştir. U.Marche (Castenuovo istasyonu) depreminin de Arias Yoğunluğu diğerlerinden düşük olduğu için eksenel kuvveti çok düşük değer göstermiştir.



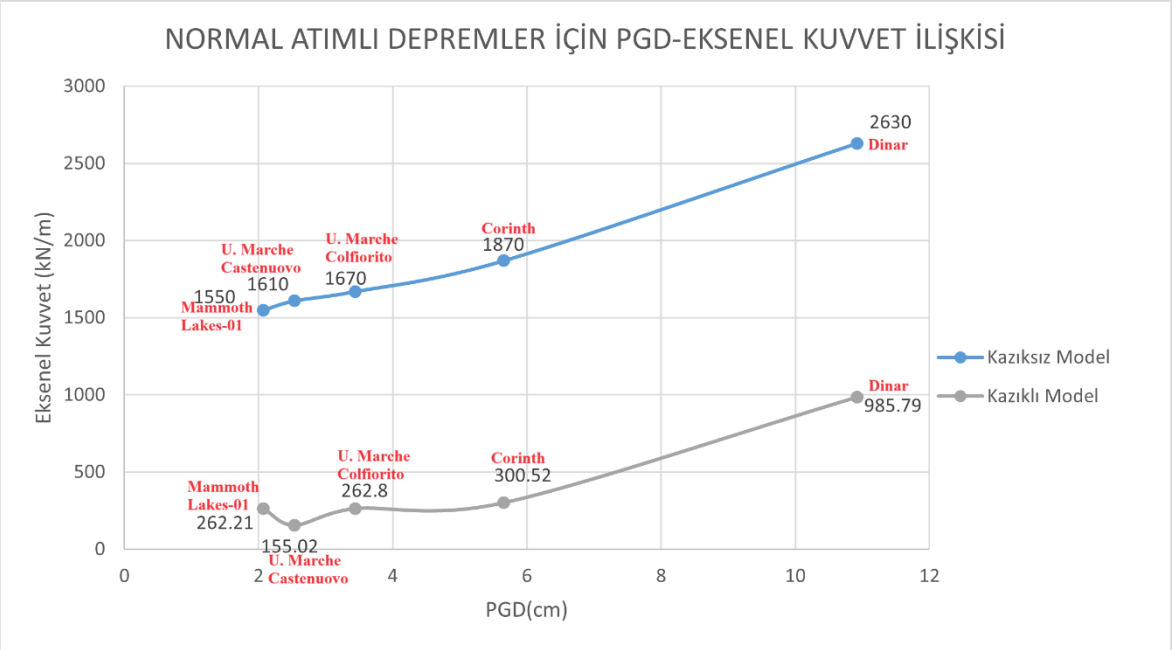
Şekil 9. 41. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.41.'de Dinar depreminin PGV değeri yüksek olduğu için eksenel kuvvet değeri de yüksektir. Corinth depreminin de PGV değeri yüksek olduğu için eksenel kuvvet değeri U.Marche Castenuovo, Mammoth Lakes-01 ve U.Marche Colfiorito depremlerinden daha yüksek değerler göstermiştir.



Şekil 9. 42. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.42.'de Housner Yoğunluğu ile eksenel kuvvet ilişkisinin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Housner yoğunluğu arttıkça eksenel kuvvet değeri artmıştır. Kazıklı temel modelinde ise Mammoth Lakes-01 depremi dışında doğru orantılı artış görülmektedir.

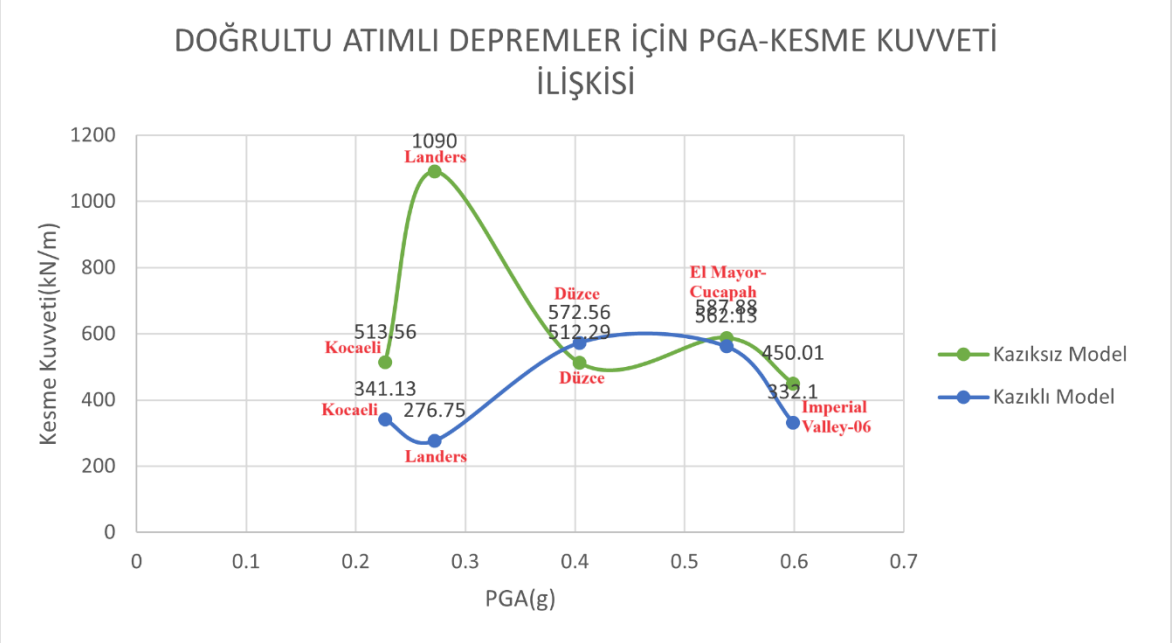


Şekil 9. 43. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD -Eksenel Kuvvet İlişkisi Grafiği

Şekil 9.43.'de PGD ile eksenel kuvvet ilişkisinin doğru orantılı olduğu görülmektedir. PGD arttıkça eksenel kuvvet değeri artmıştır. Kazıklı temel modelinde ise Umbra Marche (Castenuovo istasyonu) depremi dışında doğru orantılı artış görülmektedir. Dinar depreminin PGD, PGA, PGV, Arias Yoğunluğu ve Housner Yoğunluğu çok yüksek değere sahip olduğundan dolayı eksenel kuvvet değeri de diğer depremlerin analiz sonuçlarından daha yüksek değere sahiptir.

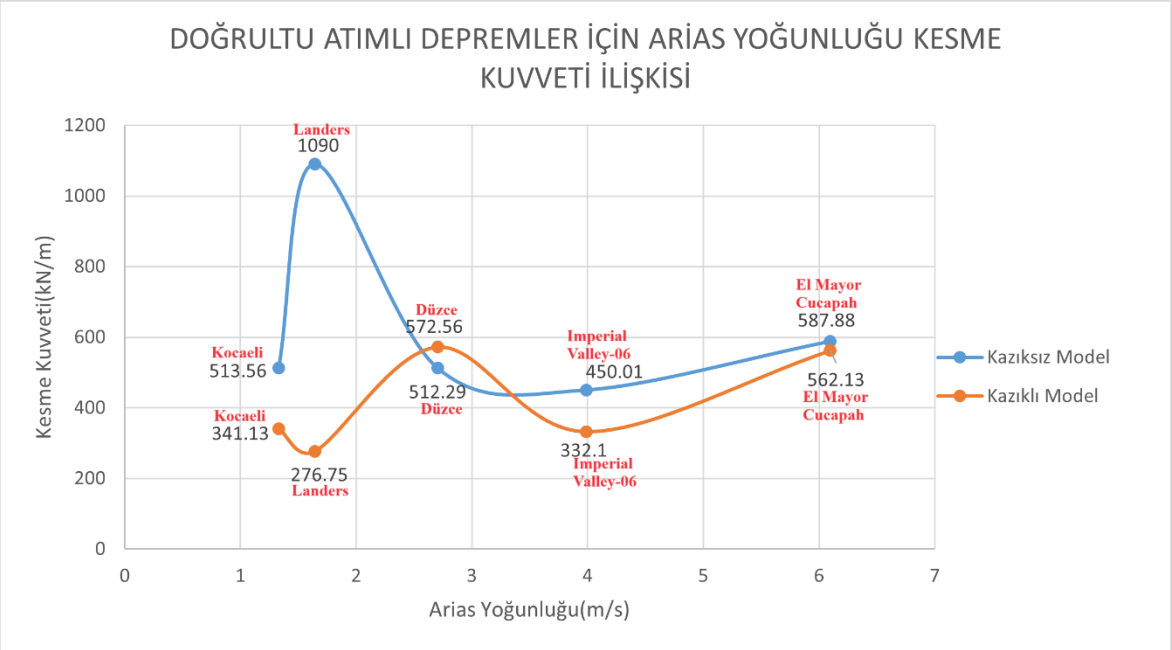
9.3. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıksız ve Kazıklı Temel Grafiklerinin Kesme Kuvvetine Göre İncelenmesi

9.3.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları



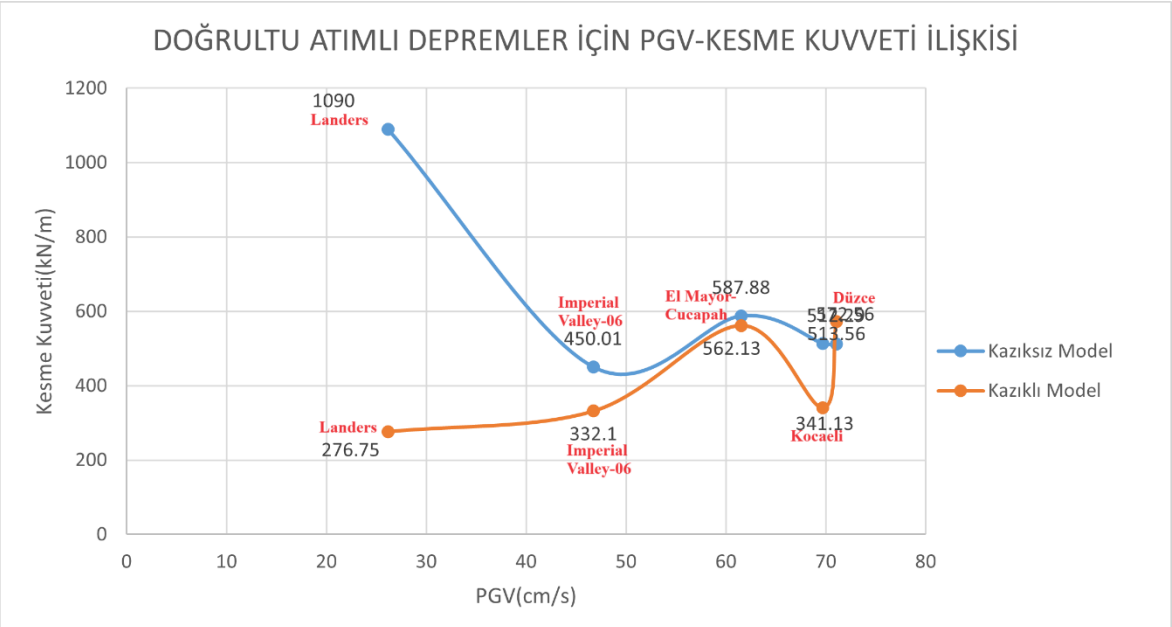
Şekil 9. 44. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.44.'de PGA ile kesme kuvvetinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak doğru olmaz. Imperial Valley-06 Depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük kesme kuvveti değerine sahiptir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakılarak yorum yapmak yanıltabilir. Aynı şekilde kazıksız modelde Landers Depremi düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek kesme kuvveti değerine sahiptir. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile kesme kuvveti ilişkisi grafikleri incelenmiştir. Bu parametrelerin ne kadar etkili olduğu grafiklerden yorumlanarak deprem kaydı seçiminde ne kadar öneme sahip olduğu grafiklerde incelenmiştir.



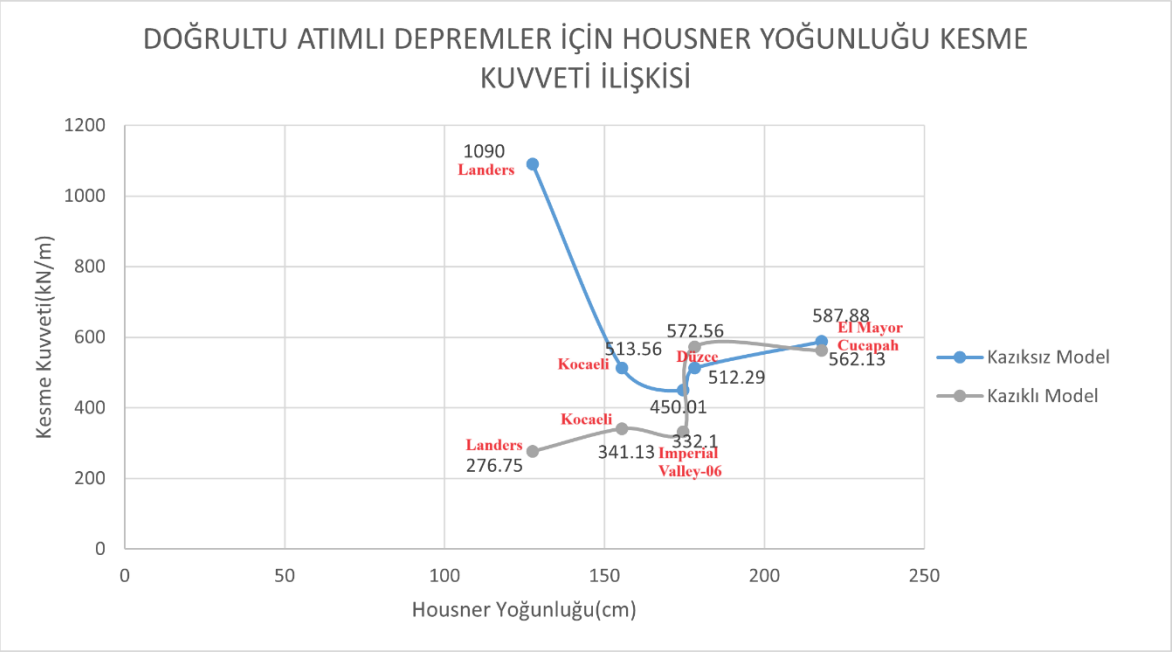
Şekil 9. 45. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.45.'de El Mayor Cucapah Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek kesme kuvvet değerine sahip olmasının sebebi apaçık Arias Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır.



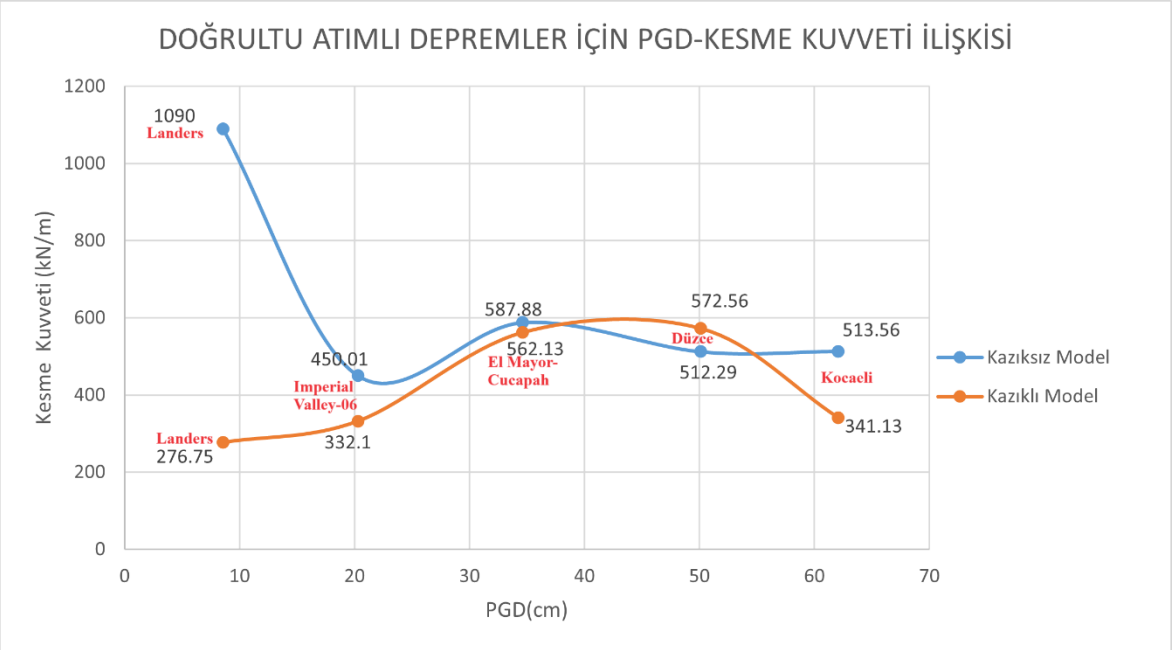
Şekil 9. 46. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.44.'de Kocaeli Depreminin en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek kesme kuvveti değerine sahip olduğu görülmüştü. Şekil 9.46.'da ise yüksek kesme kuvveti değerinin PGV değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 9. 47. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

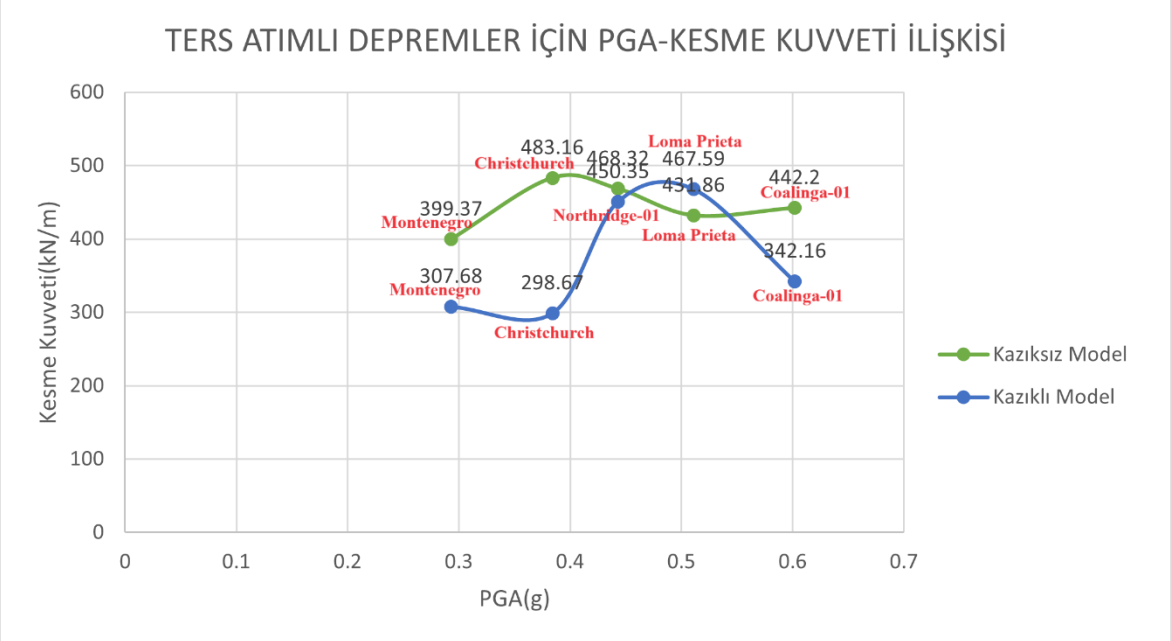
Şekil 9.47.'de El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek kesme kuvveti değerine sahip olmasının sebebi Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Kazıklı modelde Landers Depreminin Housner Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı çok düşük kesme kuvveti değerlerine sahiptir.



Şekil 9. 48. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

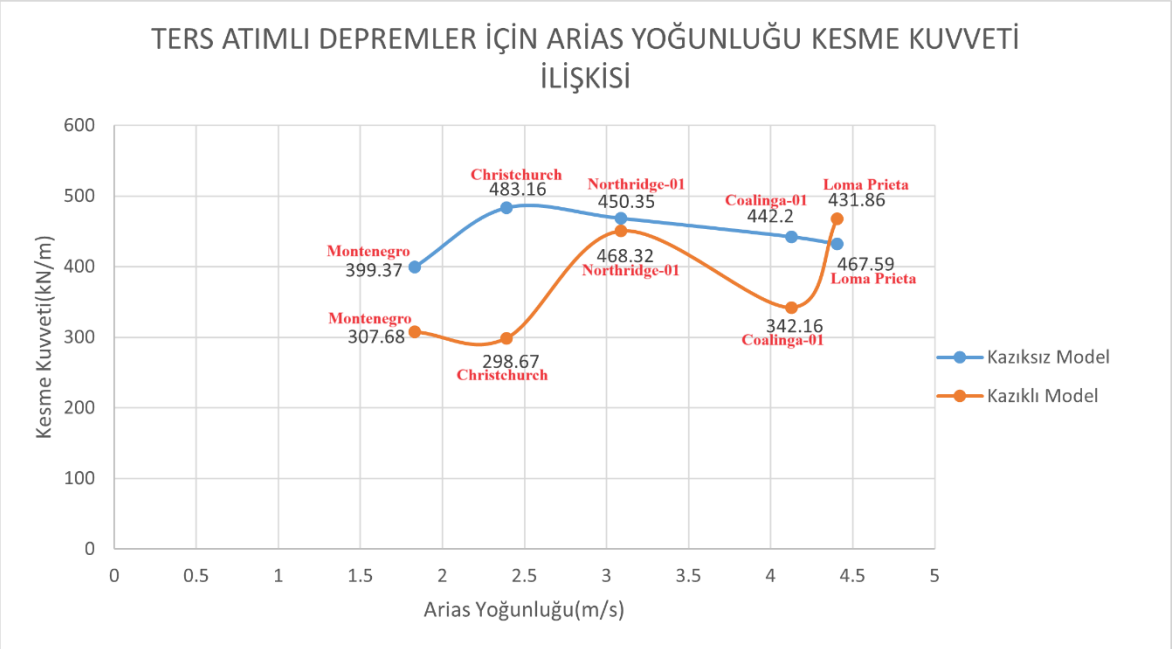
Şekil 9.48.'de Kazıklı modelde Landers Depreminin PGD, PGA, Arias Yoğunluğu, PGV ve Housner Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı çok düşük kesme kuvveti değerlerine sahiptir.

9.3.2. Ters Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları



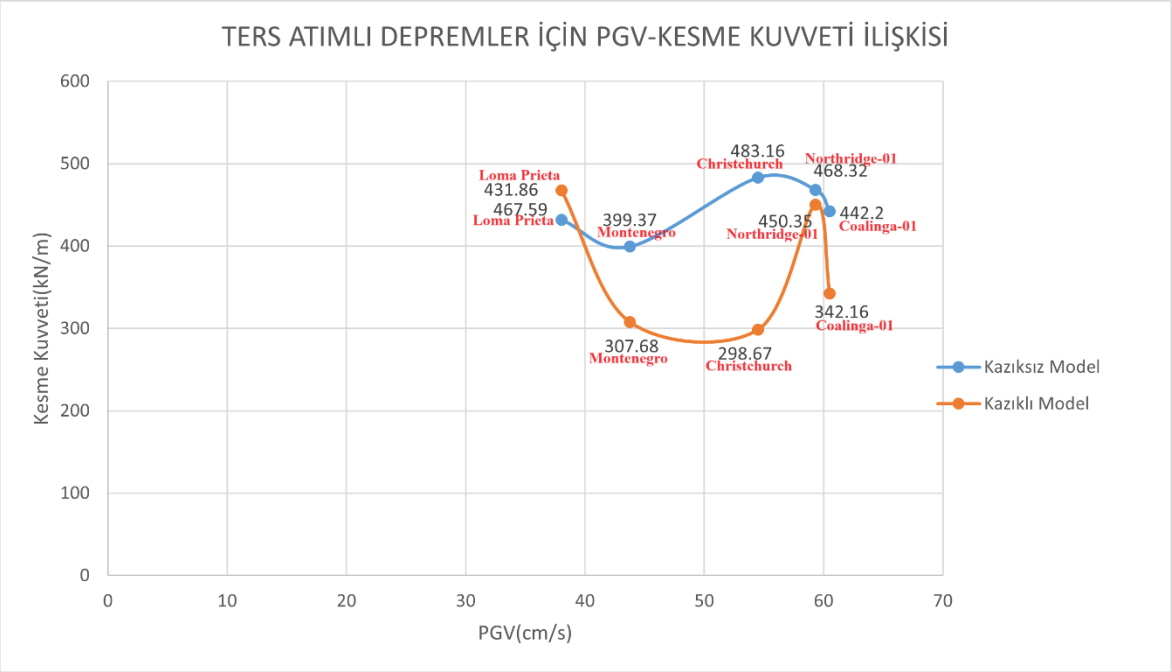
Şekil 9. 49. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.49.'da ters atımlı depremlerde doğrultu atımlı depremlerde olduğu gibi PGA ile kesme kuvveti değerlerinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmaz. Coalinga-01 depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen en yüksek kesme kuvveti değerine sahip değildir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakılarak yorum yapmak yanıltabilir. Bu kapsamda ek olarak Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu ve PGV ile deplasman ilişkisi grafikleri incelenmiştir.



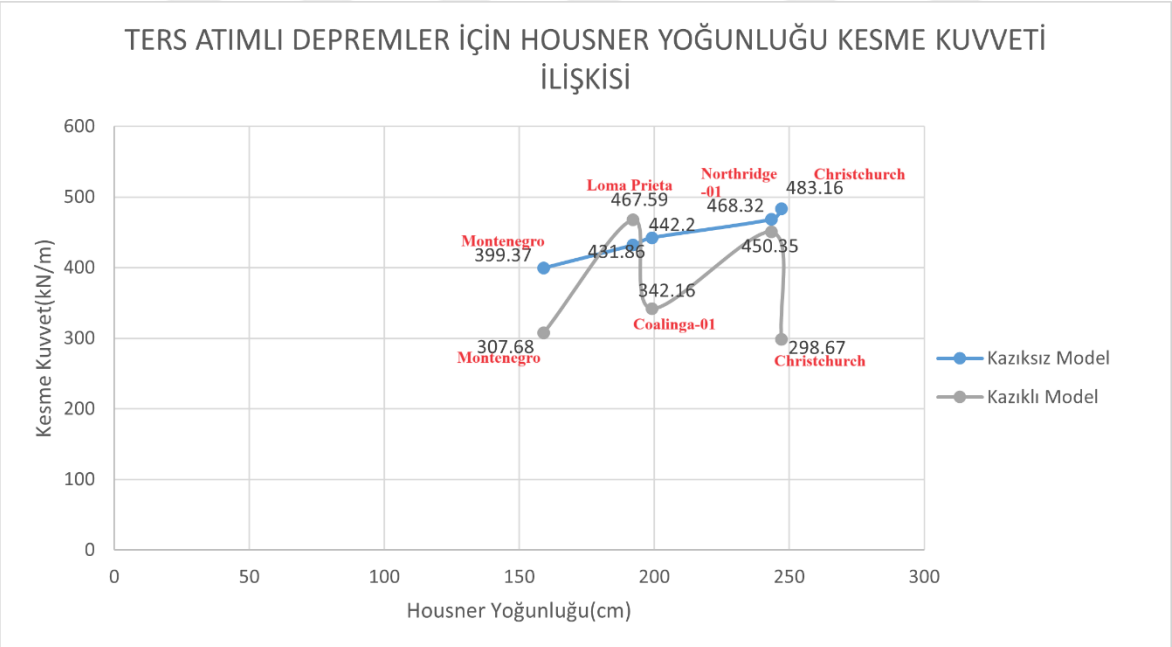
Şekil 9. 50. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.50.'de kazıklı modelde Loma Prieta depreminin kesme kuvvetinin yüksek olmasının nedeni Arias yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Montenegro depreminin kesme kuvveti değerinin düşük olmasının nedeni Arias yoğunluğunun en düşük değere sahip olmasından kaynaklanır.



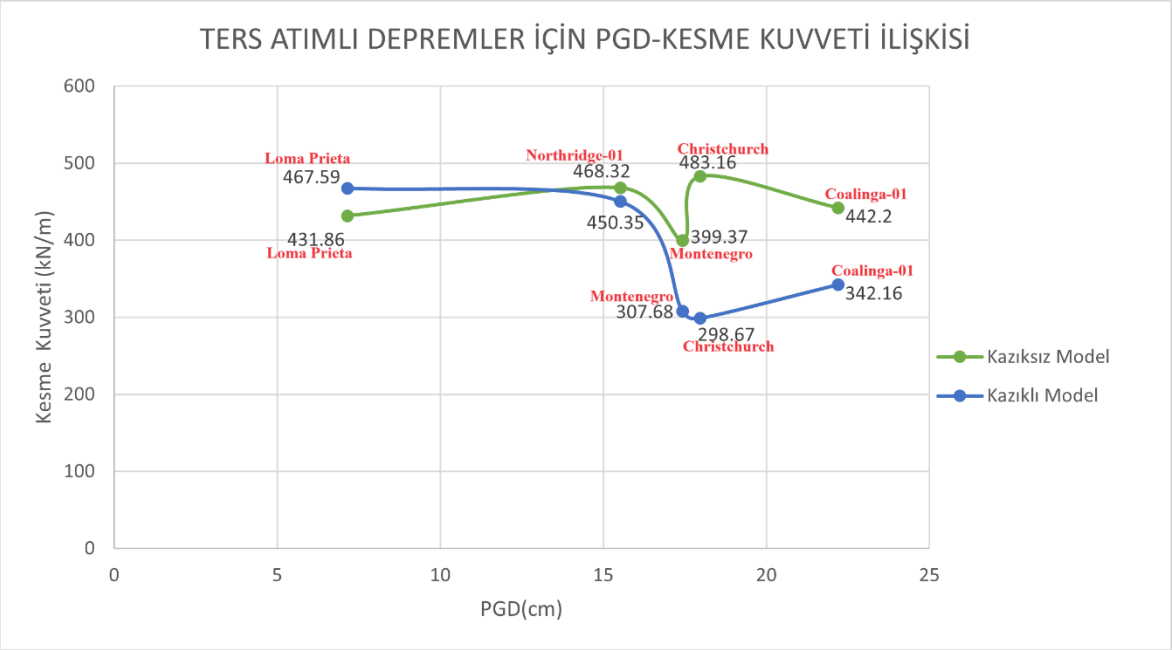
Şekil 9. 51. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.51.'de Northridge-01 depreminin yüksek kesme kuvveti değerine sahip olmasının sebebi PGV değerinin yüksek olmasıdır.



Şekil 9. 52. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

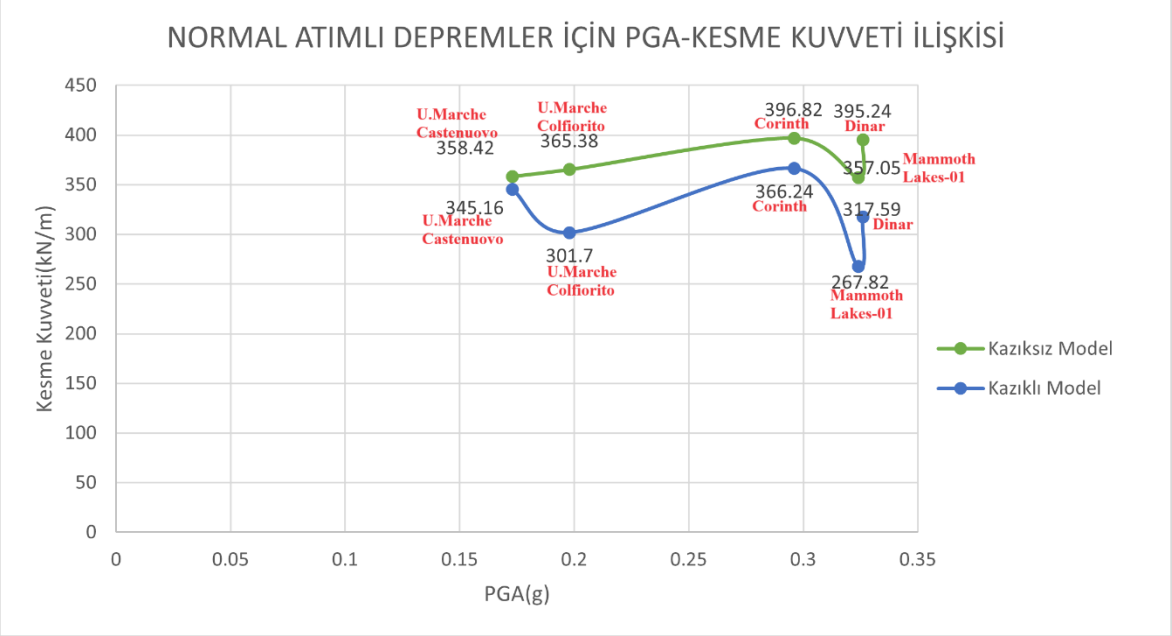
Şekil 9.52.'de kazıksız modelde Housner Yoğunluğu ile kesme kuvveti ilişkisi grafiği incelendiğinde doğru orantılı olduğu görülmektedir. Montenegro depreminin kesme kuvveti düşük olmasının nedeni Housner Yoğunluğu, PGA ve Arias Yoğunluğunun düşük olmasıdır.



Şekil 9. 53. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

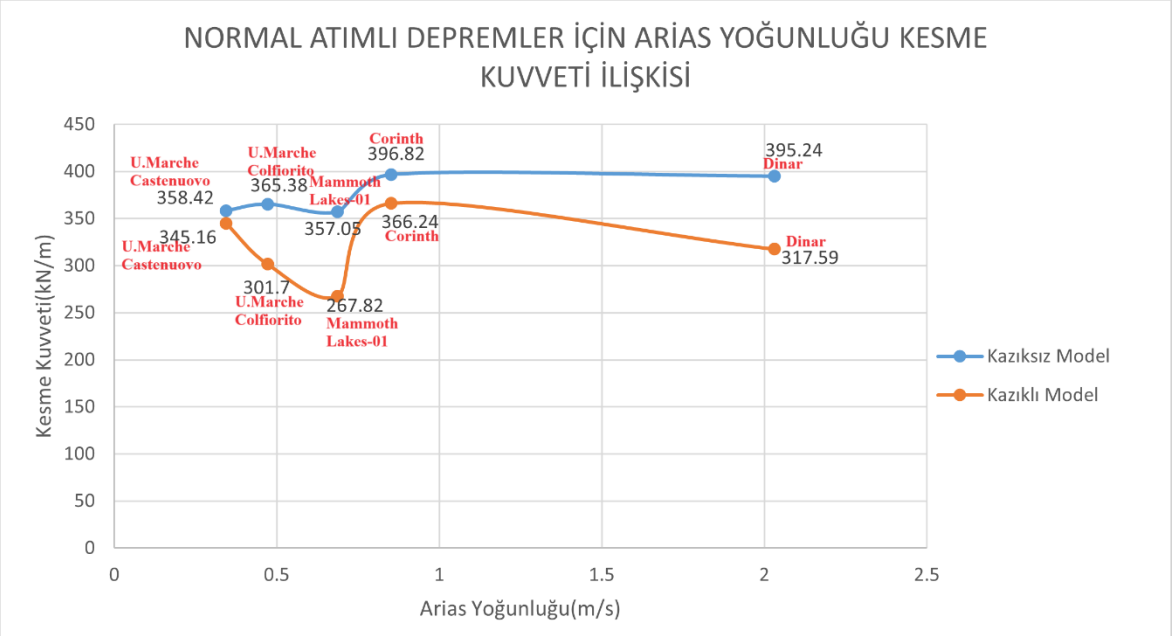
Şekil 9.53.'de Loma Prieta depreminin düşük PGD değerine sahip olduğu görülmektedir ancak yüksek kesme kuvveti değerine sahiptir bunun nedeni Arias Yoğunluğu ve PGA değerinin yüksek olmasıdır.

9.3.3. Normal Atımlı Depremlerin Kesme Kuvveti Analiz Yorumları



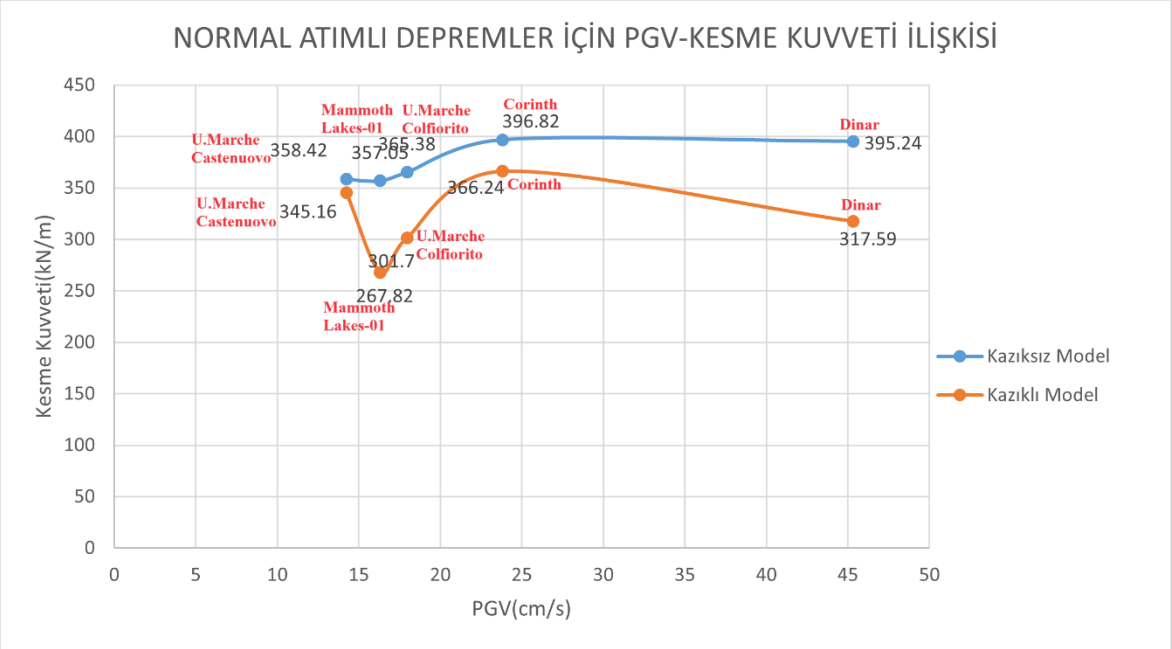
Şekil 9. 54. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.54.'de Mammoth Lakes-01 depremindeki PGA değerinin yüksek olmasına rağmen düşük kesme kuvveti değerine sahiptir. Bu kapsamda diğer parametrelerin incelenerek yorumlanması daha doğru olacaktır.



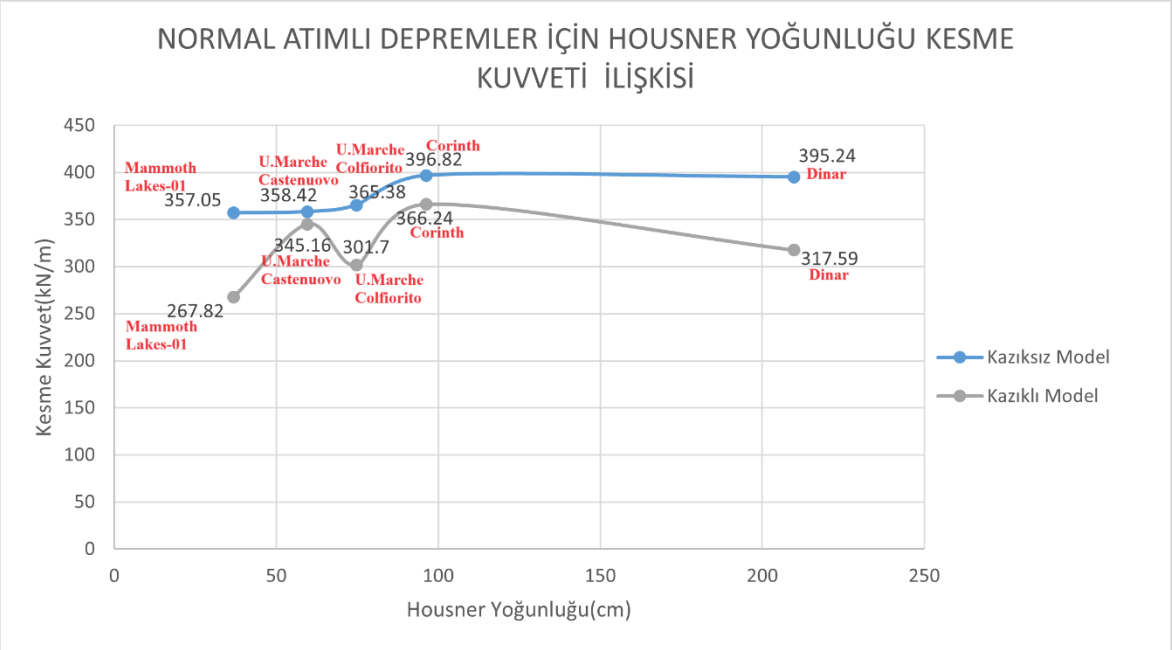
Şekil 9. 55. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.55.'de Arias Yoğunluğu arttıkça kesme kuvveti değerleri artmıştır yorumu yapılamaz. Diğer parametrelerle birlikte yorumlamak daha doğru sonuçlar verecektir.



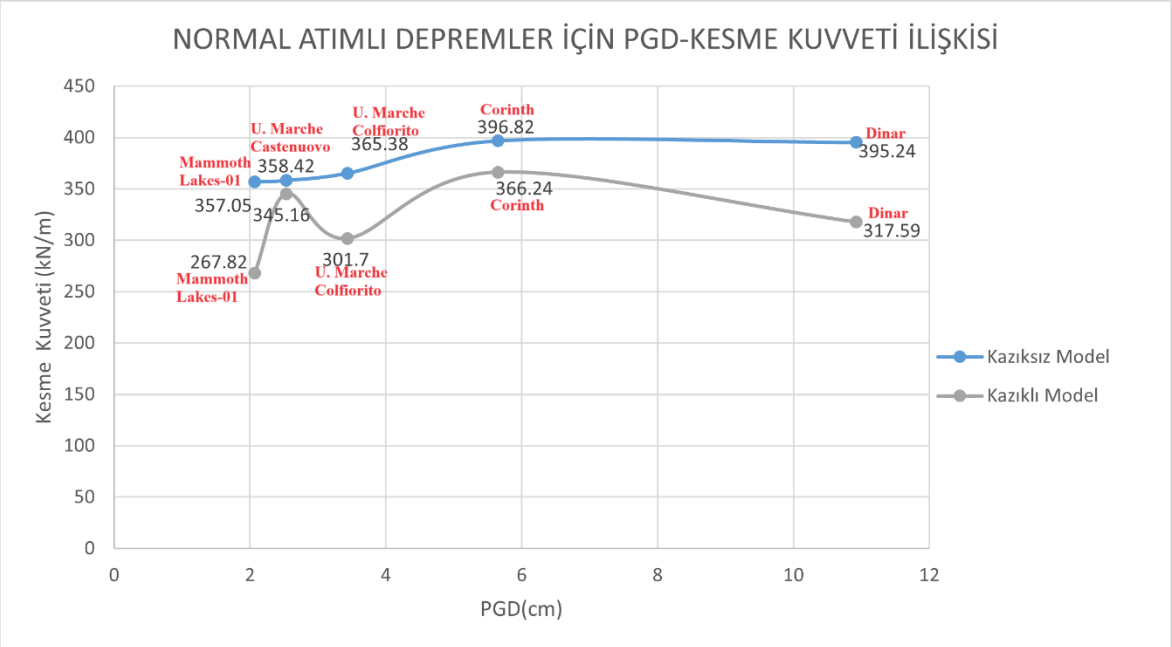
Şekil 9. 56. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.56.'da Corinth depreminin PGV değeri yüksek olduğu için kesme kuvveti değeri Umbra Marche (Castenuovo istasyonu), Mammoth Lakes-01 ve Umbra Marche (Colfiorito istasyonu) depremlerinden daha yüksek değerler göstermiştir.



Şekil 9. 57. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.42.'de Housner Yoğunluğu ile eksenel kuvvet ilişkisinin doğru orantılı olduğu görülmekteydi ancak Şekil 9.57.'de Housner Yoğunluğu ile kesme kuvveti ilişkisinin doğru orantılı olduğu söylenilememektedir. Kazıksız modelde Dinar depremi hariç doğru orantılı olarak artış yaşandığı görülmektedir.

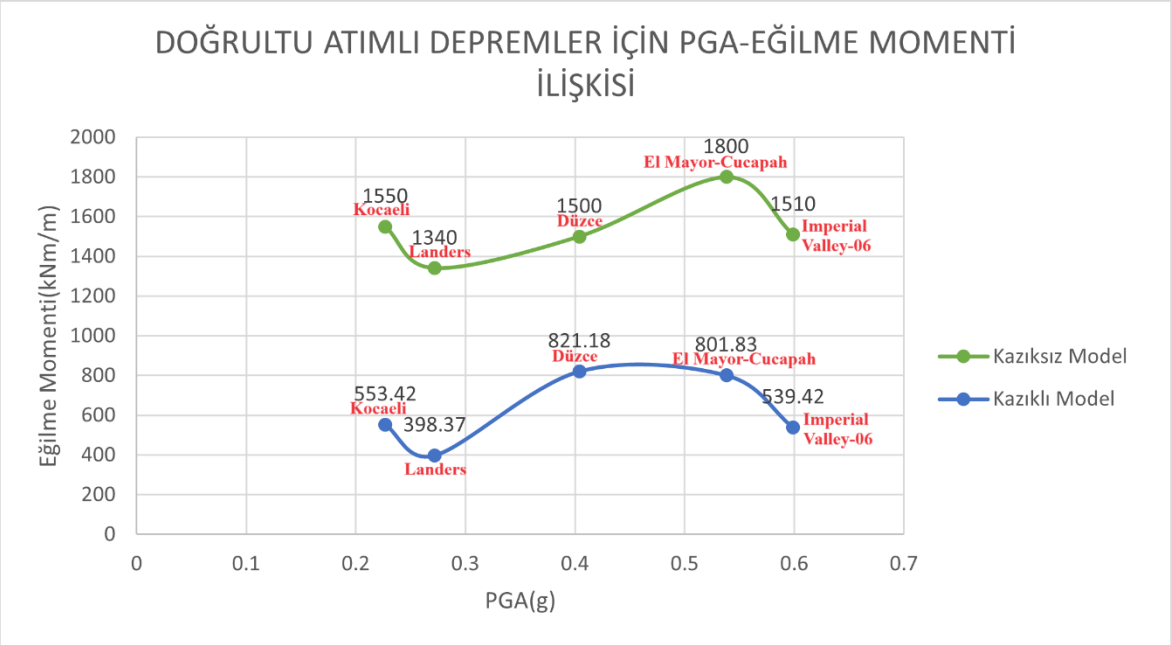


Şekil 9. 58. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Kesme Kuvveti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.58.'de Mammoth Lakes-01 depreminin yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük kesme kuvveti değeri olmasının nedeni düşük PGD ve Housner Yoğunluğuna sahip olmasıdır. Dinar depreminin PGD, PGA, PGV, Arias Yoğunluğu ve Housner Yoğunluğu değerleri diğer depremlerden yüksek olduğu görülmüştür.

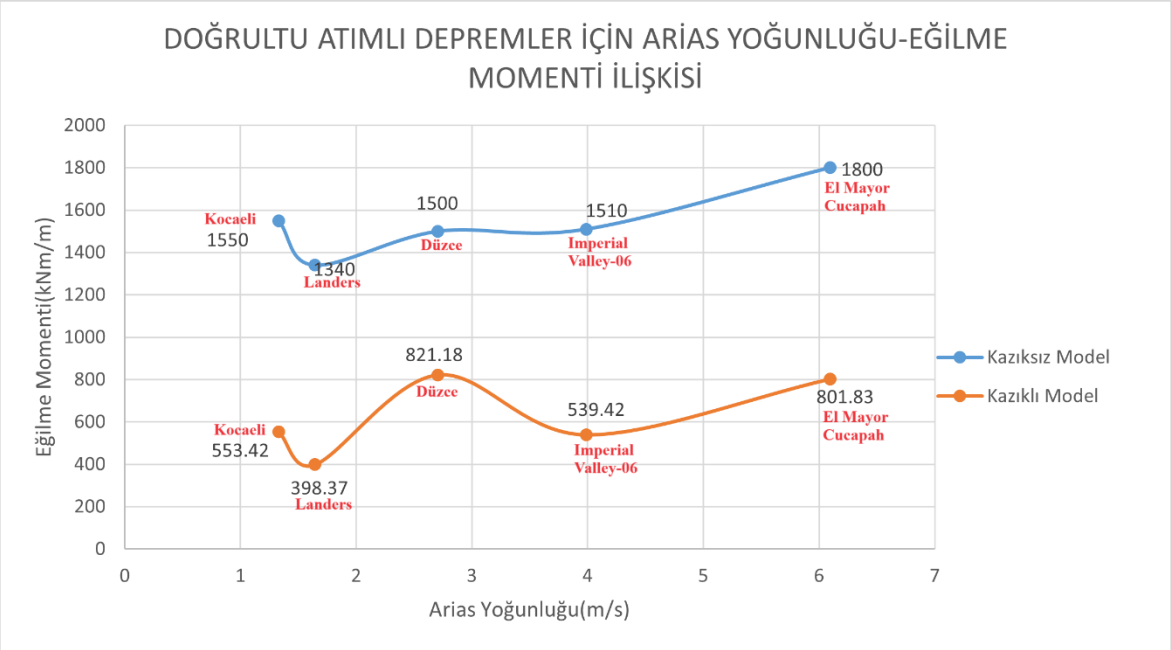
9.4. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıksız ve Kazıklı Temel Grafiklerinin Eğilme Momentine Göre İncelenmesi

9.4.1. Doğrultu Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları



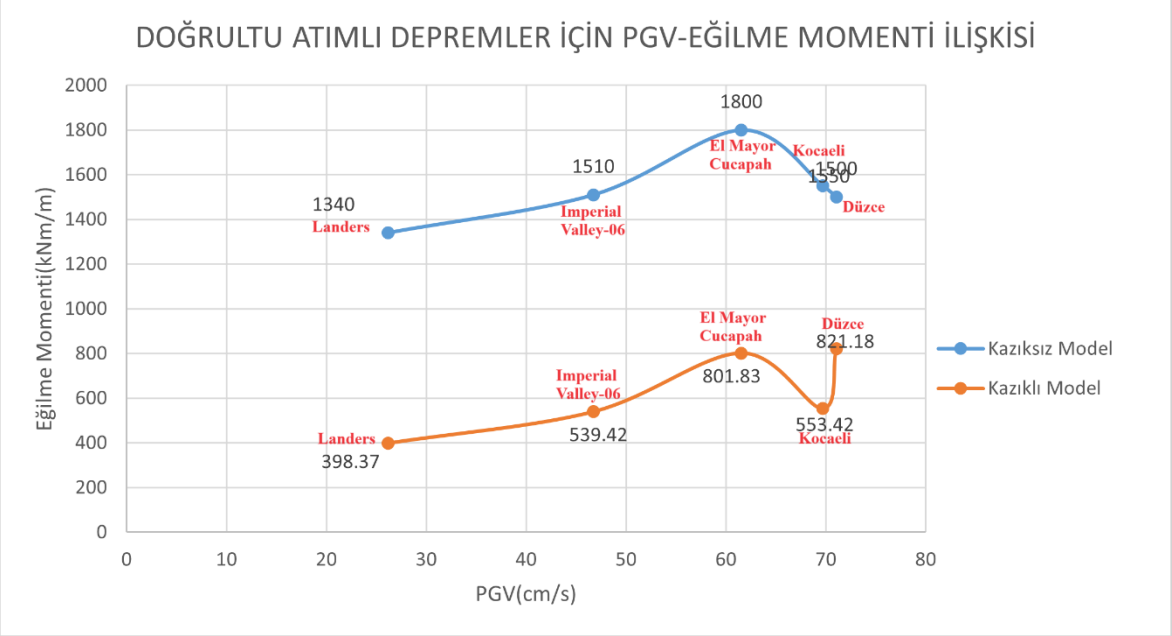
Şekil 9. 59. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.59.'da PGA ile eğilme momentinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak doğru olmaz. Imperial Valley-06 Depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük eğilme momenti değerine sahiptir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakılarak yorum yapmak yanıltabilir. Bu kapsamda PGA, Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile eğilme momenti ilişkisi grafikleri incelenmiştir. Bu parametrelerin ne kadar etkili olduğu grafiklerden yorumlanarak deprem kaydı seçiminde ne kadar öneme sahip olduğu grafiklerde incelenmiştir.



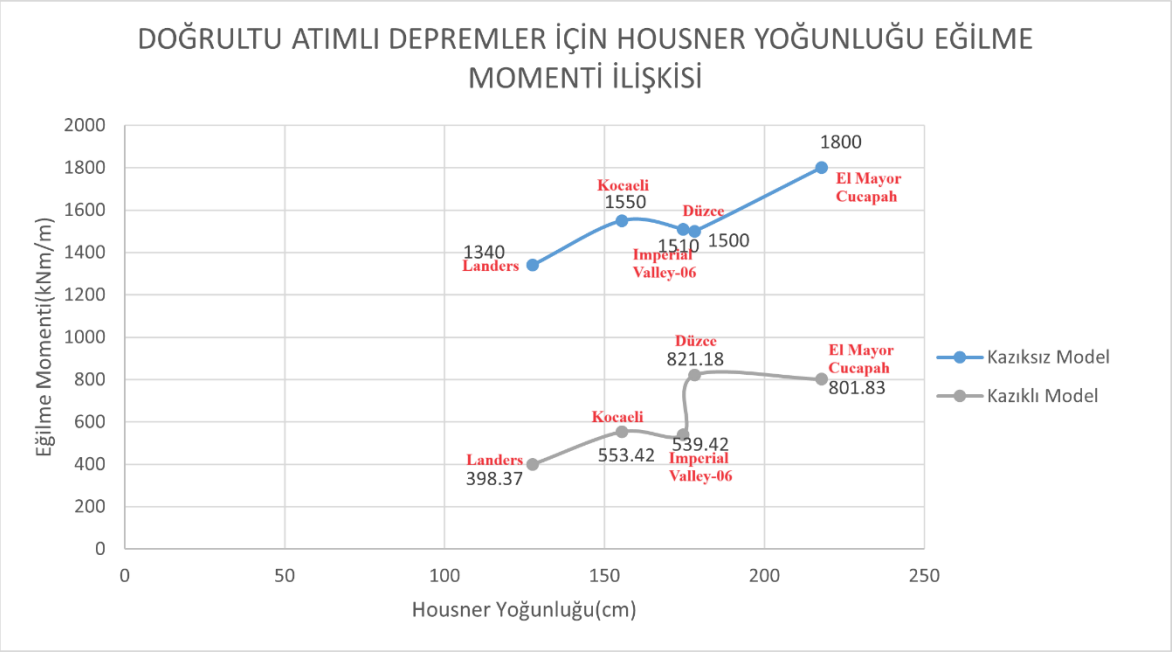
Şekil 9. 60. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.60.'da El Mayor Cucapah depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek eğilme momenti değerine sahip olmasının sebebi apaçık Arias Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır.



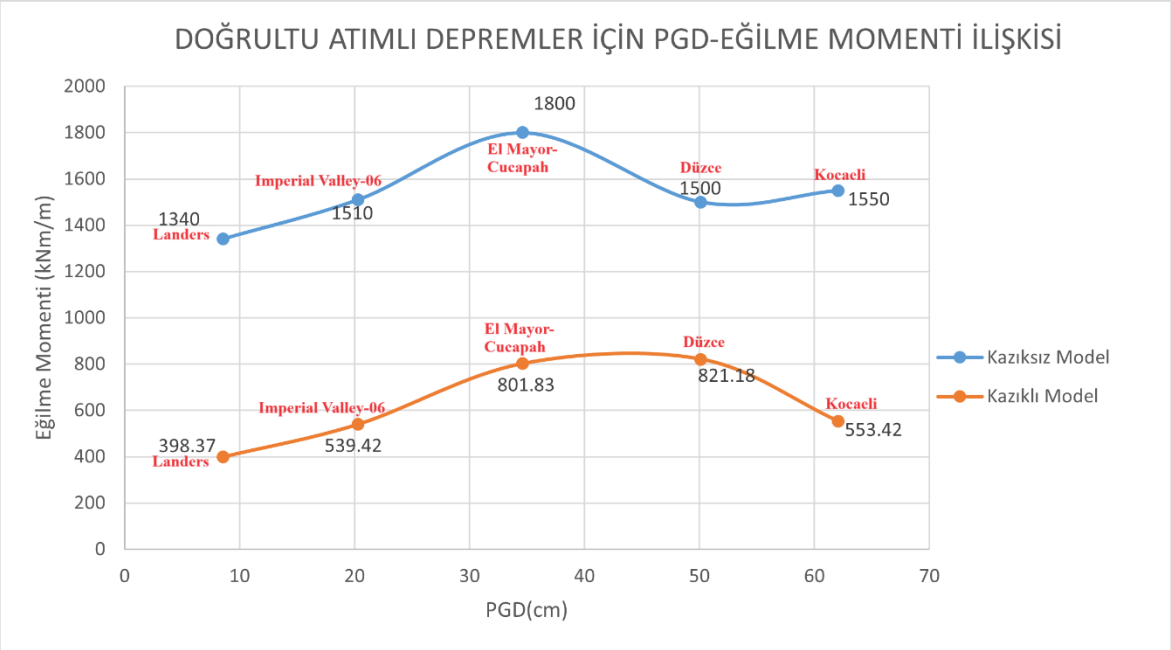
Şekil 9. 61. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.61.'de Kocaeli Depreminin en düşük PGA ve Arias Yoğunluğu değerine sahip olmasına rağmen Landers depreminden daha yüksek eğilme momenti göstermesinin sebebi PGV değerinin daha büyük olmasıdır.



Şekil 9. 62. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

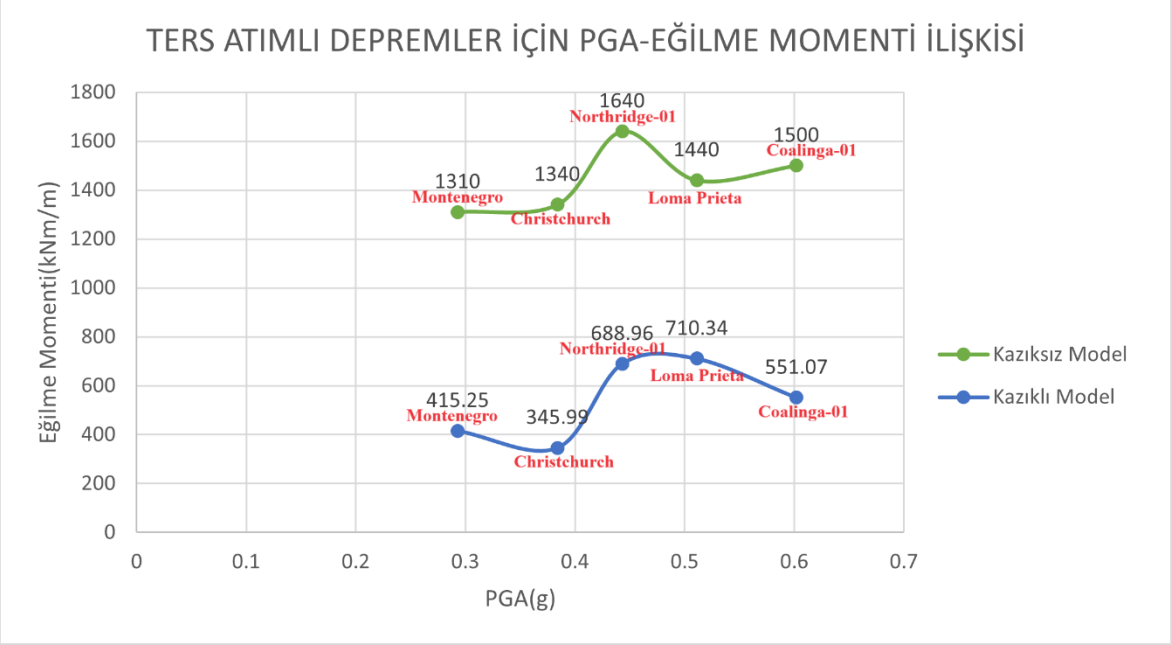
Şekil 9.62.'de El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek eğilme momenti değerine sahip olmasının sebebi Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Landers depremi Housner Yoğunluğu değerinin düşük olmasından dolayı çok düşük eğilme momenti değerlerine sahiptir.



Şekil 9. 63. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

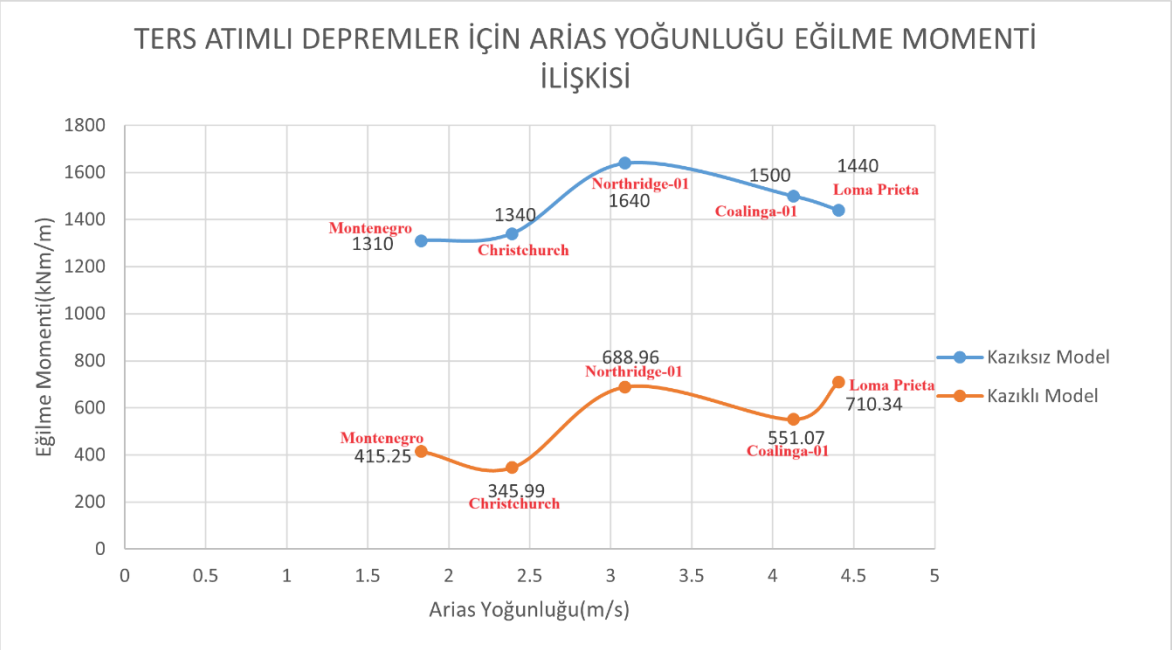
Şekil 9.63.'de Landers depremi PGD, PGA, Arias Yoğunluğu, PGV ve Housner Yoğunluğu değerlerinin düşük olmasından dolayı çok düşük eğilme momenti değerlerine sahiptir. El Mayor Cucapah depreminin PGD değeri çok yüksek değildir ancak Arias Yoğunluğu ve Housner Yoğunluğu yüksek olduğu için eğilme momenti değeri de yüksektir.

9.4.2. Ters Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları



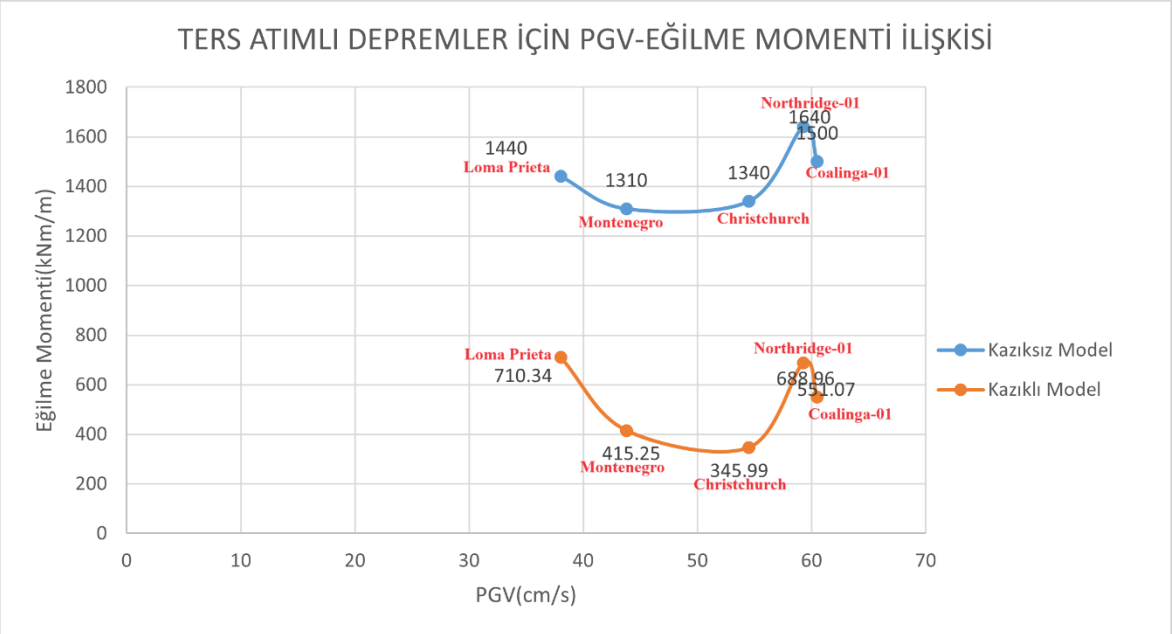
Şekil 9. 64. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.64.'de ters atımlı depremlerde doğrultu atımlı depremlerde olduğu gibi PGA ile eğilme momenti değerlerinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmaz. Coalinga-01 depremi en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen en yüksek eğilme momenti değerine sahip değildir. Bunun için sadece PGA değerlerine bakılarak yorum yapmak yanıltabilir. Bu kapsamda ek olarak Arias Yoğunluğu, Housner Yoğunluğu, PGV ve PGD ile deplasman ilişkisi grafikleri incelenmiştir.



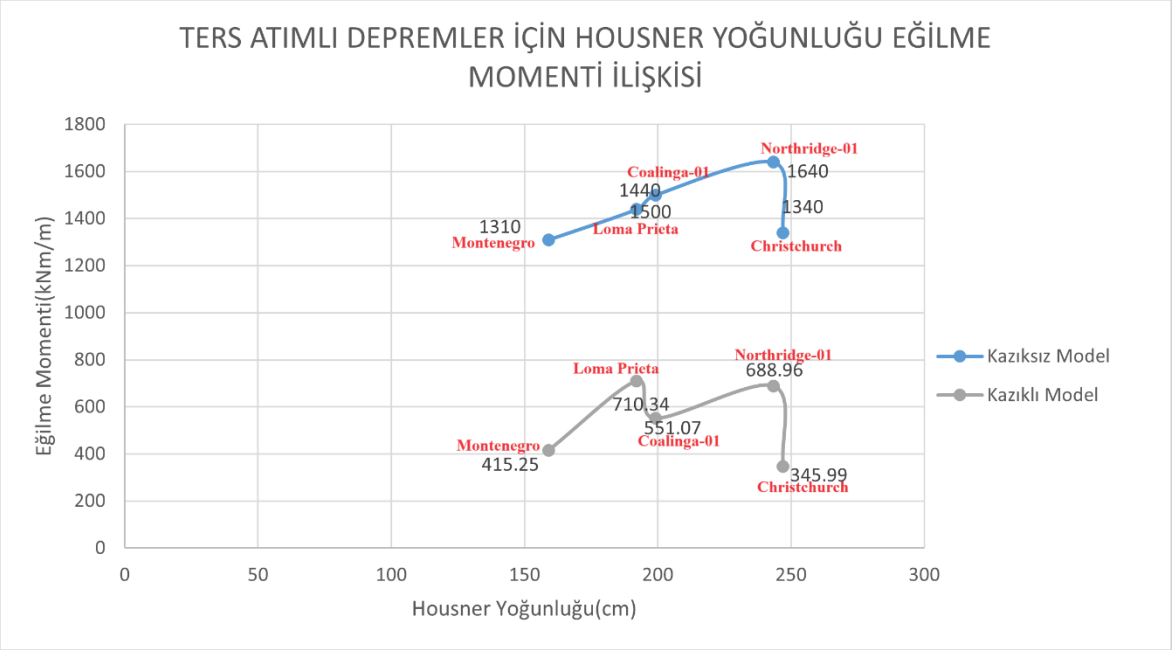
Şekil 9. 65. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.65.'de kazıklı modelde Loma Prieta depremi eğilme momentinin yüksek olmasının nedeni Arias yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Montenegro ve Christchurch depreminin eğilme momenti değerinin düşük olmasının nedeni Arias yoğunluğunun düşük değere sahip olmasından kaynaklanır.



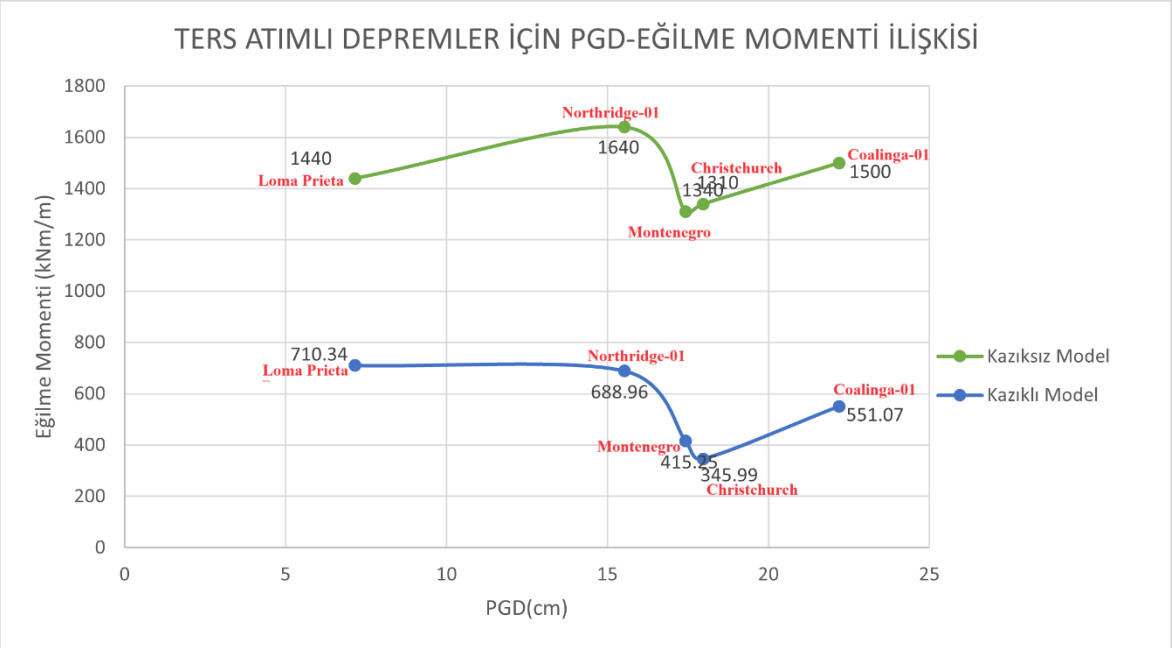
Şekil 9. 66. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.66.'da Loma Prieta depreminin en düşük PGV değerine sahip olmasına rağmen yüksek eğilme momentine sahip olmasının sebebi Şekil 9.65.'de görüldüğü üzere Arias yoğunluğunun diğer depremlerden daha büyük olmasındandır. Northridge-01 depreminin yüksek eğilme momentine sahip olmasının nedeni PGV değerinin yüksek olmasındandır.



Şekil 9. 67. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

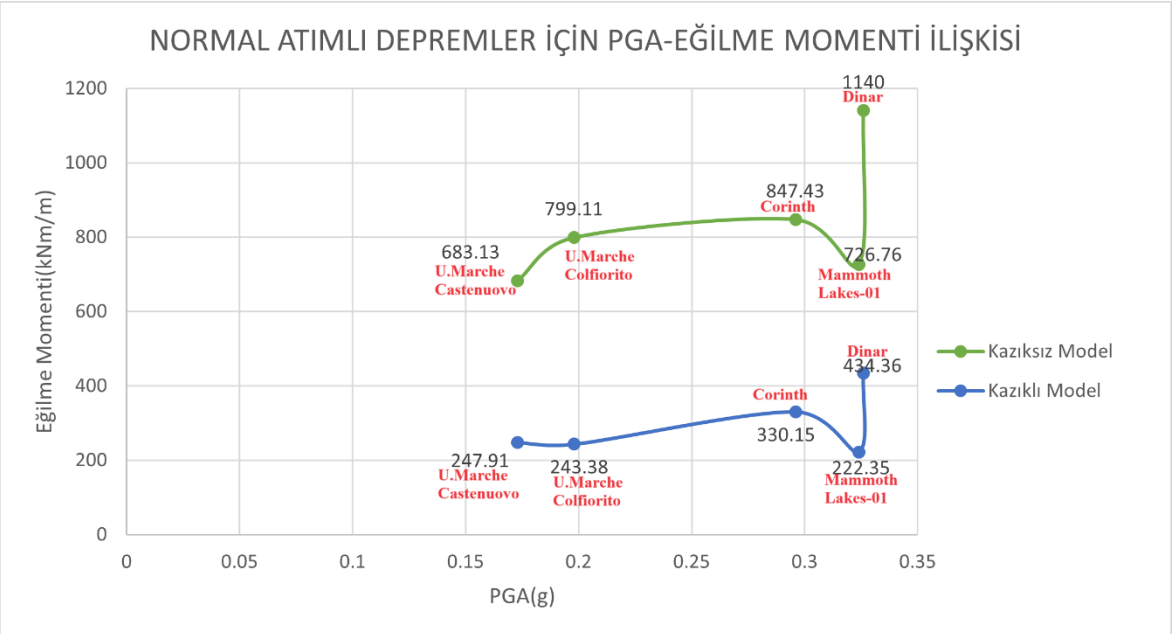
Şekil 9.67.'de Christchurch depreminin Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasına rağmen eğilme momentinin en düşük olmasının nedeni PGA ve Arias Yoğunluğunun düşük olmasındandır. Montenegro depreminin eğilme momentinin düşük olmasının nedeni Housner Yoğunluğu, PGA ve Arias Yoğunluğunun düşük olmasıdır.



Şekil 9. 68. Ters Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

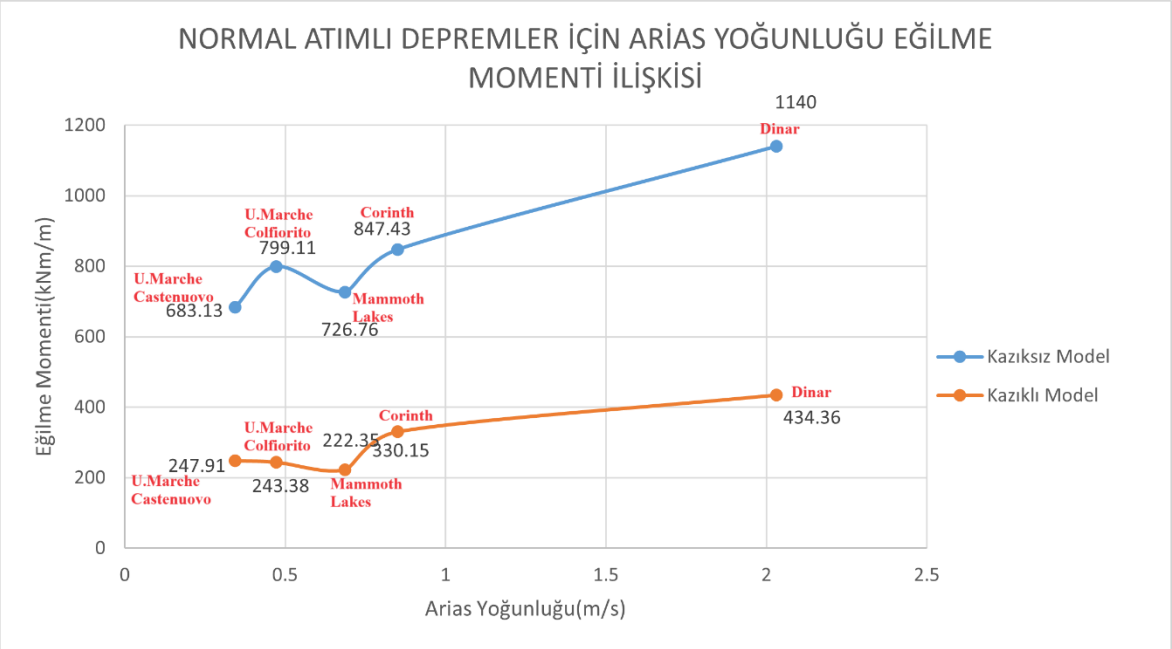
Şekil 9.68.'de Loma Prieta depreminin en düşük PGD ve PGV değerine sahip olmasına rağmen yüksek eğilme momentine sahip olmasının sebebi Şekil 9.65.'de görüldüğü üzere Arias yoğunluğu değerinin diğer depremlerden daha büyük olmasıdır.

9.4.3. Normal Atımlı Depremlerin Eğilme Momenti Analiz Yorumları



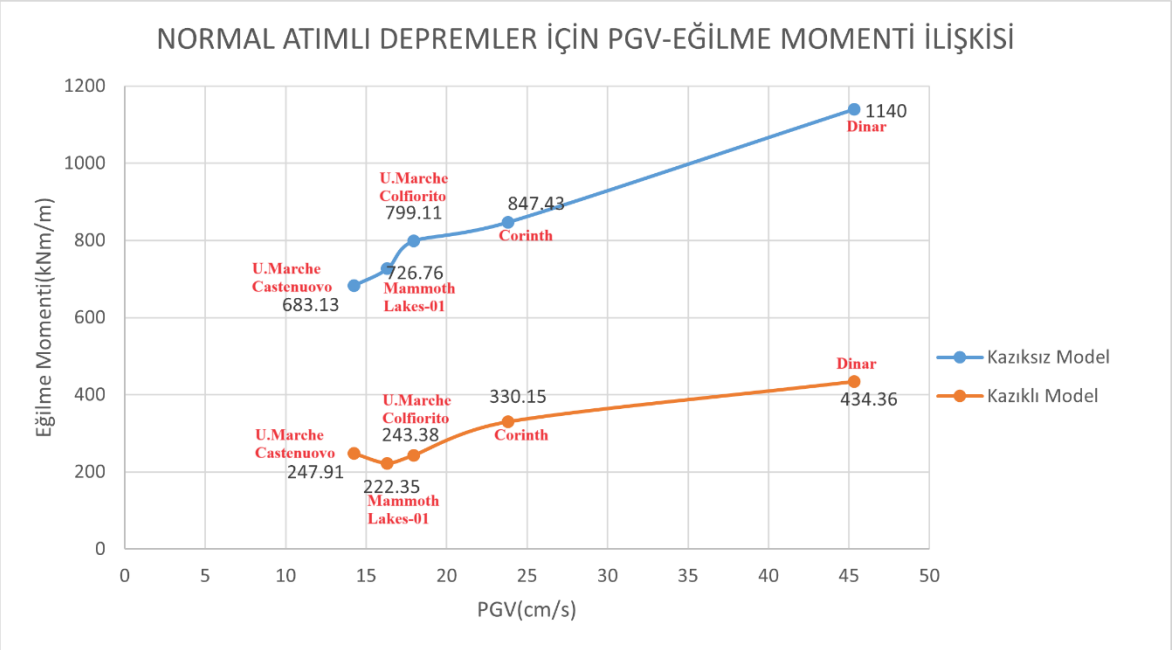
Şekil 9. 69. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGA-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.69.'da Mammoth Lakes-01 depremindeki PGA değerinin yüksek olmasına rağmen düşük eğilme momenti değerine sahiptir. Bu kapsamda diğer parametrelerin incelenerek yorumlanması daha doğru olacaktır. Mammoth Lakes depremi dışındaki depremlerin PGA ile eğilme momenti doğru orantılı şekilde artmaktadır.



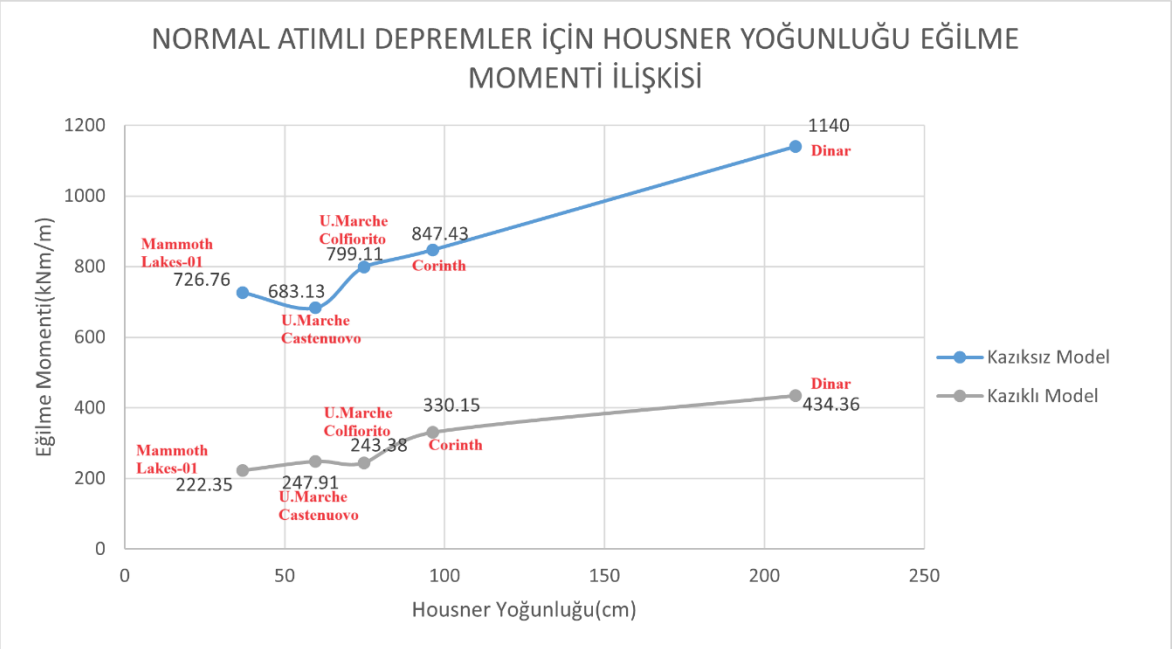
Şekil 9. 70. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Arias Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.70.'de Arias Yoğunluğu arttıkça kesme kuvveti değerleri artmıştır ancak diğer parametrelerle birlikte yorumlamak daha doğru sonuçlar verecektir.



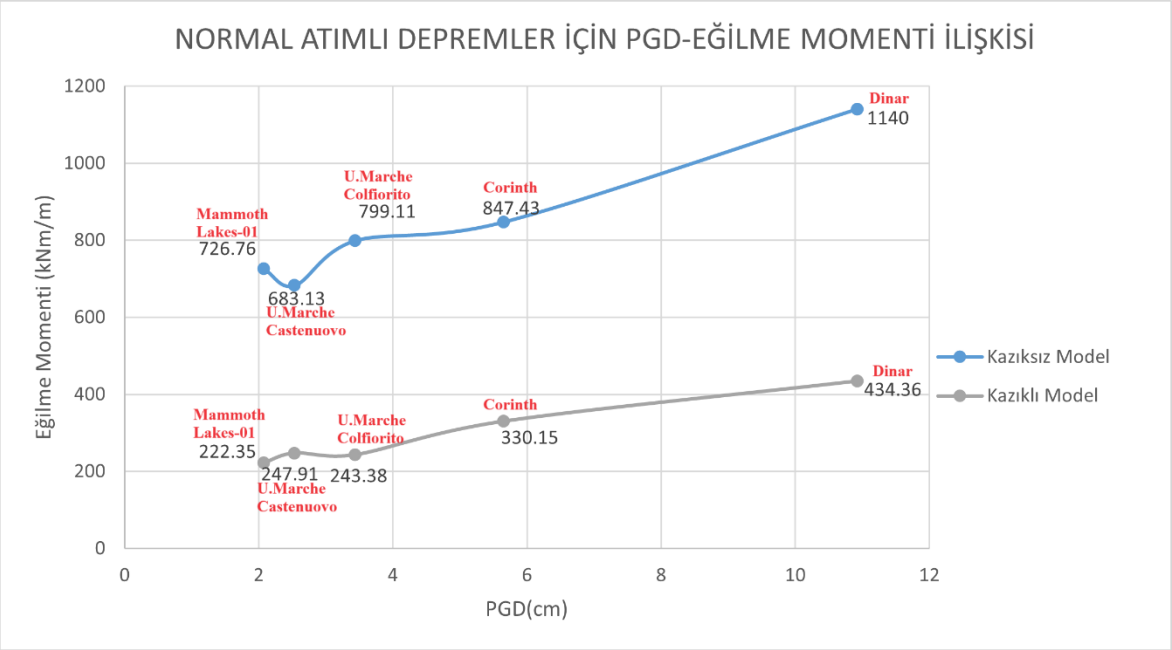
Şekil 9. 71. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGV-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.71.'de PGV değeri arttıkça eğilme momenti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Dinar depreminin PGV değeri de PGA ve Arias Yoğunluğu gibi diğer depremlerden yüksek olduğu için eğilme momenti de yüksektir.



Şekil 9. 72. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait Housner Yoğunluğu-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.72.'de Housner Yoğunluğu değeri arttıkça eğilme momenti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Mammoth Lakes-01 depreminin PGA değerinin yüksek olmasına rağmen Housner Yoğunluğu düşük olduğu için eğilme momenti değeri düşüktür. Dinar depreminin Housner Yoğunluğunun da yüksek olduğu grafikte görülmektedir.

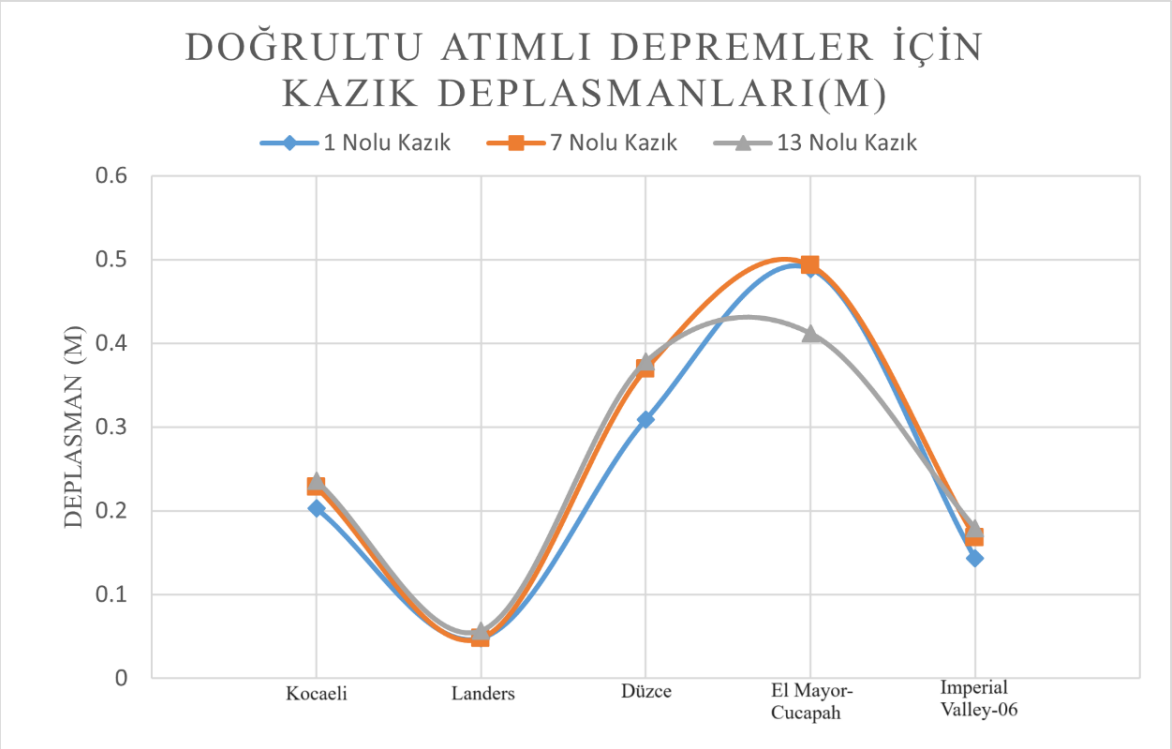


Şekil 9. 73. Normal Atımlı Depremler İçin Temellere ait PGD-Eğilme Momenti İlişkisi Grafiği

Şekil 9.73.'de PGD değeri arttıkça eğilme momenti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Mammoth Lakes-01 depreminin PGA değerinin yüksek olmasına rağmen PGD ve Housner Yoğunluğu düşük olduğu için eğilme momenti değeri düşüktür. Dinar depreminin PGA, PGD, PGV, Arias Yoğunluğu ve Housner Yoğunluğu değerlerinin yüksek olduğu grafiklerde görülmektedir.

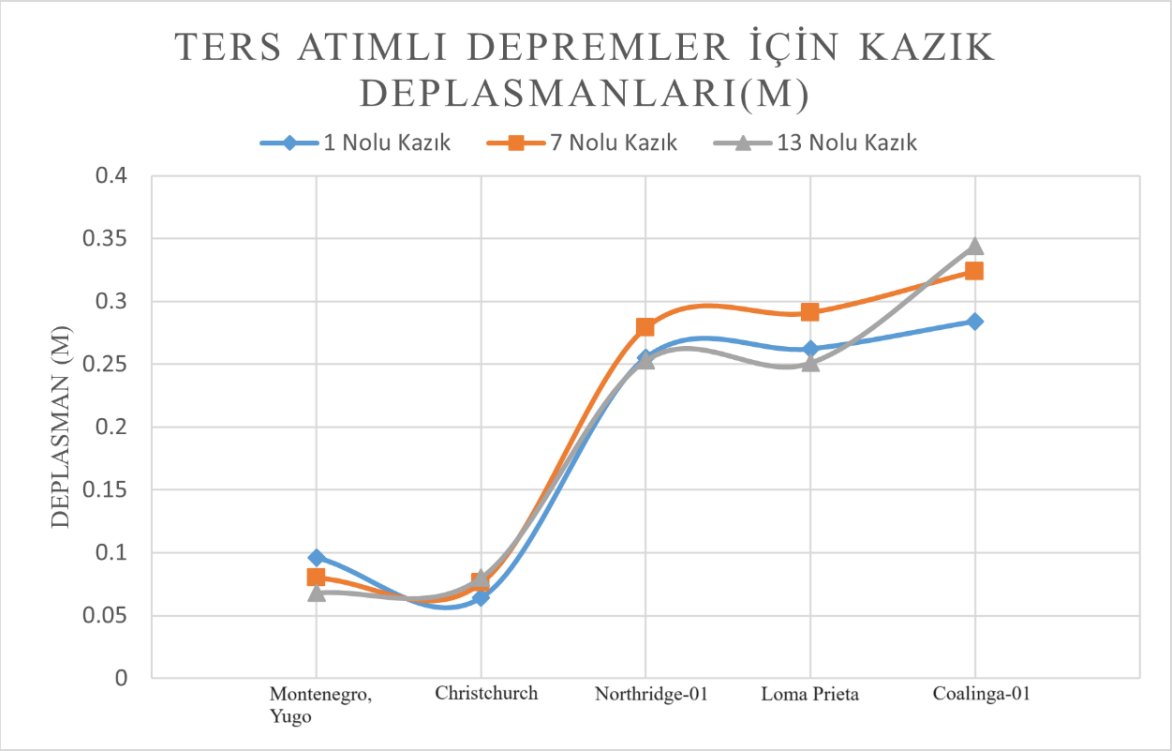
9.5. Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Deplasmanlarının İncelenmesi

Modelde yatayda bulunan kazıklardan ilk sıradaki kazık 1 numaralı kazık, ortadaki kazık 7 numaralı kazık ve sondaki kazık ise 13 numaralı kazık olarak adlandırılmıştır.



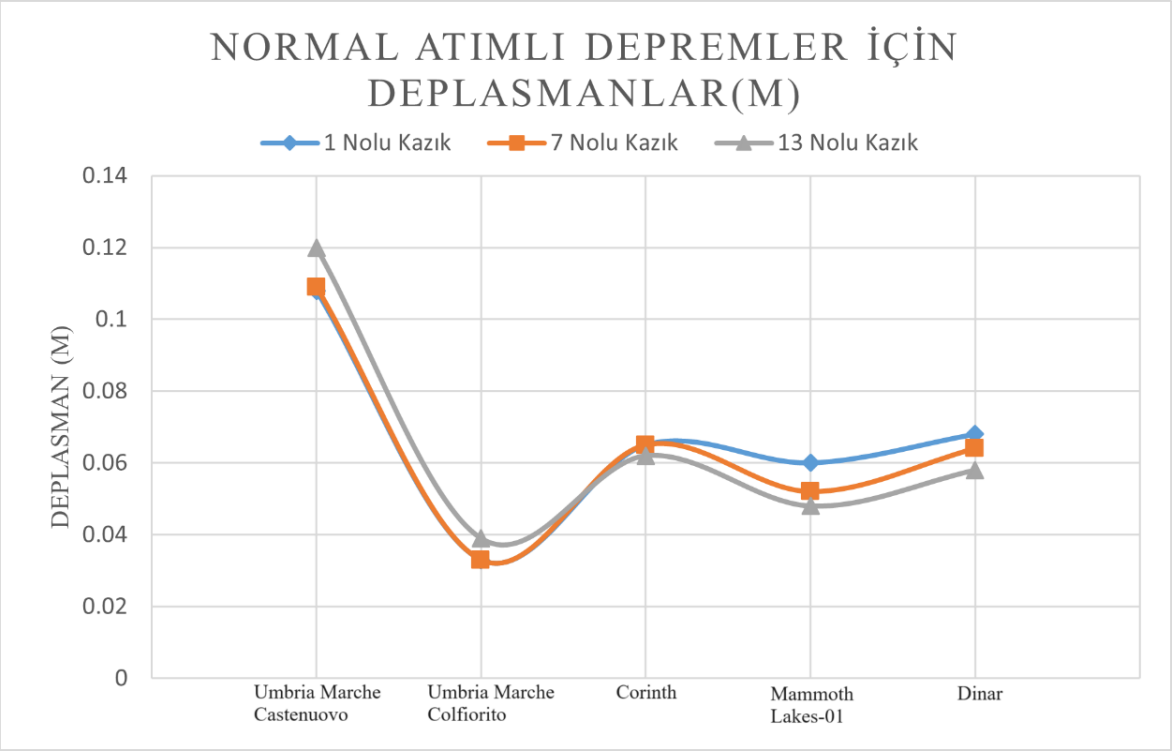
Şekil 9. 74. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Deplasman Grafiği

Şekil 9.74.'de 1, 7 ve 13 numaralı kazıkların grafiklerinin birbirine benzediği görülmektedir. Landers depreminde kazıklar en düşük deplasmanı yapmıştır. Kazıklar El Mayor Cucapah depreminde ise en yüksek deplasmanı yapmışlardır. Şekil 9.14. Doğrultu Atımlı Depremler için Temellere ait PGA-Deplasman İlişkisi Grafiği ile kazıkların yaptığı deplasman grafiğinin benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 9. 75. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Deplasman Grafiği

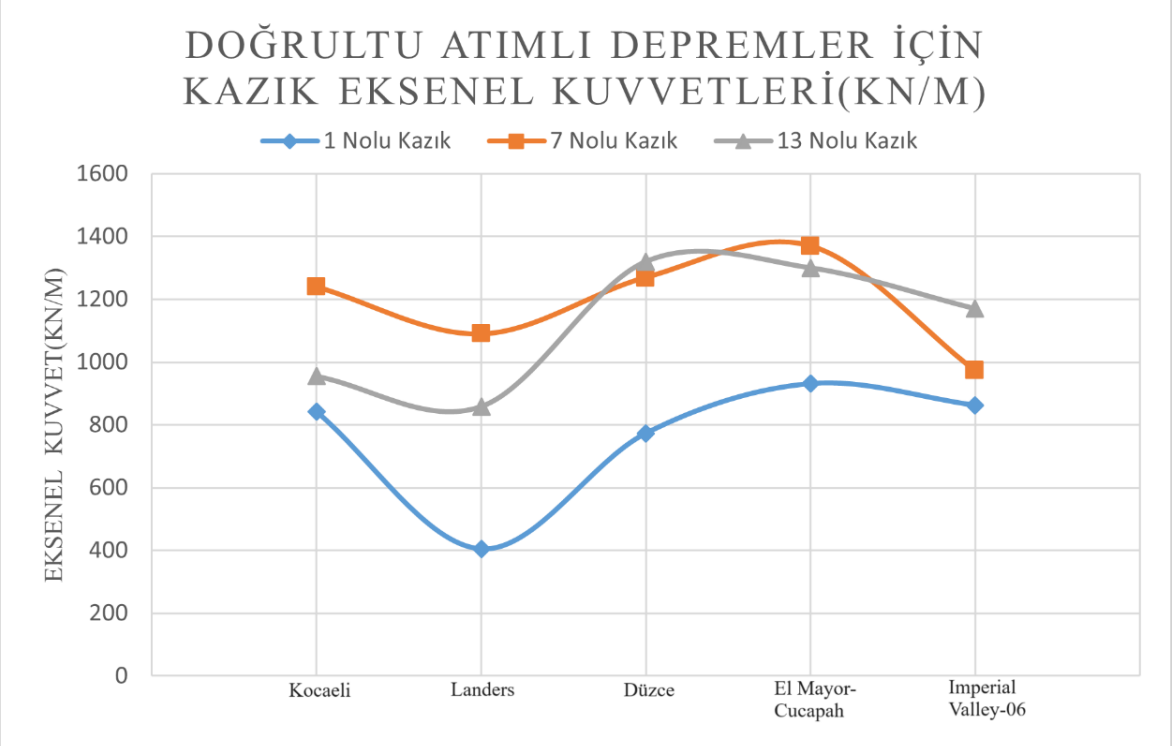
Şekil 9.75.'de 1, 7 ve 13 numaralı kazıkların grafiklerinin birbirine benzediği görülmektedir. Christchurch ve Montenegro depreminde kazıklar en düşük deplasmanı yapmıştır. Kazıklar Coalingo-01 depreminde ise en yüksek deplasmanı yapmışlardır.



Şekil 9. 76. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Deplasman Grafiği

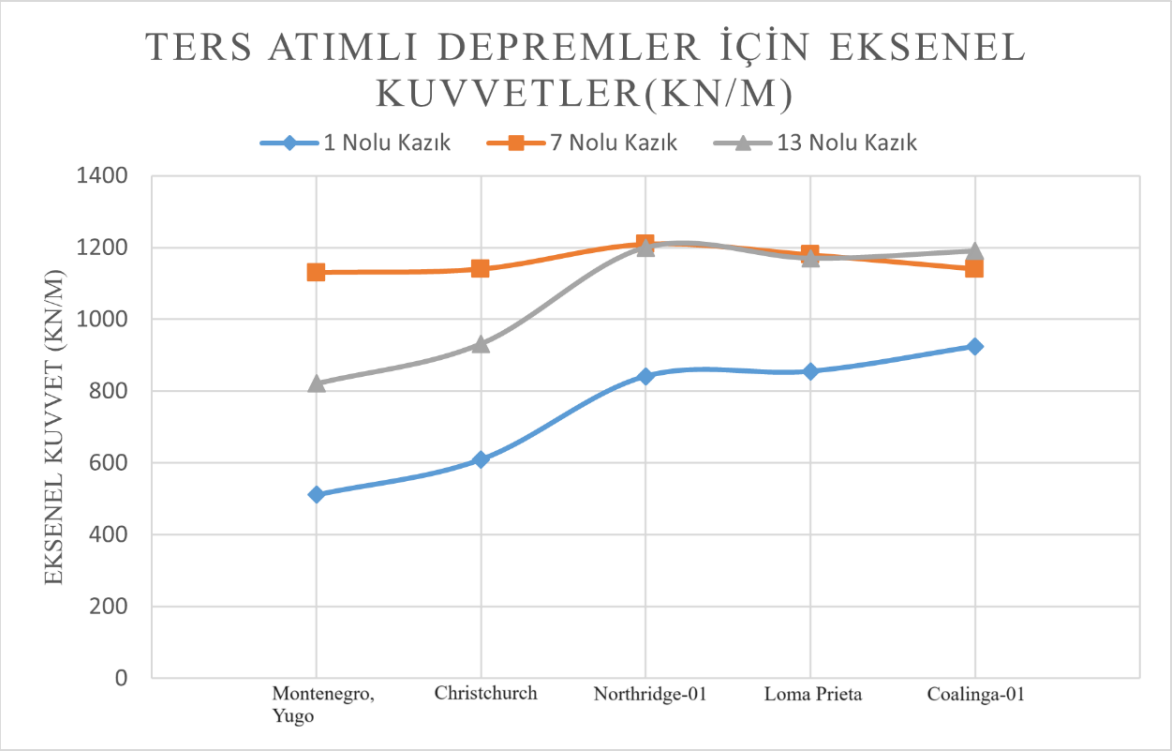
Şekil 9.76.'da 1, 7 ve 13 numaralı kazıkların grafiklerinin birbirine benzediği görülmektedir. Umbra Marche depremi Castenuovo istasyonundaki verilerin analizinde kazıklar en yüksek deplasmanı yapmıştır. Kazıklar yine aynı olan Umbra Marche depreminin Castenuovo istasyonundaki verilen analizi sonucu en düşük deplasmanı yapmışlardır. Bu grafikte dikkat edilmesi gerekli önemli bir husus da aynı deprem olmasına rağmen farklı istasyonlar demek farklı ivme demek ve bu farklılık sonucu analiz sonuçlarının farklı olmasına neden olmaktadır. Farklılığın en önemli nedeni depremin merkez üssüne istasyonların farklı uzaklıklarda olmasından kaynaklanmaktadır.

9.6.Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Eksenel Kuvvetlerinin İncelenmesi



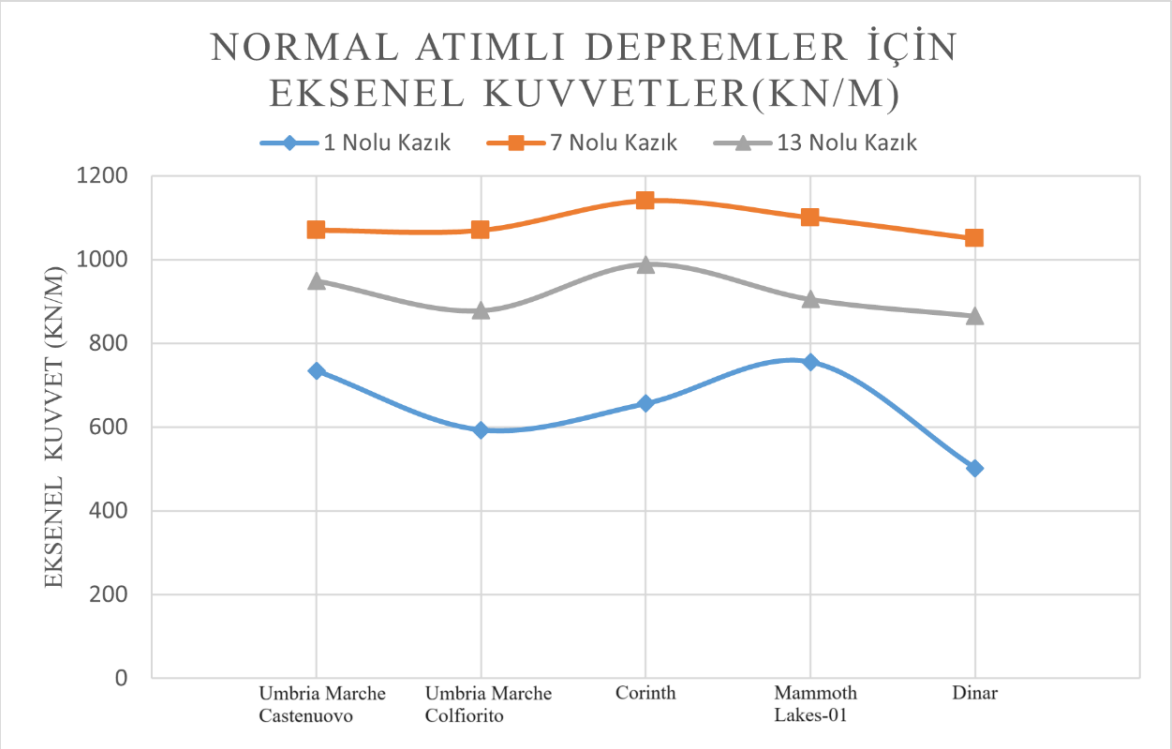
Şekil 9. 77. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eksenel Kuvvet Grafiği

Şekil 9.77.'de 1 numaralı kazık en düşük eksenel kuvvet değerlerine sahiptir. Deplasman grafiklerinde kazıklar arasında fark belirgin değilken eksenel kuvvet grafiğinde ayırt edilebilir farklılıklar öne çıkmaktadır.



Şekil 9. 78. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eksenel Kuvvet Grafiği

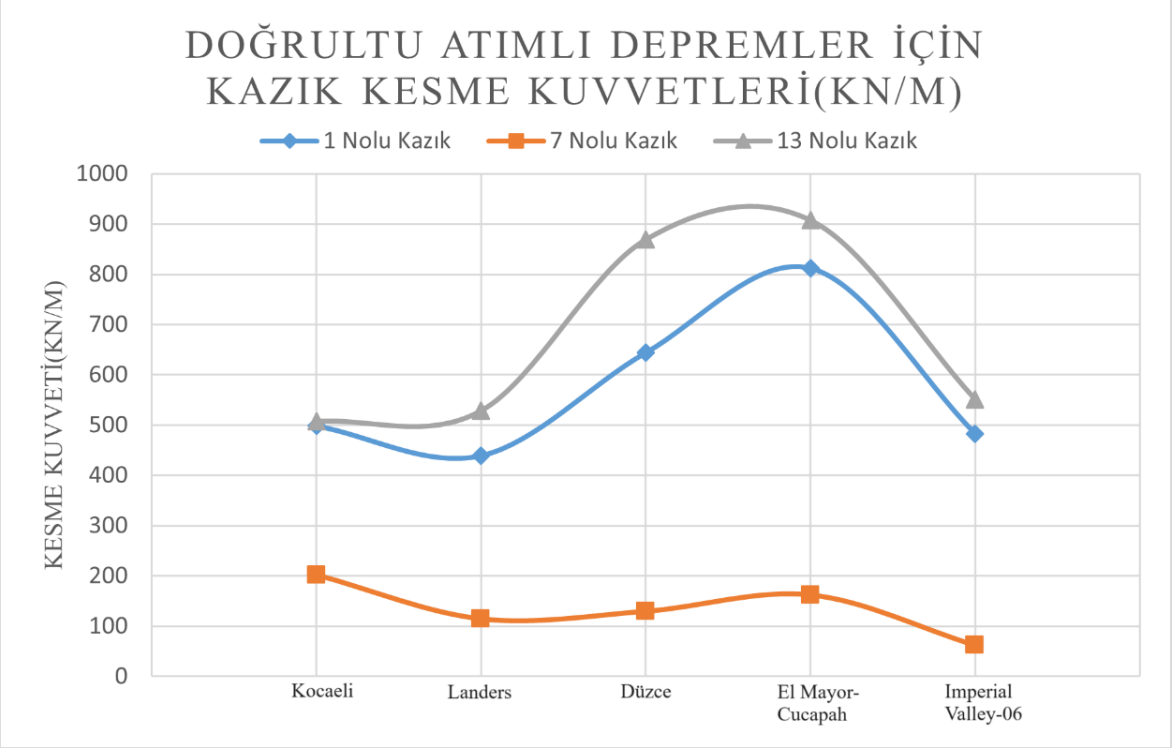
Şekil 9.78.'de 1 numaralı kazık en düşük eksenel kuvvet değerlerine sahiptir. 7 numaralı kazık eksenel kuvvet değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kenar kazığı ve orta kazık kıyaslandığında ise tasarım kuvveti %100'den fazla değişmektedir. Bu sebeple bu tür analizler sonucunda tüm kazıkların bireysel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 9. 79. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eksenel Kuvvet Grafiği

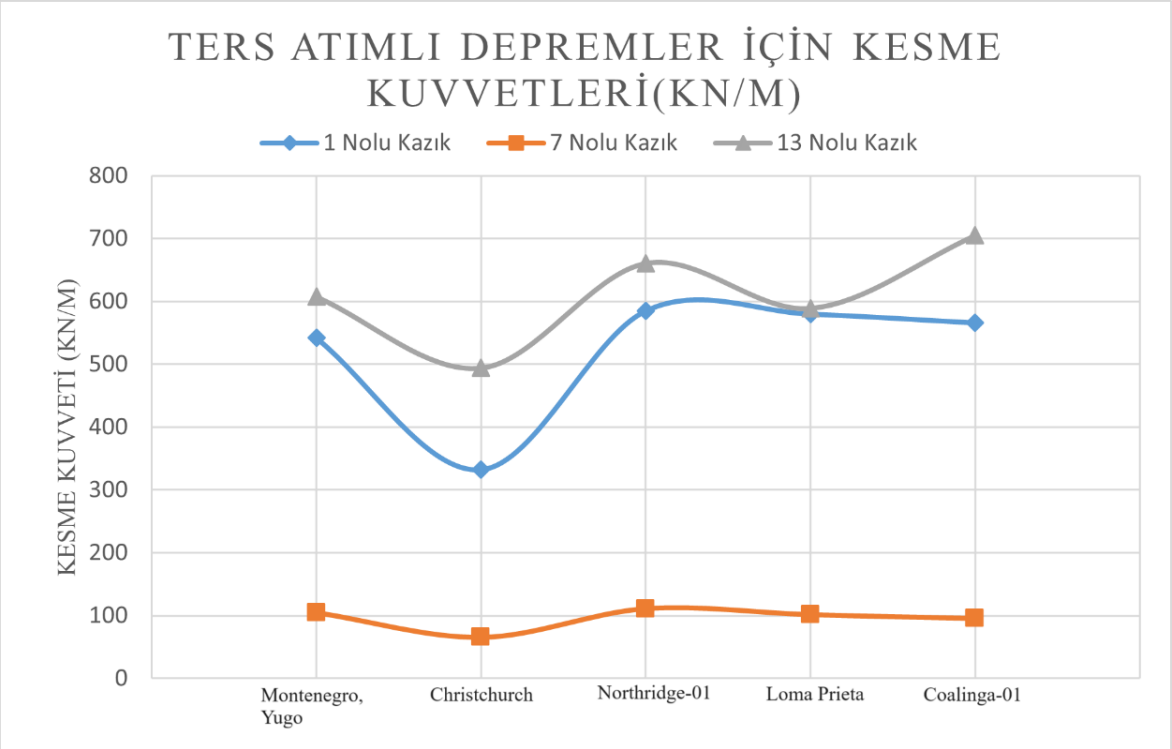
Şekil 9.79.'da eksenel kuvvet değerleri küçükten büyüğe 1, 13 ve 7 numaralı kazık olarak sıralanmıştır. Ortadaki kazığa daha çok eksenel kuvvetin etki ettiği görülmektedir.

9.7.Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi



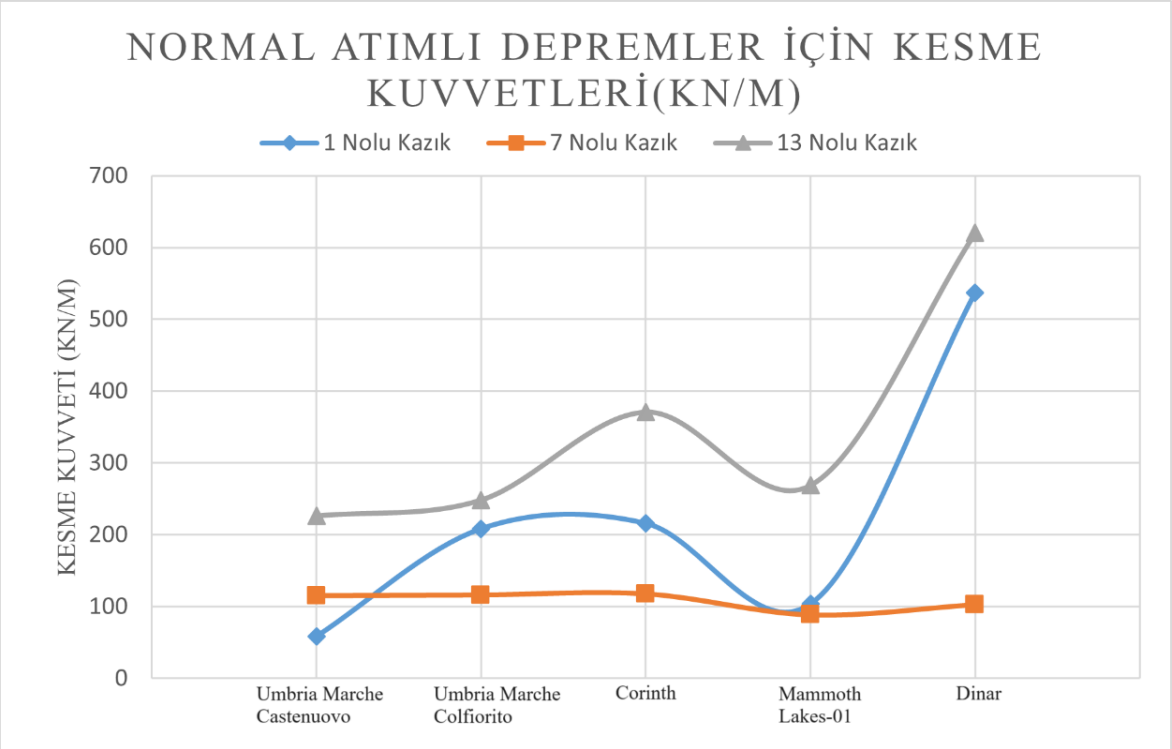
Şekil 9. 80. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Kesme Kuvveti Grafiği

Şekil 9.80.'de eksenel kuvvet değerlerinin aksine kesme kuvvetinde ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük kesme kuvvetine sahiptir. Sondaki kazık olan 13 numaralı kazık baştaki 1 numaralı kazıktan az da olsa yüksek kesme kuvvetine sahiptir.



Şekil 9. 81. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Kesme Kuvveti Grafiği

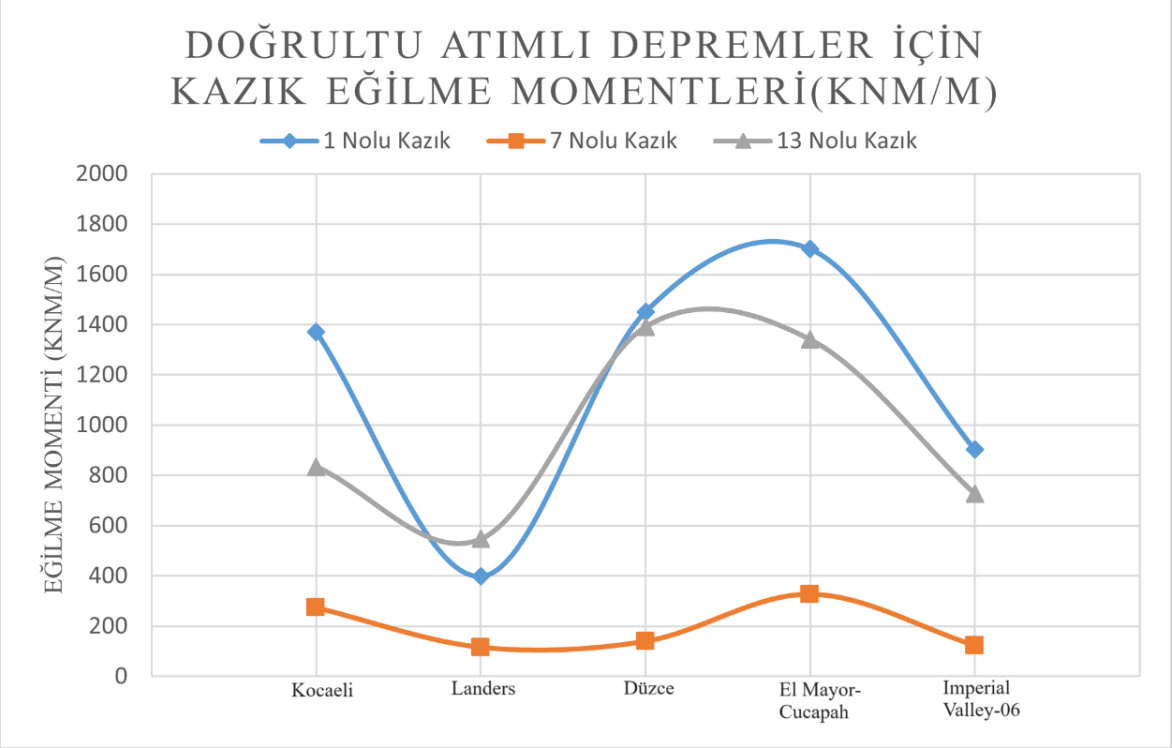
Şekil 9.81.'de ters atımlı depremlerde de ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük kesme kuvvetine sahiptir. Sondaki kazık olan 13 numaralı kazık baştaki 1 numaralı kazıktan az da olsa yüksek kesme kuvvetine sahiptir.



Şekil 9. 82. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Kesme Kuvveti Grafiği

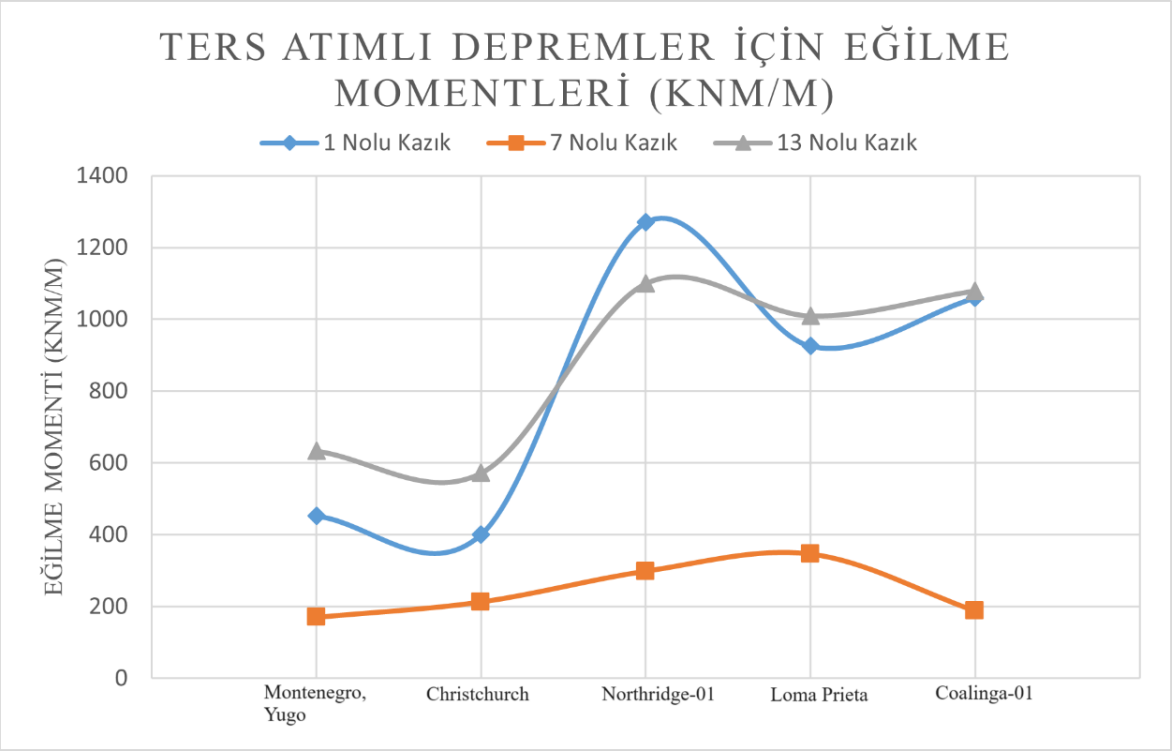
Şekil 9.82.'de normal atımlı depremlerde de ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük kesme kuvvetine sahiptir. Sondaki kazık olan 13 numaralı kazık baştaki 1 numaralı kazıktan az da olsa yüksek kesme kuvvetine sahiptir. 7 numaralı kazıkta depremlerin etkisi ile kesme kuvvetinde gözle görülür farklılar görülememektedir.

9.8.Analiz Sonuçlarına Göre Kazık Eğilme Momentlerinin İncelenmesi



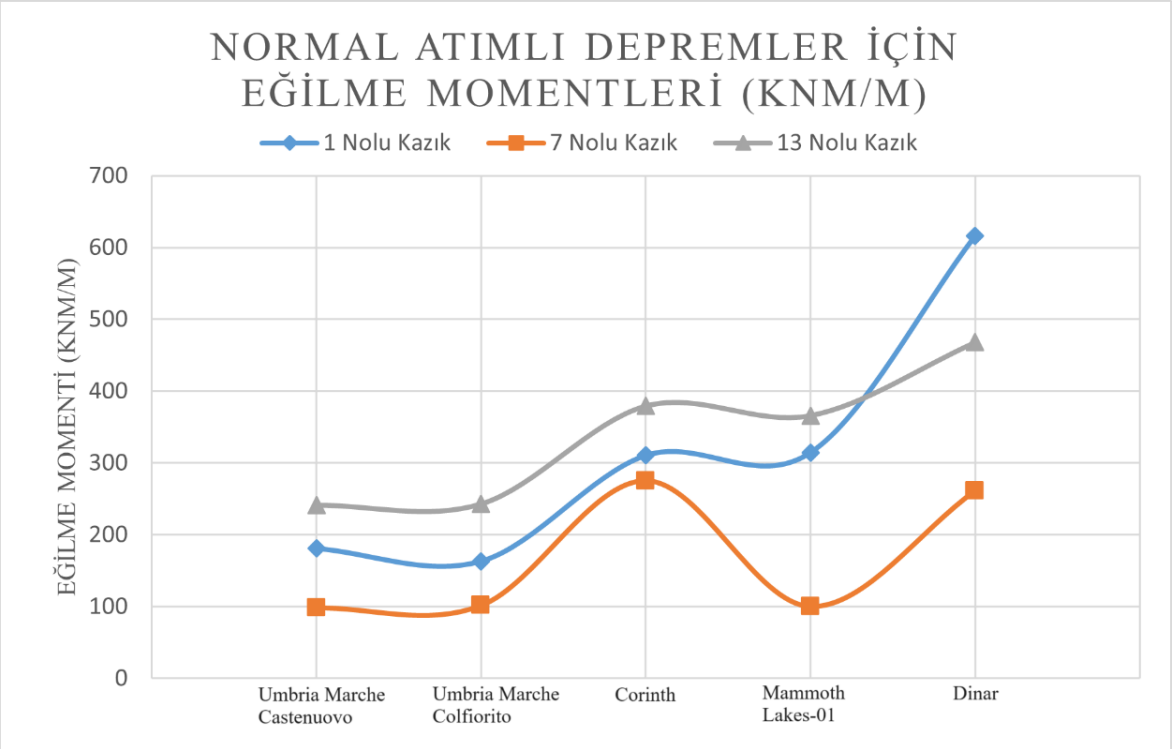
Şekil 9. 83. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eğilme Momenti Grafiği

Şekil 9.83.'de eğilme momenti grafikleri kesme kuvveti grafiklerine benzemektedir. Doğrultu atımlı depremlerde ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük eğilme momentine sahiptir.



Şekil 9. 84. Ters Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eğilme Momenti Grafiği

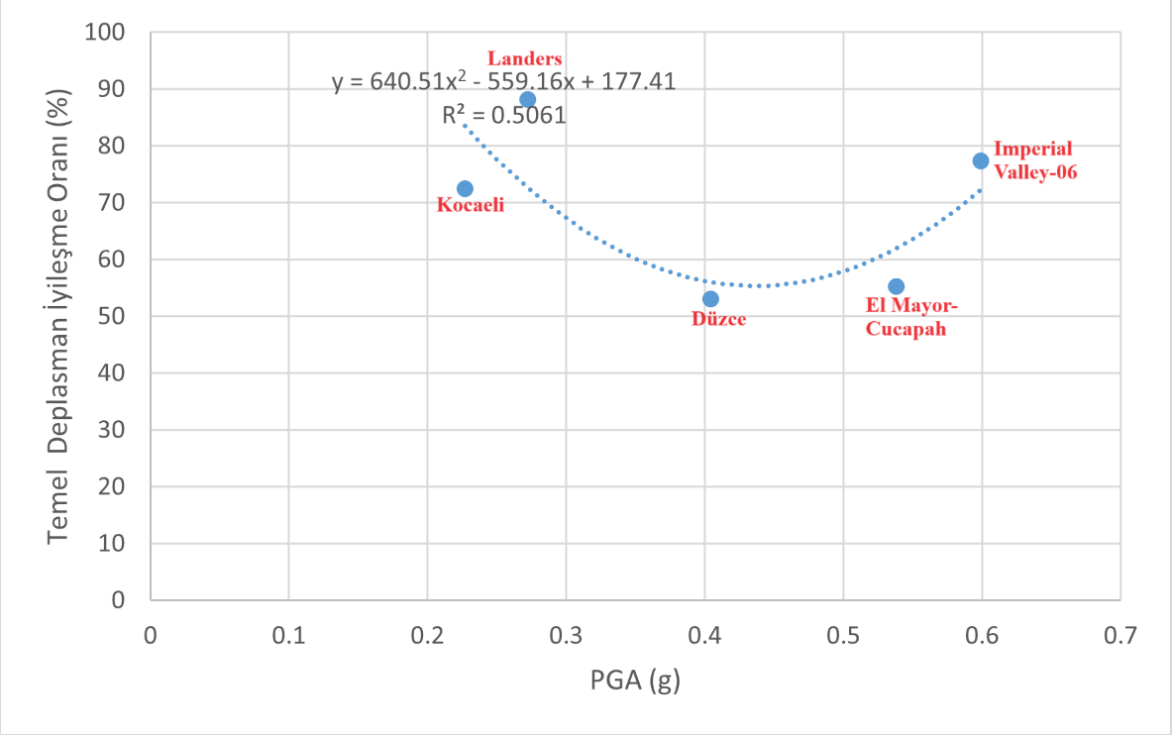
Şekil 9.84.'de doğrultu atımlı depremlerde olduğu gibi ters atımlı depremlerde de ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük eğilme momentine sahiptir. Yine tasarım momentlerinde kazıklar bireysel değerlendirilmeli ve ona göre belirlenmelidir.



Şekil 9. 85. Normal Atımlı Depremler İçin Kazıklara ait Toplam Eğilme Momenti Grafiği

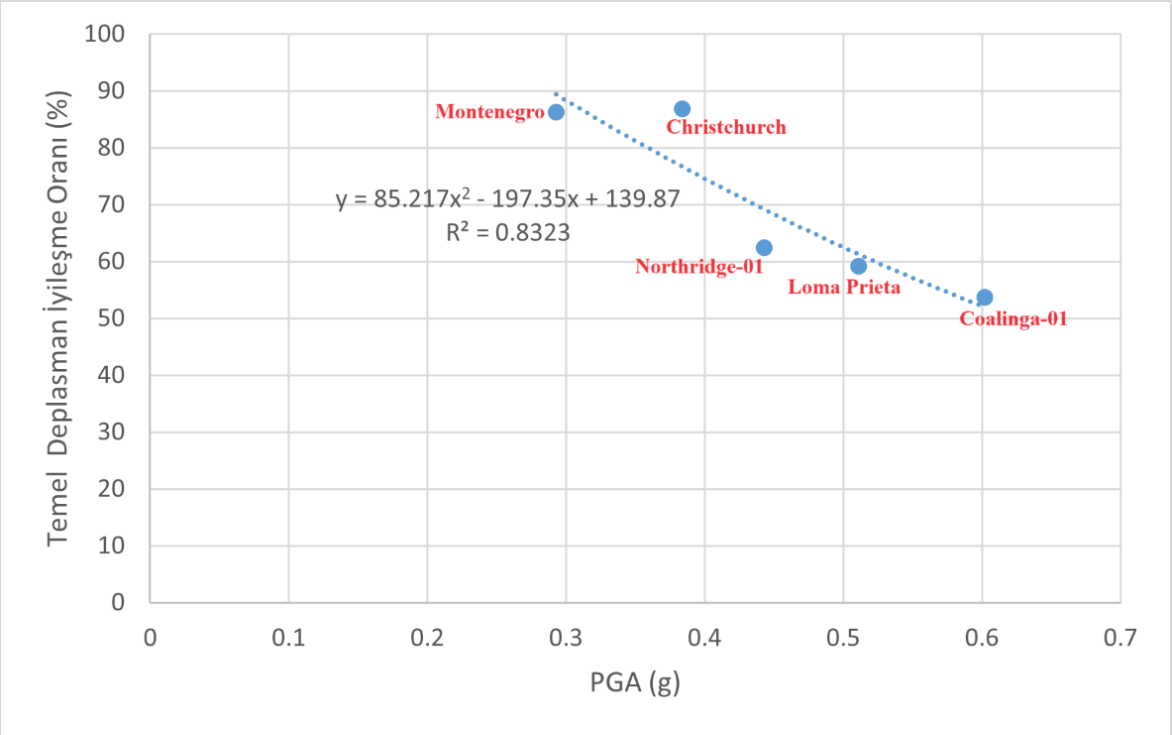
Şekil 9.85.'de ortadaki kazık olan 7 numaralı kazık en düşük eğilme momentine sahiptir.

9.9. Analiz Sonuçlarına Göre Kazıklı Temel Deplasman İyileşme Oranları



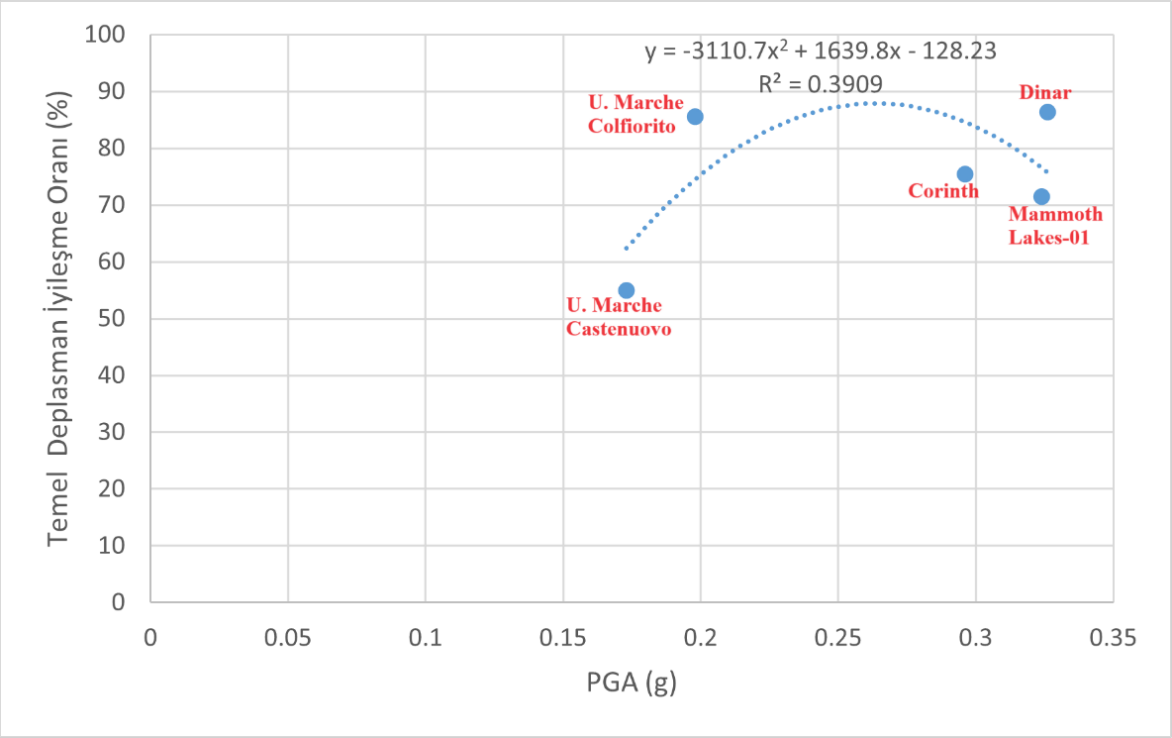
Şekil 9. 86. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA-Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Temel deplasman iyileşme oranı kazıksız radye temel deplasmanından kazıklı radye deplasmanın çıkarılması ve çıkan sayının kazıksız radye temel deplasmanına bölünmesi sonucu bulunmuştur. Bulunan sonuç 100 ile çarpılarak yüzde şeklinde ifade edilmiştir. Doğrultu atımlı depremler için deplasman iyileşme oranı ile PGA ilişkisini Şekil 9. 86.'ya bakarak yorumlamak doğru olmayacaktır. Çünkü Landers depreminin PGA değeri düşük olmasına rağmen yüksek deplasman iyileşme oranına sahiptir.



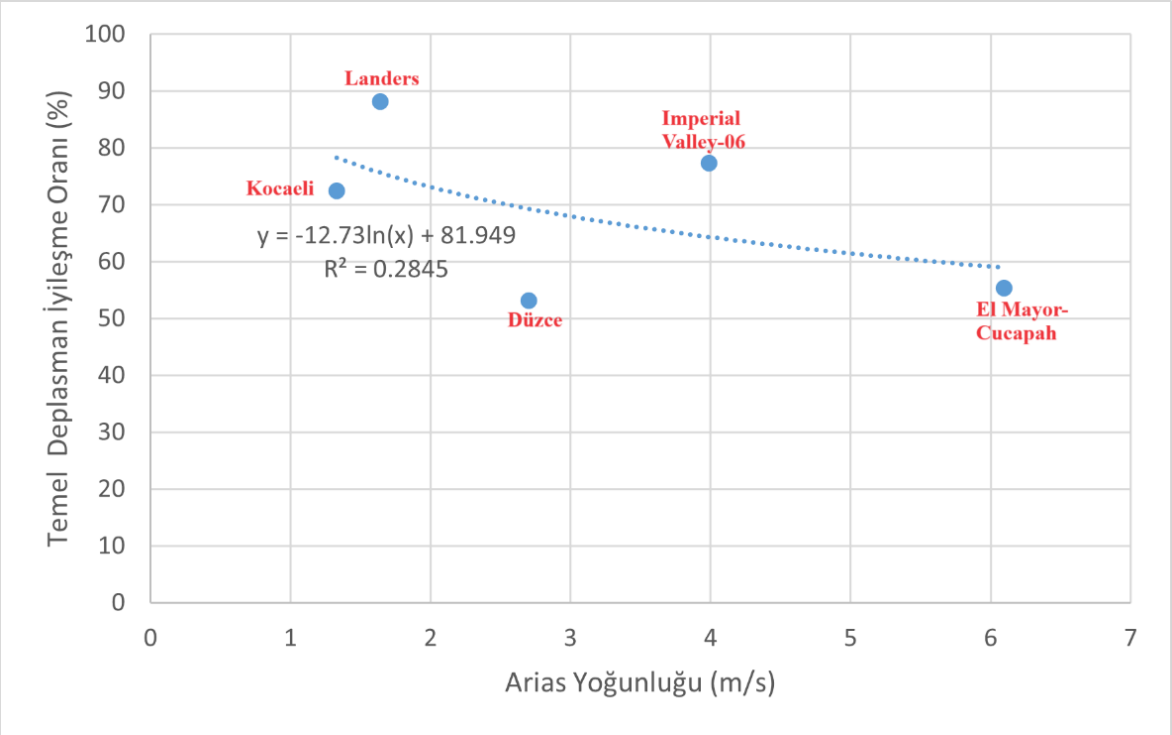
Şekil 9. 87. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 87.'de ters atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGA ilişkisi görülmektedir. Bu şekilde PGA değeri arttıkça deplasman iyileşme oranının doğru orantılı olarak azaldığı net olarak görülmektedir.



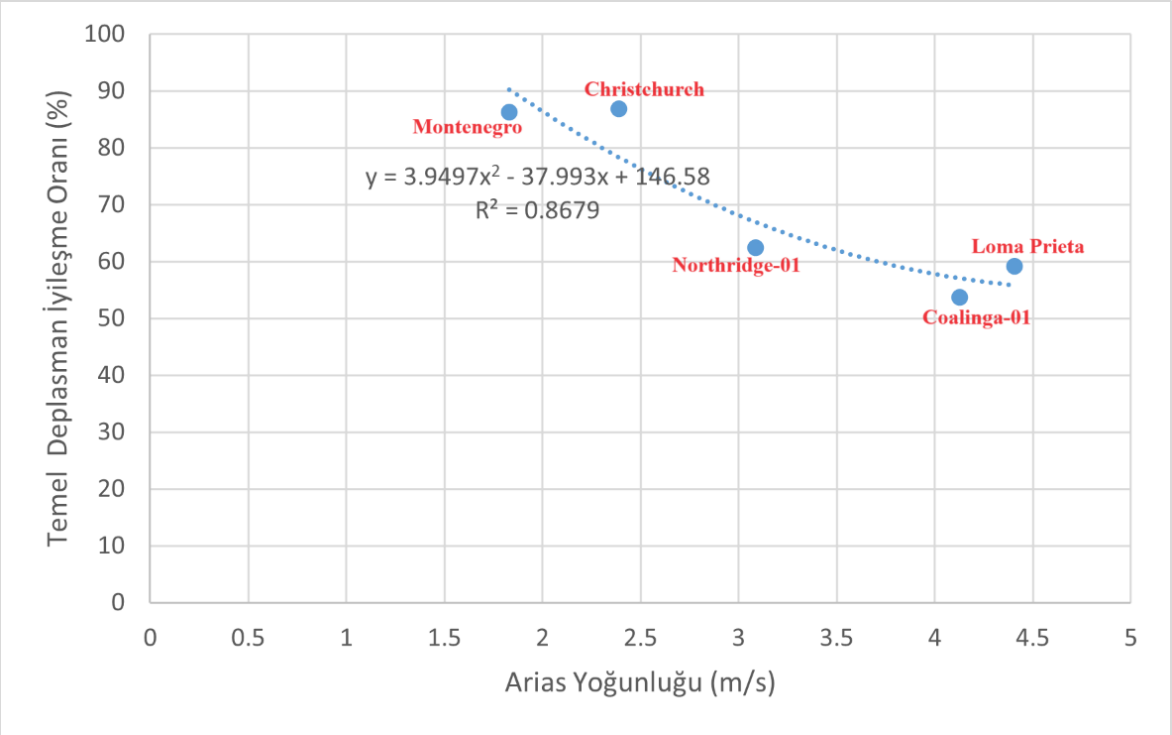
Şekil 9. 88. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGA- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 88.'de normal atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGA ilişkisi incelendiğinde Umbra Marche depremi Castenuovo istasyonu en düşük PGA değerine sahipken deplasman iyileşme oranı da en düşük değerdedir. Dinar depremi de en yüksek PGA değerine sahip olup deplasman iyileşme oranı da en yüksek değerdedir.



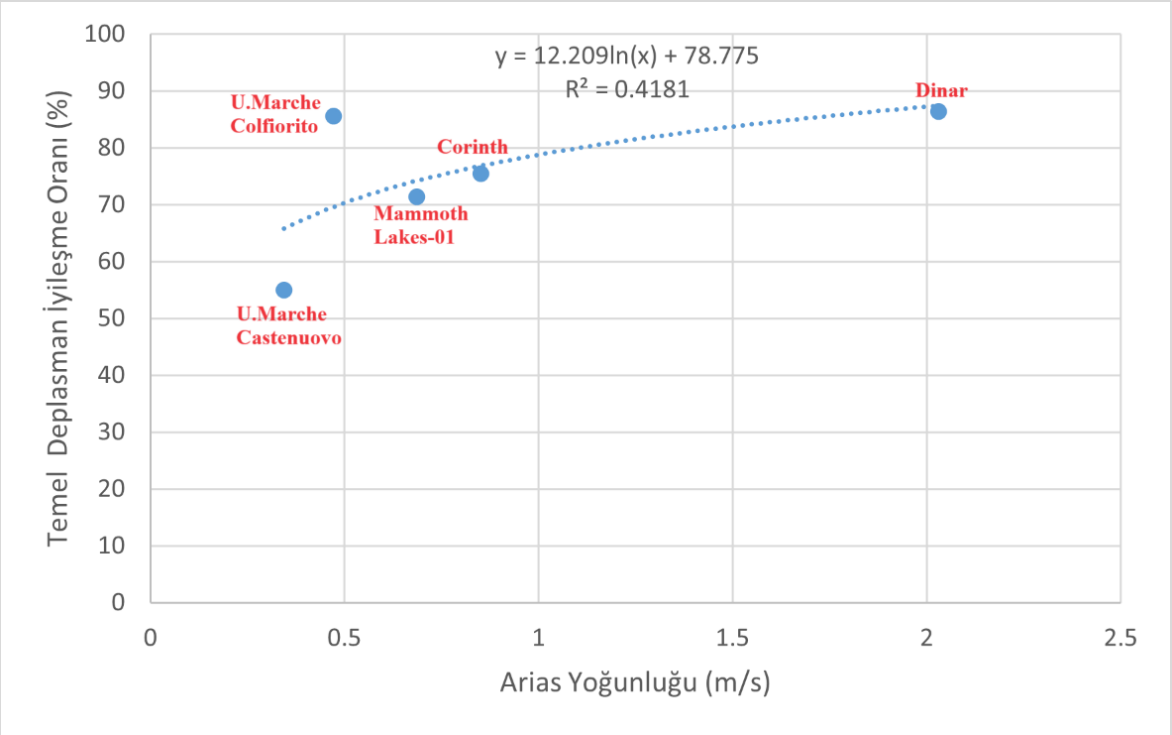
Şekil 9. 89. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 89.'da doğrultu atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Arias yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde doğru orantılı artış veya azalış net olarak görülememektedir. El Mayor – Cucapah depreminin Arias yoğunluğu en yüksek değere sahip olmasına rağmen deplasman iyileşme oranı düşüktür.



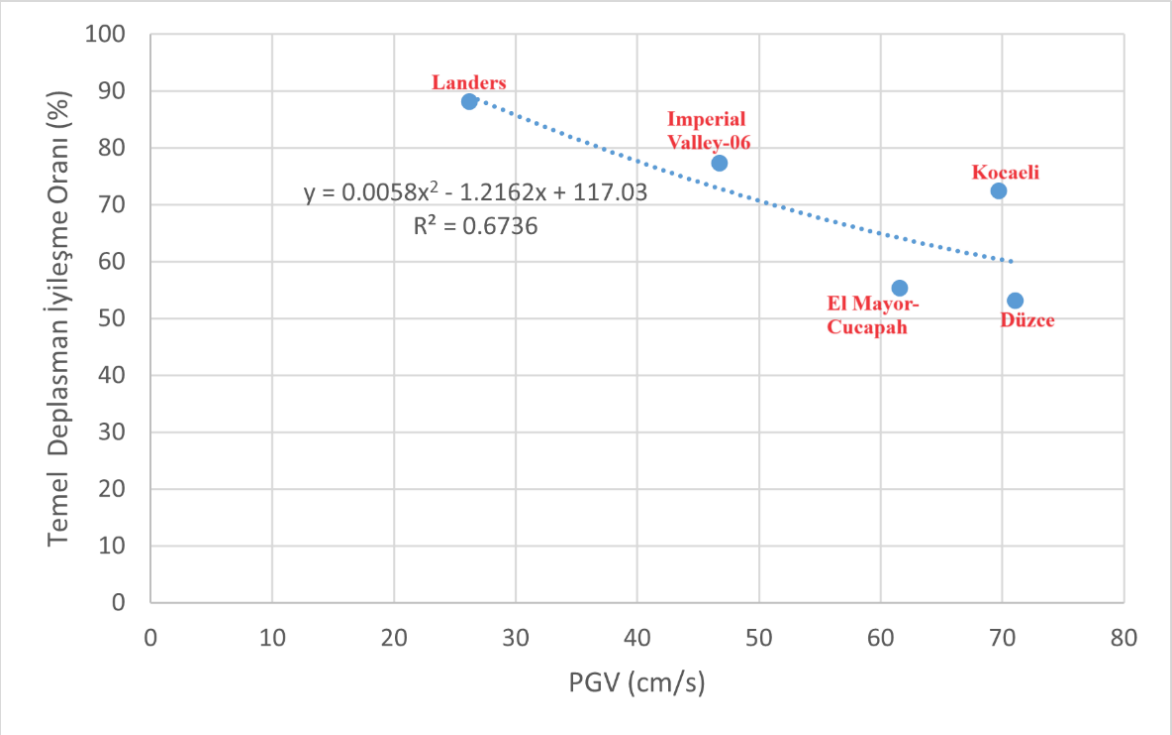
Şekil 9. 90. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 90.'da ters atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Arias yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde Arias yoğunluğu arttıkça temel deplasman iyileşme oranında azalma görülmektedir.



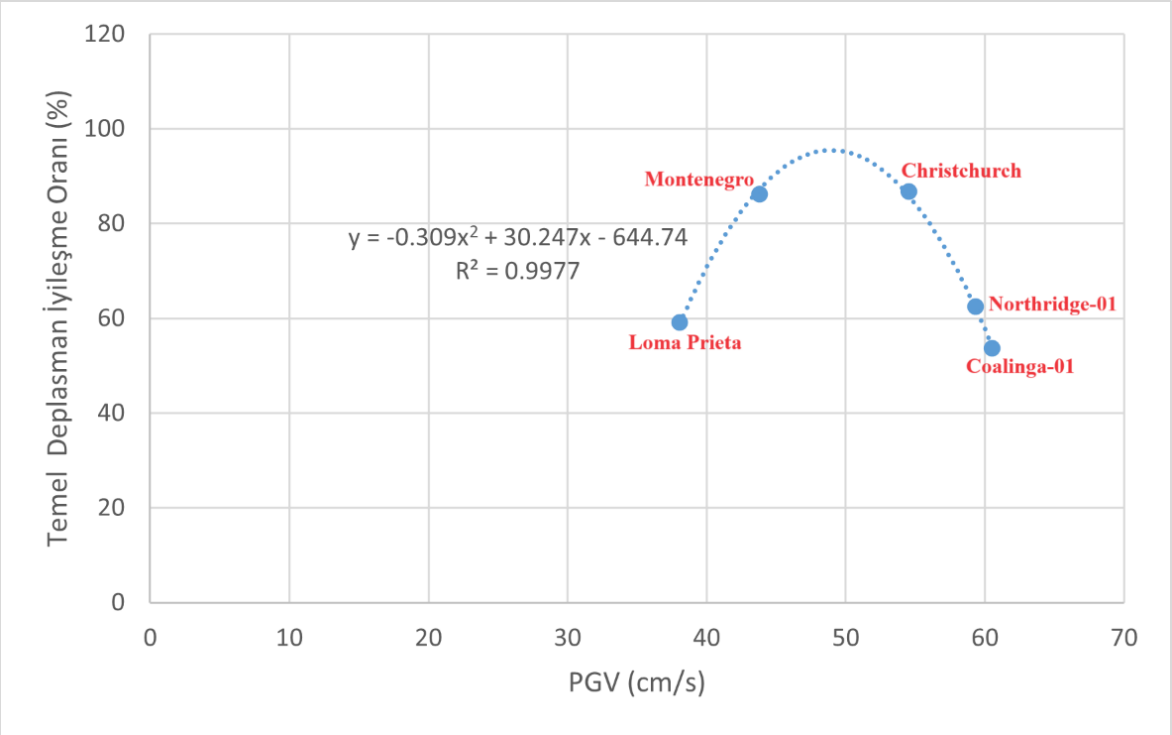
Şekil 9. 91. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait Arias Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 91.'de normal atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Arias yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde Arias yoğunluğu arttıkça temel deplasman iyileşme oranında artış görülmektedir. Ancak Umbra Marche depremi Colfiorito istasyonu bu doğru orantının dışında kalmaktadır.



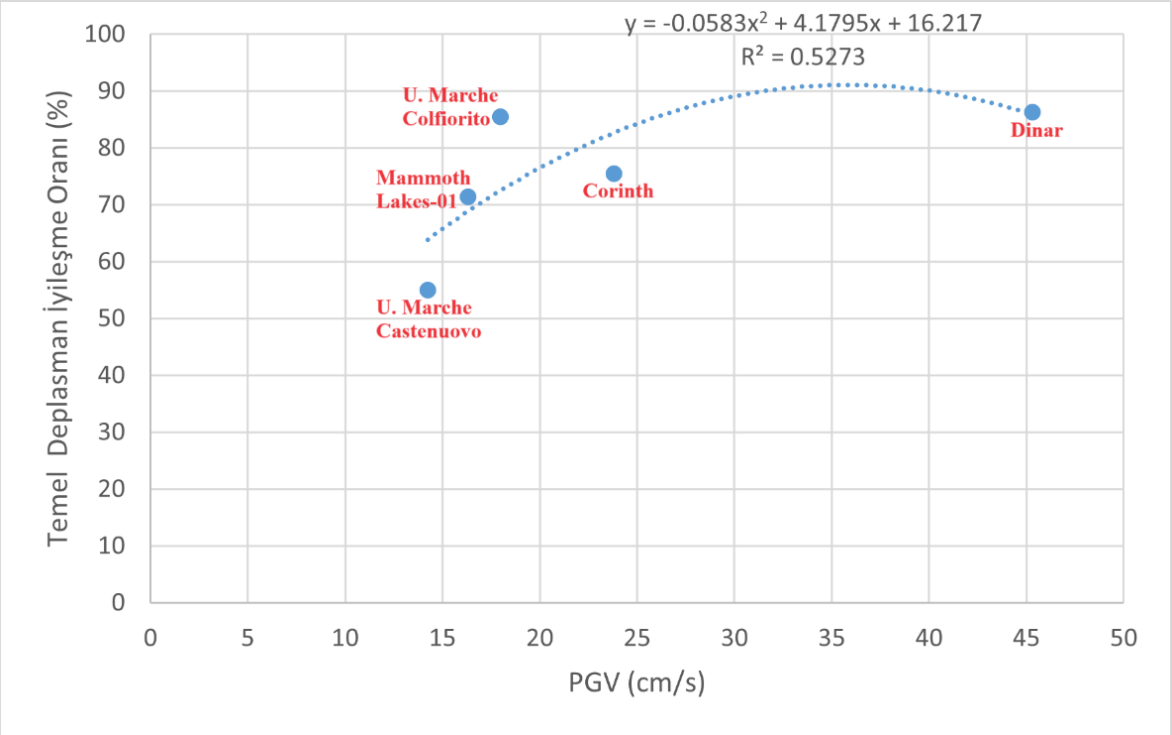
Şekil 9. 92. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 92.'de doğrultu atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGV ilişkisi incelendiğinde PGV arttıkça temel deplasman iyileşme oranında azalma görülmektedir. Ancak Kocaeli depremi bu azalmanın dışında kalmaktadır.



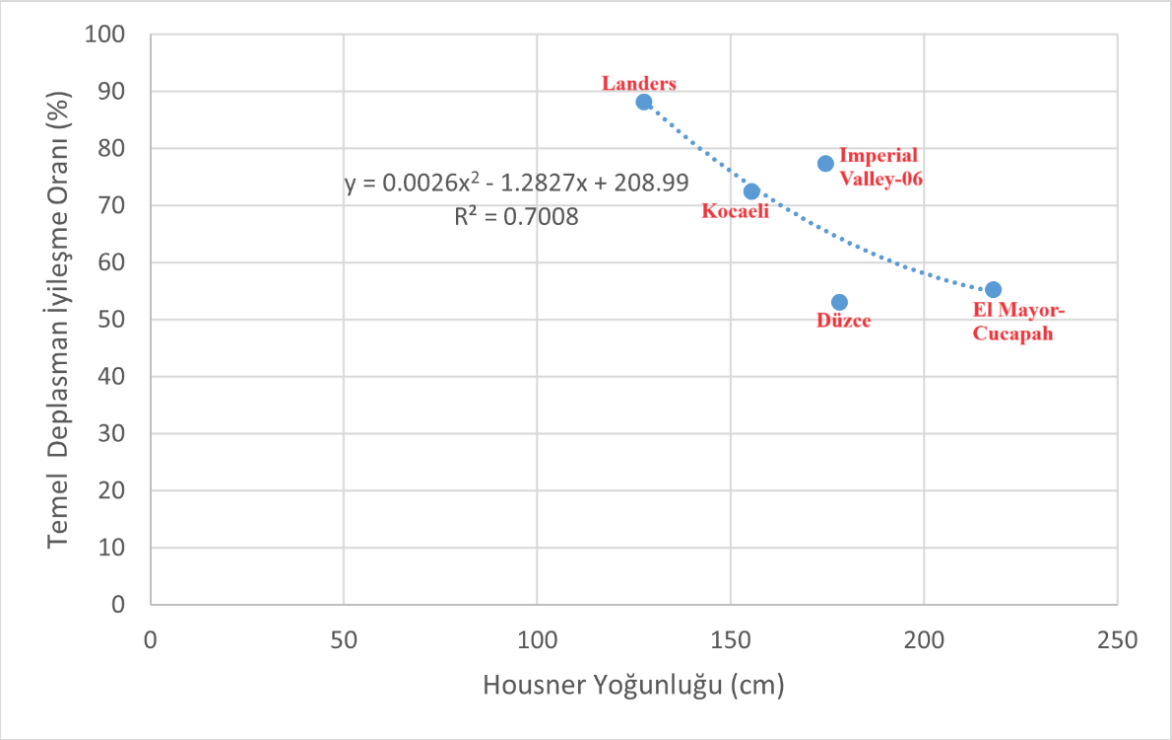
Şekil 9. 93. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 93.'de ters atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGV ilişkisi incelendiğinde PGV arttıkça temel deplasman iyileşme oranında Loma Prieta ve Montenegro depremlerinde doğru orantılı olarak artış görülmektedir. Ancak Christchurch, Northridge-01 ve Coalinga-01 depremlerinde artış yerine doğru orantılı olarak azalma görülmektedir.



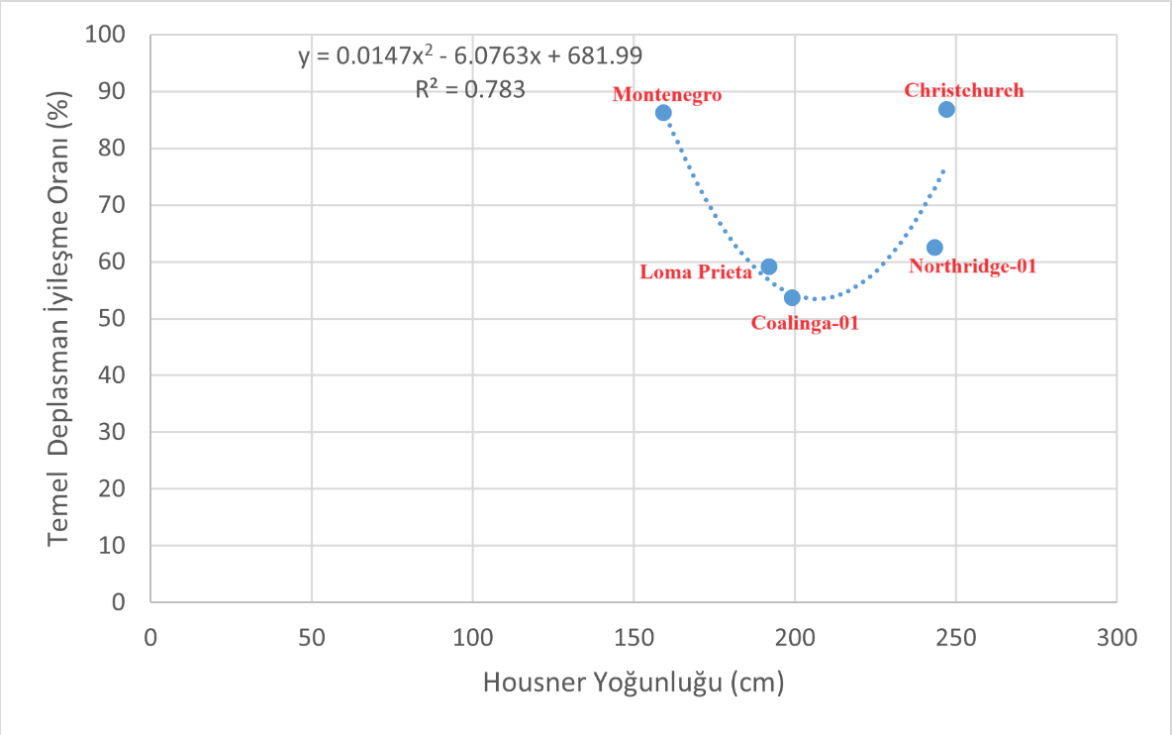
Şekil 9. 94. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGV- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 94.'de normal atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGV ilişkisi incelendiğinde PGV arttıkça temel deplasman iyileşme oranında artış gözükmektedir.



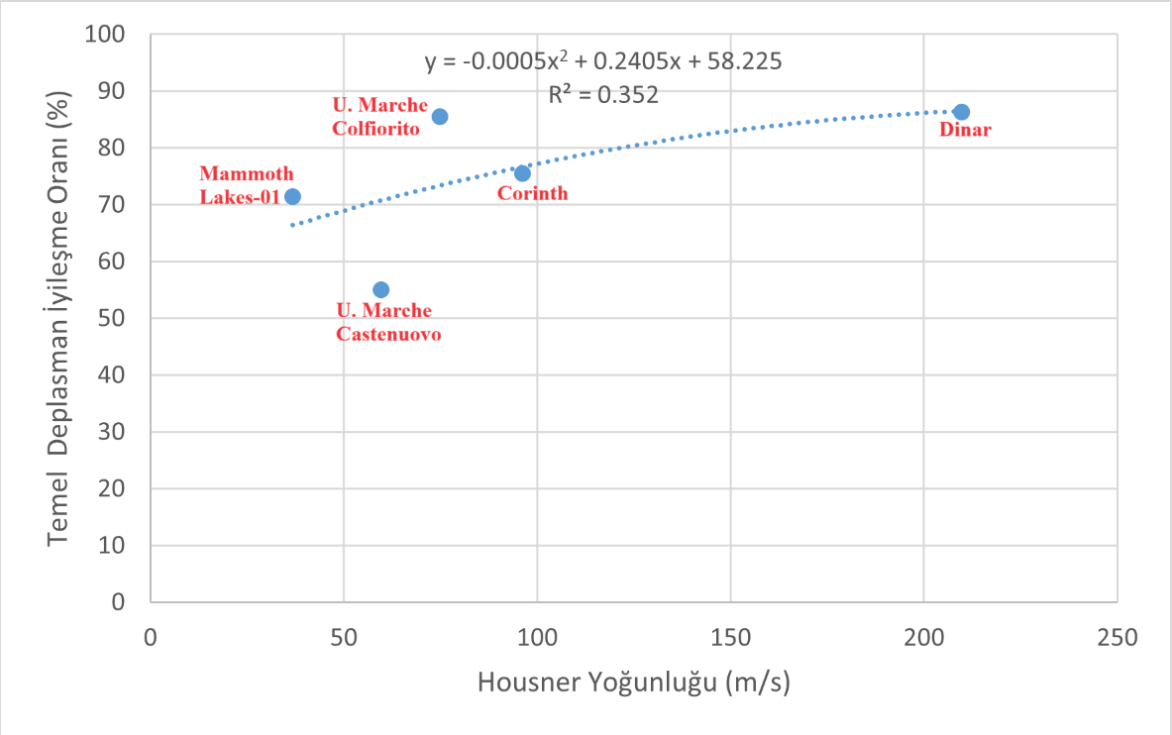
Şekil 9. 95. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 95.'de doğrultu atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Housner yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde Housner yoğunluğu arttıkça temel deplasman iyileşme oranında azalma gözükmektedir.



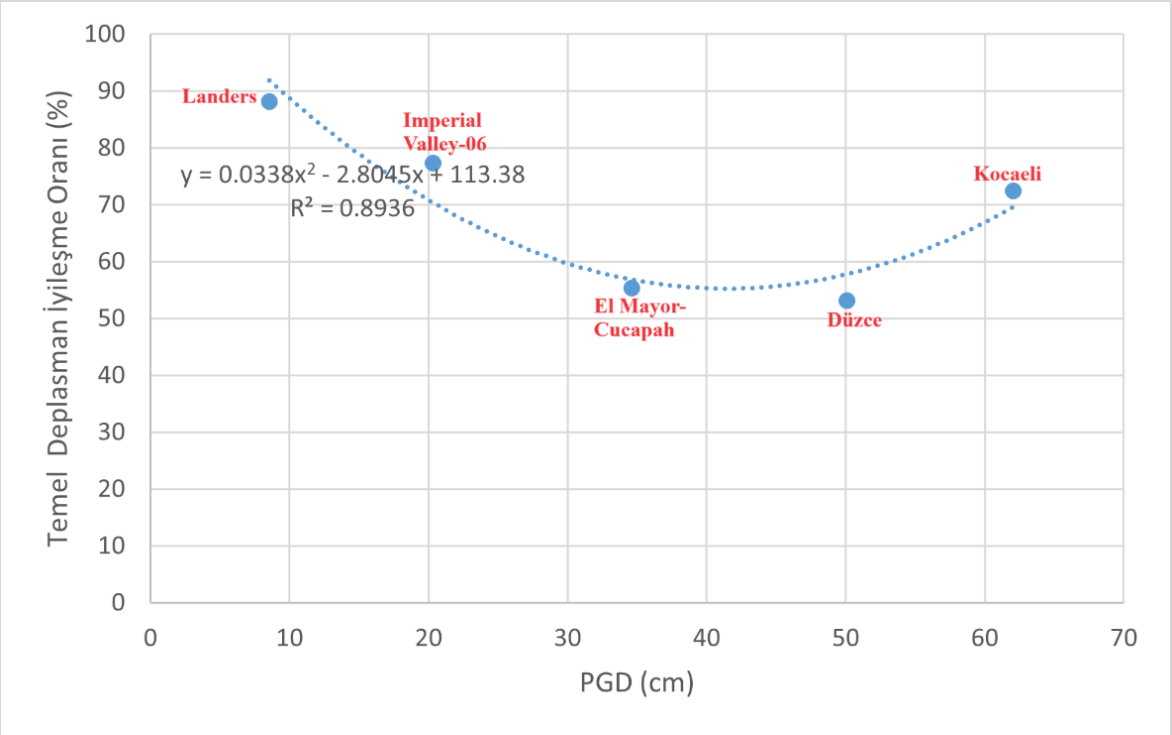
Şekil 9. 96. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 96.'da ters atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Housner yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde Housner yoğunluğu arttıkça temel deplasman iyileşme oranında Loma Prieta, Montenegro ve Coalinga-01 depremlerinde doğru orantılı olarak azalma görülmektedir. Ancak Christchurch ve Northridge-01 depremlerinde artış görülmektedir.



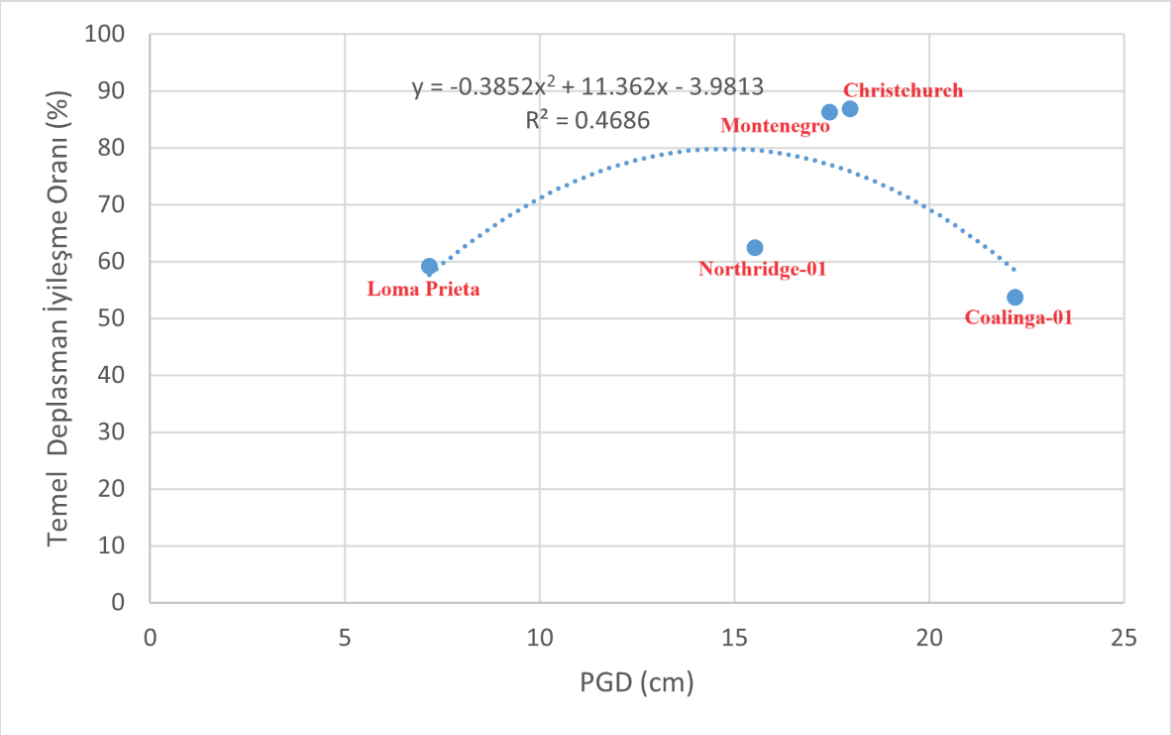
Şekil 9. 97. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait Housner Yoğunluğu- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 97.'de normal atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile Housner yoğunluğu ilişkisi incelendiğinde Housner yoğunluğu arttıkça temel deplasman iyileşme oranında çok küçük de olsa artış görülmektedir.



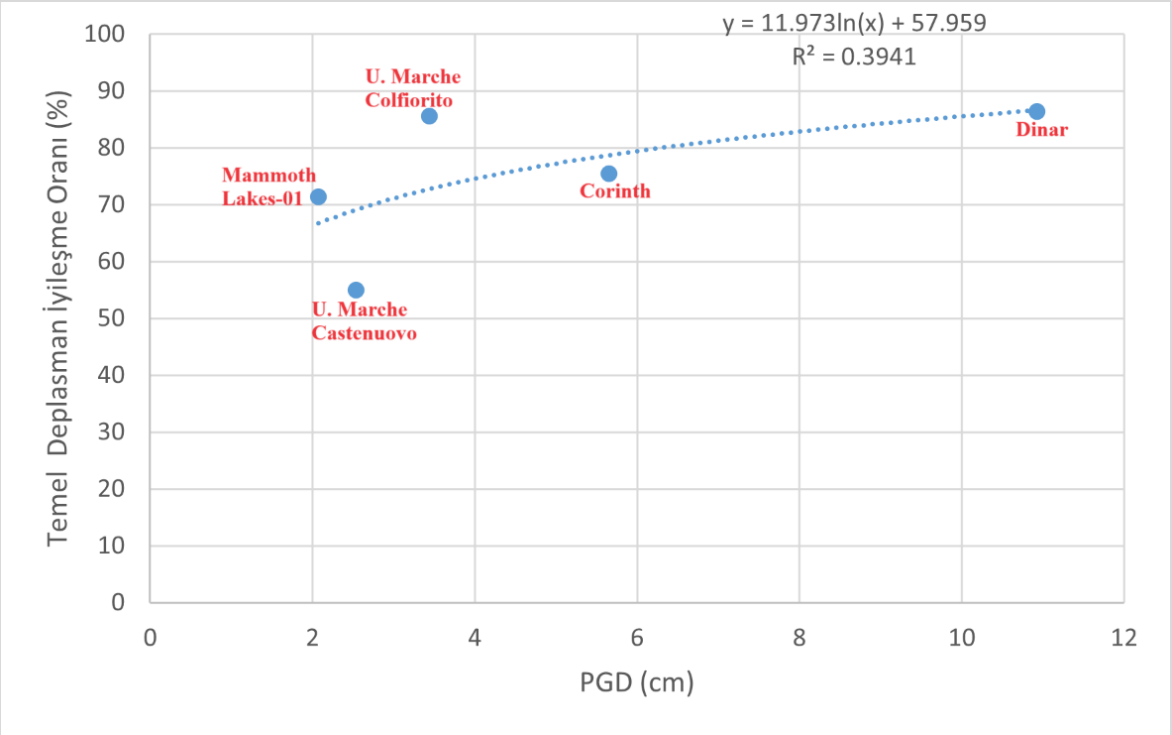
Şekil 9. 98. Doğrultu Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 98.'de doğrultu atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGD ilişkisi incelendiğinde PGD arttıkça temel deplasman iyileşme oranında Kocaeli depremi hariç azalma görülmektedir.



Şekil 9. 99. Ters Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 99.'da ters atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGD ilişkisi incelendiğinde doğru orantılı artış veya azalış görülmemektedir.



Şekil 9. 100. Normal Atımlı Depremler İçin Temele ait PGD- Deplasman İyileşme Oranı Eğrisi

Şekil 9. 100.'de normal atımlı depremler için temel deplasman iyileşme oranı ile PGD ilişkisi incelendiğinde PGD arttıkça temel deplasman iyileşme oranında çok az da olsa artış görülmektedir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

PGA değeri deprem potansiyeli hakkında bilgilendiren ve en çok kullanılan bir değerdir. Ancak, tam anlamıyla güvenilir bir parametre değildir. Çünkü bazı durumlarda PGA değeri çok küçük bir pik nokta ile görülebilir ancak büyük bir PGA değeri yapının davranışına etki olarak önemli belirleyicilik göstermeyebilir. PGA değeri ile deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvvetinin doğru orantılı olduğunu yorumlamak tam anlamıyla doğru olmaz. Grafiklerde görüldüğü üzere doğrultu atımlı deprem olan Kocaeli depreminin PGA değeri diğer depremlerden düşük olmasına rağmen deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değeri yüksektir, Imperial Valley-06 depreminin ise PGA değeri en büyük değere sahipken çok düşük deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme momenti değerine sahiptir. Ters atımlı deprem olan Northridge-01 depremi PGA değeri çok yüksek olmamasına rağmen yüksek deplasman değerine sahiptir. Seçilen depremin ve karakteristiklerinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

PGV değeri incelendiğinde yüksek PGV değerleri yakın fay yer hareketlerinde en belirleyici özelliklerdendir. Orta periyotlu yapılarda yer hareketi şiddet parametresi olarak kullanılmaktadır. PGV değeri PGA'ya kıyasla depremin şiddeti ve yıkıcılığı konusunda daha önemli yorumlar çıkartmaya yardımcı olur. Kocaeli Depreminin en düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen yüksek deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değerine sahip olmasının nedeni PGV değerinin yüksek olmasındandır. Northridge-01 depreminin yüksek deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değerine sahip olmasının sebebi PGV değerinin yüksek olmasıdır.

PGD değeri incelendiğinde büyük periyota sahip yapıların hasar oluşumu üzerindeki etkisinde dikkat edilmesi gereken bir değerdir. Fakat yer hareketlerinin filtrelenmesi ve ivmenin integrasyonu sebebiyle PGD değerinin doğru bir şekilde bulunması zor bir durumdur. Mammoth Lakes-01 depreminin yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük kesme kuvveti değeri olmasının nedeni düşük PGD değerine sahip olmasından kaynaklanır.

Arias yoğunluğu incelendiğinde yer hareketinde ivmeye dayanan frekansla ilgili bilgiye sahip olmayan bir değerdir. Arias yoğunluğu ivme esaslı bir parametre oluğu için PGA ile grafikleri benzerlik göstermektedir. El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değerine sahip olmasının sebebi Arias Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Montenegro ve Christchurch depreminin eğilme momenti ve kesme kuvveti değerinin düşük olmasının nedeni Arias yoğunluğunun en düşük değere sahip olmasından kaynaklanır.

Housner yoğunluğu incelendiğinde hız ölçütlü parametredir bu sebeple bulunan sonuçları PGV ile bulunan sonuçlara benzer değerler gösterir. Mammoth Lakes-01 depreminin en yüksek PGA değerine sahip olmasına rağmen düşük deplasman yapmasının nedeni Housner Yoğunluğu değerinin düşük olmasıdır. El Mayor Depreminin Imperial Valley-06 Depreminden daha düşük PGA değerine sahip olmasına rağmen çok yüksek deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değerine sahip olmasının sebebi Housner Yoğunluğunun en yüksek olmasıdır. Landers Depreminin PGA, Arias Yoğunluğu, PGV ve Housner Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı çok düşük deplasman, eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti değerine sahiptir.

Analizler sonucu radye temele kazık eklemenin oturmaları (deplasmanları), eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvvetini azalttığı gözlemlenmiştir. Yapı tasarımında deprem kaydı seçimi yapıyı etkileyebilecek potansiyel deprem kuvvetlerini belirlemeye yardımcı olduğu için oldukça önemlidir. Deprem kaydı seçimi için yalnızca PGA değerlerine göre karar vermemek gerekir. Sonuçlardan da görüleceği üzere PGV değeri deprem kaydı seçiminde dikkat edilmesi gereken bir parametredir.

Tasarım aşamasında rastgele seçilen ivmelerin sonuçları ne kadar etkileyeceği, salt PGA üzerinden yapılan tasarımların doğru olmadığı, diğer parametrelerin de göz önünde bulundurulması gerekliliği belirtilmiştir. Bu çalışmada yer altı suyu seviyesi etkisi yoktur. Benzer analizlerin su etkisiyle nasıl olacağı da gelecek araştırmaların konusu olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Arias A., (1970). "A measure of earthquake intensity. In: Hansen RJ (ed) Seismic design for nuclear power plants. MIT Press, Cambridge MA, pp 438–483.

Akbaş B., Fahjan Y.M.,Siyahi B.,(2011). Yüksek Binalar İçin Deprem Tehlike Değerlendirmesi ve Zemin Bağımlı Tasarım Deprem Yer Hareketlerinin Belirlenmesi, 1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara,11-14 Ekim 2011.

Akram, M. and M.Z.A. Bakar, (2007). Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks. Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences. 1(50): p. 1–8.

Avcı, G., (2008). ''Kazıklı Temellere Etki Eden Dinamik Yüklerin Statik Yükler Cinsinden Uygulanabilirliğinin Araştırılması'' T.C. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Bilal O. (2021). Kazık Temelli Yapıların Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Brown K. W., (2006). Design and Construction with the 2006 International Building Code, Foundation Engineering Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., California.

Bommer, J. J. Acevedo, A. B. and Douglas, J. (2003). "The selection and scaling of real earthquake accelerograms for use in seismic design and assessment," Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit, American Concrete Institute.

Celep Z., Kumbasar N., (2004), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İstanbul, Beta Dağıtım.

Çakılcıoğlu A. N. ve Durucan C., (2022) "Faya Uzak Yer Hareketi Kayıtları Etkisindeki Yapıların Deprem Davranışları ile Yer Hareketi Şiddet Ölçütlerinin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 34, sy. 2, ss. 855–866.

Çakmak, M., (2019) ''Betonarme Çerçeve Binalarda Sismik Talepler ve İvme Kaydı Parametreleri Arasında İlişkinin Üç Boyutlu Modeller ile İncelenmesi'' T.C. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Çalık, Ö., (2018) ''Donatılı Duvarların (Zeminlerin) Sayısal Analizi'' T.C. İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler 31/08/2018 sayı:84122464.

Çınar, A., (2010) ''Trakya Formasyonunda Yapılan Öngermeli Ankrajlı Derin Kazıların Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi'' Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Das M. B., (2007) Principles of foundation engineering, 7th Edition, Brooks/Cole, California.

Decourt, L, (1990). "The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report", Norwegian Geotechnical Institute Publication, 179, Oslo, Norway.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Demir, B. (2019). ‘‘Hardening Soil Modelinin Detaylarının İncelenmesi’’ GEO Grup 4. Türkiye Plaxis Kullanıcıları Toplantısı, İstanbul.

Duncan, J. M., and Chang, C. Y. (1970). Nonlinear analysis of stress and strain in soils, ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, 96(5), 1629-1653.

Evangelia Garini, George Gazetas, (2012). Damage potential of near-fault records: sliding displacement against conventional “Intensity Measures, Springer,Bull Earthquake Eng (2013) 11:455‑480.

Fahjan, Y. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Dergi, 292, 4423-4444.

Fahjan Y., Vatansever S., Özdemir Z., (2011). Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları ile Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri,1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı,ODTÜ,Ankara, 11-14 Ekim 2011.

Federal Emergency Management Agency. (2004). “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”. Washington, USA, 440.

Filiz, A., (2019). ‘‘Alüviyal Ortamda Bodrumlu Bir Yapının Sayısal Analizinde Geoteknik Malzeme Modeline Bağlı Hassaslık ve Parametre Değişimi Analizi’’ T.C. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

Geoproje Mühendislik, Danışmanlık, İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. (2023). Jandarma Karakol Binası Yapımı Parsel Bazında Zemin İyileştirmesi ve İhata Duvarı Projesi Hakkında Teknik Rapor, İstanbul İli, Şile İlçesi, Ağva Mahallesi, F23c-13a-1dPafta, 3747 Ada, 64 Parsel

Güllü, H., Çanakçı, H., (2008). ‘‘Bir Derin Kazının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi ve Hesaplanan Yanal Deplasmanların Ölçümler ile Karşılaştırılması’’ Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On ikinci Ulusal Kongresi 16-17 Ekim 2008, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Hoek, E., Brown, E. T. (1998). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 34 (8): 1165– 1186

Hasel, F.B., (2013). ‘‘Prefabrik Konsol Kolonların Tasarımında Uygun Deprem Kaydı Seçimi ve Davranışın İrdelenmesi’’ T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Kausel E. (2010). “Early history of soil–structure interaction”. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30(9), 822-832.

Kayhan, A.H. (2011). Eurocode-8 ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Kaydı Setlerinin Armoni Araştırması Tekniği ile Elde Edilmesi, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, ODTÜ, Ankara.

Kumbasar, V., Kip, F., (1999). ‘‘Zemin Mekaniği Problemleri’’ Çağlayan Basımevi İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Külük, E., (2023). ‘‘Deprem Kaydı Seçiminin Barajların Dinamik Yükler Altındaki Davranışına Etkisinin Değerlendirilmesi’’ T.C. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Laman, M. Yıldız, A. Örnek, M. ve Demir, A. (2007). ‘‘Zeminlerin Mekanik Davranışının Modellenmesi’’ XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, Isparta.

Leonards G. A., (1962). Foundation Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., New York.

Lu X, Chen B, Li P, Chen Y. (2003). “Numerical analysis of tall buildings considering dynamic soil-structure interaction”. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2(1), 1-8.

Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. (1997). Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic & Professional, 312.

Mungan, H., Gündüz, Z., Sünbül, A.B., (2018). Yüzeysel Temelli Yapı Grubunun Dinamik Davranışının İncelenmesi, Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, s. 137-158.

Obrzud, R. (2010). ‘‘The hardening soil model: A practical guidebook’’ Zace Services.

Onur M. İ. ve Bahadır A. A., (2018). “Derin Kazı Analizlerinde Küçük Şekil Değiştirme Rijitliğinin Etkisi”, ECJSE, c. 5, sy. 1, ss. 96–106, doi: 10.31202/ecjse.364289.

Ou, C. Y., (2006). Deep Excavation, Theory and Practice, London, UK.

Ölçer, Ö., (2022). ‘‘Deprem Kaydı Ölçekleme Yönteminin Betonarme Yapıların Analiz Sonuçlarına Etkisi’’ T.C. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.

Plaxis, (2019). Plaxis 2D- Reference Manual 2019. Plaxis B.V, Delft, Netherlands.

Reid, H. F., Davis, W. M., Lawson, A. C., & Ransome, F. L. (1913). Report of the committee on the nomenclature of faults. Bulletin of the Geological Society of America, 24(1), 163-186.

Reissner E. (1936). “Stationäre, axialsymmetrische, durch eine schüttelnde Masse erregte Schwingungen eines homogenen elastischen Halbraumes”. Ingenieur-Archiv, 7(6), 381-396.

Roesset JM. (2013). “Soil structure interaction the early stages”. Journal of Applied Science and Engineering, 16(1), 1–8.

Stroud, M.A., (1974). “The standard penetration test in insensitive clays and soft rock”, Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, Sweden, 2.2, 367-375.

SeismoSignal V5.0.0., (2010). Package for the Processing of Strong Motion Data,Seismosofr Ltd.,Pavia Italy.

Sevencan, O., Ozaydın, K., Kılıç, H., (2010). ‘‘Derin Kazılarda Zemin Deformasyonlarının Nümerik Analizi’’, ZMTM 13. Ulusal Kongresi, sf: 421- 430, İKU, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Şayan, M., (2013). Ambar Barajı deprem risk durumunun dinamik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 44 s.

Şen S., (2006). Kohezyonsuz Zeminde ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Gücü Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi.

Taştan H. ve Özgür M., (2023). "Çok Katlı Betonarme Bir Binanın Altsistem Yaklaşımı ile Analizi", JARNAS, c. 9, sy. 1, ss. 167–182, doi: 10.28979/jarnas.1147638.

T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistem (2024). (https://doi.org/10.7914/SN/TK), (AFAD-TADAS) https://tadas.afad.gov.tr

The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) (2024). https://peer.berkeley.edu/research/datasciences.

Tolun, M., (2016). ''Dinamik Yük Etkisindeki Kazıkların Davranışının İncelenmesi'' T.C. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Tomlinson M. J., (1977). Pile Design and Construction Practice, 1st ed., Viewpoint Publ., London.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, AFAD (2018) (https://tdth.afad.gov.tr/)

Ulamış K. (2019). Ankara çevresi için Arias şiddetinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.;25:768–774.

Vıggıanı, G., Atkınson, J.H., (1995). ''Stifness of fine- granied soil at very small strains'' Geotechnique 45, No.2 249-265.

Whitman RV. (1970). Soil-Structure Interaction. Editors: Hansen RJ. Seismic Design for Nuclear Power Plants, 245-269, Cambridge, London, England.

Wulandari, P.S., Tjandra, D., (2015). Analysis of Piled Raft Foundation on Soft Soil Using PLAXIS 2D, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), p. 363-367.