



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIYI VE LİMAN YAPILARININ DEPREM KAYITLARI
KULLANARAK PERFORMANSA DAYALI TASARIMI

Bora ARSLAN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 12.06.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Sadık Öztoprak
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. İlknur Bozbey
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Özer Çiniciođlu
Boğaziçi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Öncelikle, tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, beni yetiştiren ve bugünlere gelmemi sağlayan kıymetli aileme, anneme ve babama çok teşekkür ederim.

Hem lisans hem yüksek lisans hem de profesyonel meslek yaşantımın her anında çok büyük emekleri ve katkısı olan, geoteknik mühendisliğini sevmemdeki en büyük sebep, çok değerli hocam Sayın Doç.Dr. Sadık Öztoprak'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi hazırlamam esnasında sürekli desteklerini esirgemeyen ARS Geoteknik ailesine ve meslektaşım İnşaat Mühendisi Ayşegül Çetin'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayat arkadaşım, biricik oğlumuz ve kıymetlimiz Ali'nin annesi, ARS Geoteknik'in kurulmasında ve gelişmesinde çok büyük emekleri ve desteği olan, ayrıca tezimin son dönemlerinde kahrımı en çok çeken, sevgili eşim Elif'e en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, kısa bir süre önce kaybettiğimiz, meslek yaşantımın ilk gününden beri yanımda olan ve desteğini üzerimden eksik etmeyen, Türkiye'nin jeoloji konusunda yetiştirdiği en değerli mühendislerinden, dostum, Jeoloji Yüksek Mühendisi Altay Ertin'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2019

Bora ARSLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE SİSMİK KODLAR	3
2.1.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TDBY (2018)	4
2.1.2 Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008)	10
2.1.3. NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)-FEMA 1050 (2015).....	17
2.1.4. Eurocode 8 (1998)	21
2.1.5. PIANC (2001)	25
2.2 DEPREM KAYITLARININ KULLANILMASI	30
2.2.1. Ters Evrişim (Dekonvolüsyon) Etkisi	30
2.2.2. Tasarımda İvme-Zaman Kayıt Seçimi.....	32
2.2.3 İvme Spektrumları Kullanarak Kayıtların Ölçeklenmesi	36
2.2.4 Kayıtların Ölçeklenmesinde Yararlanılan Yazılım (SeismoMatch).....	36
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	39
3.1. DEPREM SIRASINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN DAVRANIŞI ANALİZLERİ	39
3.2. VAKALARIN SEÇİMİ	48
3.2.1. Vaka-1 Yükleme Durumu (Kazıklı Dolgu Sistemi).....	48
3.2.2. Vaka-2 Boşaltma Durumu (Kazı Destek Sistemi).....	51
3.3. DEPREM KAYITLARININ TANITIMI	54
4. BULGULAR.....	59

4.1. DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE EŞLEŞTİRİLMESİ	59
4.2. FAKTÖRLERİN ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	64
4.2.1. Geometrik Faktörler	64
4.2.1.1 Nümerik Model Sınır Koşulları ve Ağ Boyutu	64
4.2.1.2 Model Geometrisi Hassasiyeti	67
4.2.1.3 Dinamik Model Kalibrasyonu.....	72
4.2.2. Kayıt Özellikleri	75
4.2.3. Ters Evrişim (Dekonvolüsyon)	77
4.2.4. Spektrumlar ve Deformasyon Grafikleri	84
4.3. VAKA-1 KAYITLAR KULLANILARAK LİMAN VE KIYI YAPISININ PERFORMANSA BAĞLI TASARIMI.....	90
4.4.1. Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Zemin Davranış Analizleri.....	90
4.4.2. Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Sıvılaşma Analizleri.....	93
4.4. VAKA-2 KAYITLAR KULLANILARAK KAZI DESTEK YAPISININ PERFORMANSA BAĞLI TASARIMI.....	99
4.4.1. Statik Analiz (SLS).....	100
4.4.2. Pseudo-Statik Analiz Sonuçları (ULS).....	104
4.4.3. Dinamik Analiz	106
4.4.3. Yapısal Tasarım.....	110
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	112
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	116

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018).....	4
Şekil 2.2: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	7
Şekil 2.3: Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu. (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	7
Şekil 2.4: Tasarım ivme spektrumu (DLH, 2008).....	14
Şekil 2.5: Üniform tehlike tepki spektrumu (NEHRP, 2015).	18
Şekil 2.6: Dizayn spektral tepki ivmesi spektrumu (NEHRP, 2015).	20
Şekil 2.7: Elastik tepki spektrumu EN 1998-1.	22
Şekil 2.8: A-E tipi zeminler için Tip 1 elastik tepki spektrumu (Eurocode 8, 1998).....	24
Şekil 2.9: A-E tipi zeminler için Tip 2 elastik tepki spektrumu (Eurocode 8, 1998).....	24
Şekil 2.10: Tipik rıhtım yapıları (Pianc, 2001).....	26
Şekil 2.11: Palplanş tipi rıhtım yapılarında deformasyon ve yenilme durumları (a. ankrajda deformasyon/yenilme koşulu, b. kazıklı duvarda/gergi çubuğunda meydana gelen yenilme, c. sokette meydana gelen yenilme).....	28
Şekil 2.12: Hasar kriterini tanımlamak için gerekli parametreler (a. deplasmana göre, b. gerilmeye göre).....	29
Şekil 2.13: Sismik veri girişi.	31
Şekil 2.14: Nümerik model içerisinde oluşan dalga yayılımının şematik gösterimi.	32
Şekil 2.15: SeismoMatch yazılımı ara yüzü.	37
Şekil 2.16: SeismoMatch yazılımı hedef spektrum gösterimi.	38
Şekil 2.17: SeismoMatch yazılımı çok sayıda sismik kayıttın tek ekranda gösterimi.....	38
Şekil 3.1: Plaxis yazılımı arayüz görünümü.	41
Şekil 3.2: Plaxis'te basit bir dinamik model görünümü.	41
Şekil 3.3: Hiperbolik gerilme deformasyon ilişkisi (Plaxis 2D, 2015).	42

Şekil 3.4: Plaxis damping parametreleri.....	43
Şekil 3.5: Plaxis ivme spektrumu grafiği	44
Şekil 3.6: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre örnek bir hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumları (Ters Evrişim katsayısı = 0.5-0.7-1.0).....	45
Şekil 3.7: Rıhtım yapısının geometrisi.	48
Şekil 3.8: Rıhtım yapısının geometrisi (yakın görünüm).	49
Şekil 3.9: Kazı destek yapısının geometrisi.....	52
Şekil 3.10: DD-1 Deprem Seviyesi, ZC Sınıfı zemin için tepki spektrumu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun).....	54
Şekil 3.11: E01_Irpinia, Italy-01 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	56
Şekil 3.12: E02_Mammoth Lake-09 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	56
Şekil 3.13: E03_Morgan Hill depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	56
Şekil 3.14: E04_Victoria, Mexico depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	56
Şekil 3.15: E05_Dursunbey, Turkey depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	57
Şekil 3.16: E06_New Zealand depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.....	57
Şekil 3.17: E07_Stone Canyon depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.....	57
Şekil 3.18: E08_Corinth Greece depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.....	57
Şekil 3.19: E09_Irpinia, Italy-02 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	58
Şekil 3.20: E10_Parkfield depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.....	58
Şekil 3.21: E11_Northern Calif-07 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.....	58
Şekil 3.22: Tüm deprem kayıtları (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.	58
Şekil 4.1: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre ölçeklendirilmiş depremlere ait tüm depremlere ait spektrumlar ve hedef spektrum.	60
Şekil 4.2: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre ölçeklendirilmiş depremlere ait spektrumların ortalaması ve hedef spektrum.....	60
Şekil 4.3: E01_Irpinia, Italy-01 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.4: E02_Mammoth Lake-09 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.	61

Şekil 4.5: E03_Morgan Hill depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.	61
Şekil 4.6: E04_Victoria, Mexico depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.7: E05_Dursunbey, Turkey depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.8: E06_New Zealand depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.9: E07_Stone Canyon depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.10: E08_Corinth, Greece depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.11: E09_Irpinia, Italy-02 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.12: E10_Parkfield depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.13: E11_Northern Calif-07 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.	63
Şekil 4.14: Tüm deprem kayıtları (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.15: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü.	65
Şekil 4.16: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (yakın görünüm).	65
Şekil 4.17: Ağ boyutu =6.82m (E06_New Zealand depremi).....	66
Şekil 4.18: Ağ boyutu =4.2m (E06_New Zealand depremi).....	66
Şekil 4.19: Ağ boyutu =1.6m (E06_New Zealand depremi).....	66
Şekil 4.20: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Ağ boyutu=6.82m, 4.2m, 1.6m).....	67
Şekil 4.21: Deformasyon mesh - genişlik=600m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	68
Şekil 4.22: Deformasyon mesh- genişlik=800m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	68
Şekil 4.23: Deformasyon mesh- genişlik=1000m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	68
Şekil 4.24: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Genişlik=600-800-1000m).....	69
Şekil 4.25: Moment-Derinlik Grafiği, Ön Kazık (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	70
Şekil 4.26: Moment-Derinlik Grafiği, Arka Kazık (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	70
Şekil 4.27: Toplam deplasman- genişlik=600m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	71

Şekil 4.28: Toplam deplasman- genişlik=800m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	71
Şekil 4.29: Toplam deplasman- genişlik=1000m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	72
Şekil 4.30: Dinamik zaman adımı 0.02 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	73
Şekil 4.31: Dinamik zaman adımı 0.01 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	73
Şekil 4.32: Dinamik zaman adımı 0.002 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	74
Şekil 4.33: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Zaman adımı=0.02-0.01-0.002m).....	74
Şekil 4.34: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E21_Oroville-01 ve E22 Kobe, Japan depremlerine ait spektrum ve hedef spektrum.	76
Şekil 4.35: Toplam Deplasman- DD-1 deprem seviyesine göre E21_Oroville-01.	76
Şekil 4.36: Toplam Deplasman- DD-1 deprem seviyesine göre E22_Kobe, Japan.....	77
Şekil 4.37: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre hedef spektrum ve ortalama spektrumlar (Ters Evrişim katsayısı = 0.5-0.7-1.0).....	78
Şekil 4.38: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı=1.0).	79
Şekil 4.39: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).	79
Şekil 4.40: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.7).	80
Şekil 4.41: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.7).	80
Şekil 4.42: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).	81
Şekil 4.43: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).	81
Şekil 4.44: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).	82
Şekil 4.45: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).	83
Şekil 4.46: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).	83

Şekil 4.47: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).	84
Şekil 4.48: Plaxis model geometrisi üzerinde spektrumları incelenen noktaların gösterimi (A noktası-K noktası-O noktası).	85
Şekil 4.49: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre farklı üç noktadan alınan tepki spektrumları (E06 New Zealand).....	85
Şekil 4.50: Plaxis model geometrisi üzerinde spektrumları incelenen noktaların gösterimi.	86
Şekil 4.51: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre yumuşak zemin bölgesindeki farklı üç noktadan alınan spektrumlar (E06 New Zealand).	86
Şekil 4.52: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre kaya bölgesindeki farklı üç noktadan alınan spektrumlar (E06 New Zealand).....	87
Şekil 4.53: Oroville-01 depremi deplasman-zaman grafiği.	87
Şekil 4.54: E01_Irpinia, Italy-01 depremi deplasman-zaman grafiği.	88
Şekil 4.55: E02_Mammoth Lake depremi deplasman-zaman grafiği.	88
Şekil 4.56: E03_Morgan Hill depremi deplasman-zaman grafiği.....	88
Şekil 4.57: E04_Victoria, Mexico depremi deplasman-zaman grafiği.	88
Şekil 4.58: E05_Dursunbey depremi deplasman-zaman grafiği.	89
Şekil 4.59: E06_New Zealand depremi deplasman-zaman grafiği.	89
Şekil 4.60: E07_Stone Canyon depremi deplasman-zaman grafiği.	89
Şekil 4.61: E09_Irpinia, Italy-02 depremi deplasman-zaman grafiği.	89
Şekil 4.62: E10_Parkfield depremi deplasman-zaman grafiği.	90
Şekil 4.63: E11_Northern Calif-07 depremi deplasman-zaman grafiği.	90
Şekil 4.64: Toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	91
Şekil 4.65: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumu.....	91
Şekil 4.66: Zemin Islahı olmadan önce toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	97
Şekil 4.67: Zemin Islahı yapıldıktan sonra toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	97

Şekil 4.68: Zemin ıslahı sonrası sıvılaşma oluşmadığını gösteren spektrum, hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumu.....	98
Şekil 4.69: Plaxis model geometrisi (Statik Analiz).....	100
Şekil 4.70: Toplam deplasman grafiği.....	101
Şekil 4.71: Toplam yatay deplasman grafiği.....	102
Şekil 4.72: Statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği.....	102
Şekil 4.73: Statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği.....	103
Şekil 4.74: Pseudo-statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği (DA-3 yaklaşımına göre).	104
Şekil 4.75: Pseudo-statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği (DA-3 yaklaşımına göre).	104
Şekil 4.76: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (Dinamik Analiz).....	106
Şekil 4.77: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (Yakın Görünüm).	106
Şekil 4.78: Toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).....	107
Şekil 4.79: Toplam deplasman-Yakın görünüm (DD-1 E06_New Zealand Depremi).	107
Şekil 4.80: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum.....	108
Şekil 4.81: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum.....	108

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Deprem düzeyleri ve kabuller (TDBY, 2018).....	5
Tablo 2.2: Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları F_s (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	6
Tablo 2.3: 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları F_1 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	6
Tablo 2.4: Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı (I), (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	8
Tablo 2.5: Bina Performans Düzeyleri, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).	9
Tablo 2.6: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (a) Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).	9
Tablo 2.7: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (b) Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS=1$), (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).....	10
Tablo 2.8: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (c) Mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).	10
Tablo 2.9: Deprem düzeyleri ve kabuller (DLH, 2008).	11
Tablo 2.10: Kısa periyod zemin katsayısı F_a (DLH, 2008).	12
Tablo 2.11: 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v (DLH, 2008).	12
Tablo 2.12: Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri.	14
Tablo 2.13: Performans düzeyleri.	15
Tablo 2.14: Ağırlık tipi rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).....	16
Tablo 2.15: Palplanşlı rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).....	17
Tablo 2.16: Palplanş veya çelik levhalar ile yapılan hücre tipi rıhtım duvarları için hasar limitleri (DLH, 2008).	17

Tablo 2.17: Hızlara göre zemin sınıfı tanımlaması (NEHRP, 2015).....	19
Tablo 2.18: Kısa periyod için zemin katsayısı Fa (NEHRP, 2015).....	19
Tablo 2.19: 1.0 s periyodu için zemin katsayısı Fv (NEHRP, 2015).	19
Tablo 2.20: Dizayn Spektrum Katsayıları (NEHRP, 2015).	20
Tablo 2.21: Zemin tipleri (Eurocode 8).....	22
Tablo 2.22: Tip 1 elastik tepki spektrumu parametreleri (Eurocode 8, 1998).....	23
Tablo 2.23: Tip 2 elastik tepki spektrumu parametreleri (Eurocode 8, 1998).....	23
Tablo 2.24: Performansa bağlı tasarımda kabul edilebilir hasar seviyeleri (Pianc, 2001).	27
Tablo 2.25: Performans dereceleri S, A, B ve C (Pianc, 2001).....	27
Tablo 2.26: Palplanş tipi rıhtım duvarları için hasar limitleri (Pianc, 2001).....	29
Tablo 3.1 : Plaxis yazılımı özet kullanımı.....	40
Tablo 3.2 : Sönümlenme oranına denk gelen rayleigh katsayıları.	43
Tablo 3.3: Palplanşlı rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).....	46
Tablo 3.4: Uygulanacak tasarım kriteri.	46
Tablo 3.5: Performans limitleri.	46
Tablo 3.6: Deformasyona bağlı tasarım kriterleri.	47
Tablo 3.7: Tasarım Yaklaşımı-2 (DA-2) faktörleri (Eurocode, 1998).	47
Tablo 3.8: Tasarım Yaklaşımı-3 (DA-3) faktörleri (Eurocode, 1998).	47
Tablo 3.9: Rıhtım yapısı yapısal elemanlar boyutları.....	49
Tablo 3.10: Plaxis modelinde kullanılan zeminlerin kütle modelleri.....	49
Tablo 3.11: Plaxis'te kullanılan zemin parametreleri (damping %0.5).....	50
Tablo 3.12: Plaxis'te kullanılan kaya parametreleri (damping %0.5).....	50
Tablo 3.13: Plaxis'te kullanılan yapısal elemanların parametreleri.	51
Tablo 3.14: Kazık destek yapısı yapısal elemanlar boyutları.	51
Tablo 3.15: Plaxis'te kullanılan yapısal elemanların parametreleri.	52
Tablo 3.16: Plaxis'te kullanılan statik zemin parametreleri.	53

Tablo 3.17: Plaxis'te kullanılan dinamik zemin parametreleri (damping %0,5).....	53
Tablo 3.18: Eşdeğer PGA değerleri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği).....	54
Tablo 3.19: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre DD-1 deprem seviyesi için yer hareket parametreleri.	54
Tablo 3.20: Seçilen deprem kayıtlarının hedef PGA değerine göre ölçeklenmesi.....	55
Tablo 4.1: Plaxis 2D analiz özet sonuçları.	69
Tablo 4.2: Plaxis 2D analiz özet sonuçları.	75
Tablo 4.3: Seçilen deprem kayıtlarının hedef PGA değerine göre ölçeklenmesi.....	75
Tablo 4.4: Plaxis 2D analiz 11 kayıt ortalama özet sonuçları.	82
Tablo 4.5: Plaxis 2D statik analiz özet sonuçları.....	92
Tablo 4.6: Plaxis 2D dinamik analiz özet sonuçları.	92
Tablo 4.7: Plaxis 2D dinamik analiz özet sonuçları.	93
Tablo 4.8: Sıvılaşma Hesabı.....	96
Tablo 4.9: Deformasyona bağlı tasarım, düşey deformasyon kriteri.	100
Tablo 4.10: Plaxis 2D analiz özet sonuçları ve deformasyon kontrolü.	101
Tablo 4.11: Deformasyona bağlı tasarım, maksimum açısız dönme kriteri.....	101
Tablo 4.12: Plaxis 2D ankraj kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.....	103
Tablo 4.13: Plaxis 2D kazık kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.....	103
Tablo 4.14: Plaxis 2D ankraj kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.....	105
Tablo 4.15: Plaxis 2D kazık kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.....	105
Tablo 4.16: Plaxis 2D analiz özet sonuçları ve tasarım kuvvetleri.	109
Tablo 4.17: Plaxis 2D Deformasyon Tasarım Kriteri (DD-1 Seviyesi Dinamik Analizi).	109
Tablo 4.18: Deformasyona bağlı tasarım, düşey deformasyon kriteri.	110
Tablo 4.19: Deformasyona bağlı tasarım, maksimum açısız dönme kriteri (DD-1 Seviyesi Dinamik Analizi).	110
Tablo 4.20: Kazıklar Üzerindeki Tasarım Kesit Tesirleri.....	110
Tablo 4.21: Kazıklar Üzerindeki Tasarım Kesit Tesirleri.....	111

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
D	: Sönümlenme oranı
g	: Yer çekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
M_w	: Moment manyitudü
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aed}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{de}(T)$: Yatay elastik spektral yerdeğiştirme
S_{Ds}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1.0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
$(V_s)_{30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
N_{SPT}	: SPT vuruş sayısı
$\Delta\sigma$: Stres düşümü
R	: Hiposentıral uzaklık
SF	: Scale factor-ölçekleme katsayısı
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
F_s	: Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları
F_1	: 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları

I	: Bina önem katsayısı
F_a	: Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (DLH)
F_v	: 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları (DLH)
δ_x	: Maksimum yatay deformasyon
H	: Kazı derinliği
δ_y	: Maksimum düşey deformasyon
β_{max}	: Kazı arkasındaki maksimum açısal dönme
G	: Sabit yükler
Q	: Değişken yükler
c'	: Efektif kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma dayanımı
γ	: Birim hacim ağırlık
q_u	: Tek eksenli basınç dayanımı
Φ	: Kayma mukavemeti açısı
E₅₀	: Deviatorik referans modülü
E_{oed}	: Sıkışma referans modülü
E_{ur}	: Yükleme boşaltma referans modülü

Kısaltmalar

Açıklama

MH	: Minimum hasar performans düzeyi (DLH)
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi (DLH)
DH	: İleri hasar performans düzeyi (DLH)
GH	: Göçme hasar performans düzeyi (DLH)
DGT	: Dayanıma göre tasarım (DLH)
ŞGT	: Şekil değiştirmeye göre tasarım (DLH)
KH	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
GH	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
D1	: DLH deprem seviyesi
D2	: DLH deprem seviyesi
D3	: DLH deprem seviyesi

DTS	: Deprem tasarım sınıfları
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
DD-1	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki 1 no'lu deprem tehlike seviyesi
DD-2	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki 2 no'lu deprem tehlike seviyesi
DD-3	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki 3 no'lu deprem tehlike seviyesi
DD-4	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki 4 no'lu deprem tehlike seviyesi
ZA	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
ZB	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
ZC	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
ZD	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
ZE	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
ZF	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan yerel zemin sınıfı
L1	: 1.Seviye deprem hareketi (Pianc)
L2	: 2.Seviye deprem hareketi (Pianc)
HS	: Pekleşen zemin modeli
BFK	: Betonarme fore kazık
M	: Eğilme momenti
V	: Kesme kuvveti
N	: Normal kuvvet
m	: maksimum dinamik adım sayısı
n	: maksimum dinamik ara adım sayısı
δt	: deprem zaman aralıkları
DA-2	: Tasarım Yaklaşımı – 2 (Eurocode)
DA-3	: Tasarım Yaklaşımı – 3 (Eurocode)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIYI VE LİMAN YAPILARININ DEPREM KAYITLARI KULLANARAK PERFORMANSA DAYALI TASARIMI

Bora ARSLAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK

Geoteknik mühendisliğinde konvansiyonel olarak kullanılan limit denge yöntemi yerine, deprem kayıtları kullanmak suretiyle yapılan performansla göre tasarım son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Bu sayede nümerik modeli hazırlanan sistemin deformasyonları gerçeğe daha yakın oluşmakta ve daha ekonomik sonuçlar elde edilebilmektedir. Performansa göre tasarım olarak tanımlanan bu yaklaşım, tasarımı yapılan sistemde yer hareketleri neticesinde oluşabilecek deformasyonun miktarının hesabına dayanmaktadır.

Ulusal ve uluslararası sismik kodlar sistemde gerçekleşecek deformasyonu belirli değerler içerisinde sınırlamıştır. Performansa bağlı tasarımda nümerik yazılımlar ve deprem kayıtları kullanarak elde edilen deformasyonların bu sınır değerler içerisinde kalması beklenmektedir.

Bu tez kapsamında, kıyı ve liman yapılarının deprem kayıtlarının kullanılması yardımıyla tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, ulusal ve uluslararası yönetmelikler incelenmiş, deprem kayıtlarının kullanılma şekilleri ortaya konmuştur.

Doğrusal olmayan zemin davranışının hem kayıtlar açısından hem de nümerik faktörler açısından modellenmesi için gerekli koşullar hassasiyet analizleri ile tespit edilmiştir. Bu hassasiyet analizleri içerisinde geometrik faktörler, kayıt özellikleri, spektrumların özellikleri ve ters evrişim özelliği bulunmaktadır. Özellikle ters evrişim (dekonvolüsyon) konusunun nümerik modellerdeki etkisinin önemi ortaya konmuştur.

Tüm bunların neticesinde elde edilen yaklaşımlar yardımıyla iki vaka, ulusal ve uluslararası iki farklı yönetmelik kullanarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu vakalardan ilki yükleme durumunu temsil eden, kazık ve dolgudan oluşan bir rihtım yapısıdır. İkinci vaka ise yine rihtımda ancak boşaltma durumunu temsil eden kazıklı ve çok sıra ankrajlı bir kazı destek sistemidir. Bu iki vaka için ilgili şartnameler kullanılarak tasarımlar ortaya konmuştur.

Haziran 2019, 138 sayfa.

Anahtar kelimeler: kıyı ve liman yapıları, doğrusal olmayan zemin davranışı, dekonvolüsyon, performansa bağlı tasarım, deprem kayıtları, nümerik analiz



SUMMARY

M.Sc. THESIS

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF COASTAL AND PORT STRUCTURES THROUGH EARTHQUAKE RECORDS

Bora ARSLAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sadık ÖZTOPRAK

In geotechnical engineering, the performance-based design by using earthquake records has gained importance in recent years instead of the conventionally used limit equilibrium method. In this way, the deformations of the system prepared in numerical model are closer to reality and more economic results can be obtained. This approach, which is defined as performance-based design, is based on the calculation of the amount of deformation that may occur as a result of ground motions in the designed system.

National and international seismic codes, limit the deformation in the system to a certain value. It is expected that the deformations obtained using numerical software and earthquake records will remain within these limit values.

Within the scope of this thesis, it is aimed to design the shore and port structures by using earthquake records. In this respect, national and international regulations are examined and the use of earthquake records are presented.

The requirements for nonlinear soil behaviour to be modelled in terms of both records and numerical factors were determined by sensitivity analysis. In these sensitivity analyses, there are geometric factors, ground motion properties, properties of spectrum and deconvolution. In

particular, the importance of the effect of deconvolution on numerical models has been demonstrated.

With the help of the approaches obtained as a result of all these subjects, two case study were performed and designed by using two different national and international regulations. The first of these cases is a quay structure consisting of piles and filling material representing the loading situation. The second case is a piled and multi-anchored excavation support system representing the unloading condition at the shore. Designs have been carried out for these two cases using relevant specifications.

June 2019, 138. pages.

Keywords: coastal and port structures, nonlinear soil behaviour, deconvolution, performance-based design, earthquake records, numerical analysis



1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliği tasarımlarında gelenekselleşmiş olarak kullanılan limit denge yaklaşımı ekonomik olmayan sonuçlar doğurmaktadır. Bu yaklaşım yerine doğrusal olmayan (non-linear) analizler yardımıyla tasarımların yapılması gerçeğe yakın deplasmanların elde edilmesine ve daha ekonomik çözümlerin oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kıyı ve liman yapılarının deprem kayıtları kullanılarak performansa bağlı tasarımı irdelenecektir. Bu kapsamda yükleme ve boşaltma koşullarını içeren iki vaka irdelenecektir. İlk olarak kazıklı bir kıyı yapısı Plaxis 2D yazılımı kullanılarak modellenecek ve deprem kayıtları kullanılmak üzere tasarımı ortaya konacaktır. Daha sonra da kazıklı ve ankrajlı bir kazı destek sistemi modellenecek ve dinamik tasarımı yapılacaktır.

Kıyı yapısının deprem kayıtları ile nümerik olarak modellenmesi sırasında analiz sonuçlarına etkisi olan çeşitli faktörler (nümerik model geometrisi, kayıtların seçimi, ters evrişim etkisi (dekonvolüsyon), spektrum dağılımı vb.) ortaya konacak ve geoteknik tasarıma olan etkileri tespit edilecektir.

Kıyı ve liman yapılarının tasarımında deprem kayıtları kullanılması özelliklerde son yıllarda yaygınlaşan bir hal almıştır. Nümerik yazılımlar ile çözülebilen bu analizlerde modellenen sistemin deplasmanları ve sistemde oluşan kesit tesirleri birçok etkene bağlıdır. Bu etkilerin bazıları; nümerik model geometrisi, oluşturulan nümerik modelin ağ boyutu, kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri, ters evrişim (dekonvolüsyon) etkisi gibi etkilerdir. Bu tez kapsamında kazıklı bir liman yapısı, Plaxis yazılımı ile modellenecek ve deprem kayıtları kullanılmak suretiyle sonuçları bu değişkenlere bağlı olarak irdelenecektir. Bu sayede tasarımın optimizasyonu ve genellikle yüksek maliyetli yapılar olan kıyı ve liman yapıları için daha ekonomik geoteknik çözümler üretilmesi sağlanacaktır.

Çalışma kapsamında ilk olarak performansa dayalı tasarımın temelini oluşturan sismik kodlar ve tasarım ivme spektrumları incelenmiştir. Bölüm 2.1'de NEHRP (2003), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018), Kıyı ve liman yapıları, demiryolları, hava meydanları inşaatlarına ilişkin deprem teknik yönetmeliği (2008), Eurocode 8 (1998) ve PIANC (2001) anlatılmıştır.

Bu teknik yönetmelik ve standartlarda belirtilen deformasyona bağılı tasarım kriterleri ve ivme-zaman kayıt seçimi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2.2’de deprem kayıtlarının kullanılmasına yönelik, ivme zaman ortamında kayıt seçimi incelenmiştir. Seçilen bu kayıtların analizlerde kullanılmak üzere ölçeklenmesi işlemi anlatılmıştır. Ayrıca şartnamelere uygun olarak ölçeklendirilmiş kayıtların ters evrişim etkisi altında nümerik analizlerde kullanım şekilleri irdelenmiştir.

Bölüm 3’de Malzeme ve Yöntem’e ilişkin olarak, nümerik analizlerde kullanılacak ve tasarımı yapılacak rıhtım yapısının geometrisi, zemin ve malzeme özellikleri açıklanmıştır. Doğrusal olmayan zemin davranışının nümerik olarak nasıl modelleneceği, bu modelleme sırasında dikkat edilmesi gereken faktörlere yer verilmiştir. Buna ilave olarak nümerik analizlerin yapılacağı Plaxis 2D yazılımı irdelenmiş, ayrıca Bölüm 2.2’de yer alan esaslara göre seçilen deprem kayıtları ve bunların kullanımı gösterilmiştir.

Bölüm 4 Bulgular bölümünde, ilk olarak analizlerde kullanılacak deprem kayıtları şartnamelere uygun olarak türetilmiştir. Türetilen bu kayıtlar, nümerik model yardımı ile dinamik analizlere etki eden faktörler (geometrik faktörler, kayıt özellikleri, ters evrişim etkisi ve spektrumlar vb.) açısından irdelenmiştir. Bu faktörler altında hassasiyet analizler yapılmış, elde edilen bulgular ışığında Vaka-1 ve Vaka-2 olarak tanımlanan iki farklı vaka üzerinden hem şartnamelere uygunluk açısından hem de ekonomik olması açısından tasarımlar yapılmıştır. Ayrıca Vaka-1 incelenirken sıvılaşma problemi ortaya konmuş ve doğrusal olmayan yaklaşım ile yapılan analizler neticesinde sıvılaşmaya yönelik tasarım gerçekleştirilmiştir.

Son bölüm olan Tartışma ve Sonuç’ta, kıyı ve liman yapılarının performans dayalı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken faktörlere dair sonuçlar yorumlanmış ve ele alınan vakalar ile ilgili sonuçlar tartışılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE SİSMİK KODLAR

Depremler her ne kadar sık karşılaşılan doğa olayları olmasa da gerçekleştiğinde insan yaşantısında sosyal ve ekonomik açıdan oldukça olumsuz etkiler yaratmaktadır. Depremsellik açısından sadece kritik bölgelerde değil düşük risk barındıran bölgelerde dahi oldukça önemli sonuçları olduğu bilinmektedir. Depremlerde oluşan olumsuz etkilerin azaltılması ve karşılaşılan zararların ortadan kaldırılması amacıyla sismik tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler ülkelerin bölgesel koşullarına uygun olarak hazırlanmış ve sismik kodlar olarak tasarım esasları haline gelmiştir.

Bu tasarım yöntemlerinin temelinde performansa bağlı tasarım yer almaktadır. Performansa göre tasarımda, tasarımı yapılan sistemde yer hareketleri neticesinde oluşan oluşabilecek deformasyonun miktarının hesabına dayanmaktadır. Sismik kodlar sistemde gerçekleşecek deformasyonu belirli değerler içerisinde sınırlamıştır.

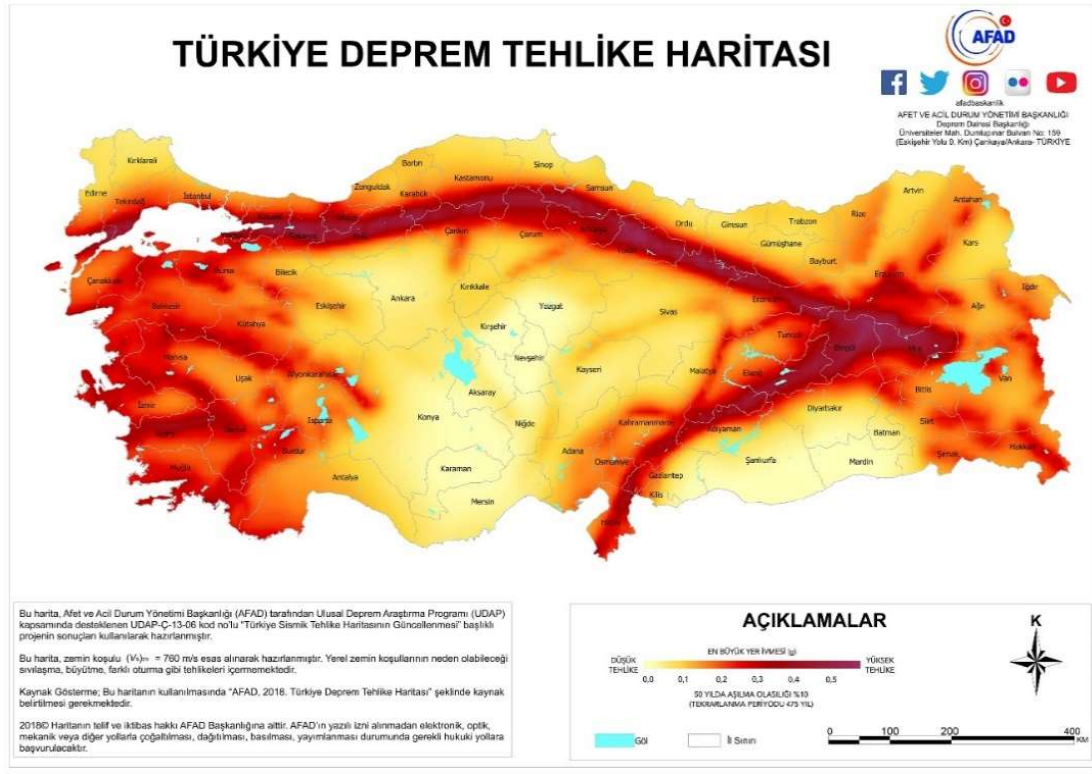
Kıyı ve liman yapıları tasarımlarında doğrusal olmayan analizler yardımıyla tasarımların yapılmasına yönelik olarak geliştirilmiş ve genel kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan sismik kodlar bu bölümde incelenecektir. Buna göre incelenecek olan kodlar aşağıda listelenmiştir.

- (1) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
- (2) Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008)
- (3) NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)-FEMA 1050 (2015)
- (4) Eurocode 8 (1998)
- (5) PIANC (2001)

2.1.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TDBY (2018)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 yılında yayınlanmış güncel bir yönetmektir. Bu yönetmelik, deprem yer hareket düzeylerini tanımlamak suretiyle yeni yapılacak binaların ve mevcut binaların deprem sırasındaki davranışının modellenmesi konusunda teknik kural ve koşulları ortaya koymaktadır. Bu kapsamda yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile yer hareketi düzeyleri ülke genelinde sınıflandırılmıştır.

TDBY'ye göre deprem etkisi altında yeni binaların tasarımında ve mevcut binaların değerlendirilmesinde esas alınacak Bina Performans Hedefleri ile Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) yönetmelik içerisinde tanımlanmıştır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).



Şekil 2.1: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018).

Şekil 2.1'de verilen Türkiye Deprem Tehlike Haritası yönetmelik tarafından dikkate alınan esaslardan biridir. Bu yönetmelik kapsamında aşağıda belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

Tablo 2.1: Deprem düzeyleri ve kabuller (TDBY, 2018).

Deprem Düzeyi	Kabuller
DD-1	DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen tekrarlanma periyodu ise 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.
DD-2	DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen tekrarlanma periyodu ise 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
DD-3	DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen tekrarlanma periyodu ise 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.
DD-4	DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu ise 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Yukarıda gösterilmiş olan dört adet deprem düzeyine ait spektral ivme katsayıları %5 sönüm oranı, yerel zemin etki katsayıları da dikkate alınarak ilgili sahaya özel yönetmelik tarafından tanımlanmaktadır.

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 sırası ile, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilmiştir. Tablolarda harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

$$S_{DS} = F_s \cdot S_s \quad (2.1)$$

$$S_{D1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

Tablo 2.2: Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları F_s (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g) ^a					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$	$S_s \geq 1.50$
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					

Tablo 2.3: 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları F_1 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Zemin Sınıfı	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g) ^a					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_s \geq 0.60$
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					

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) (Şekil 2.2):

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6T/T_A) \cdot S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.3)$$

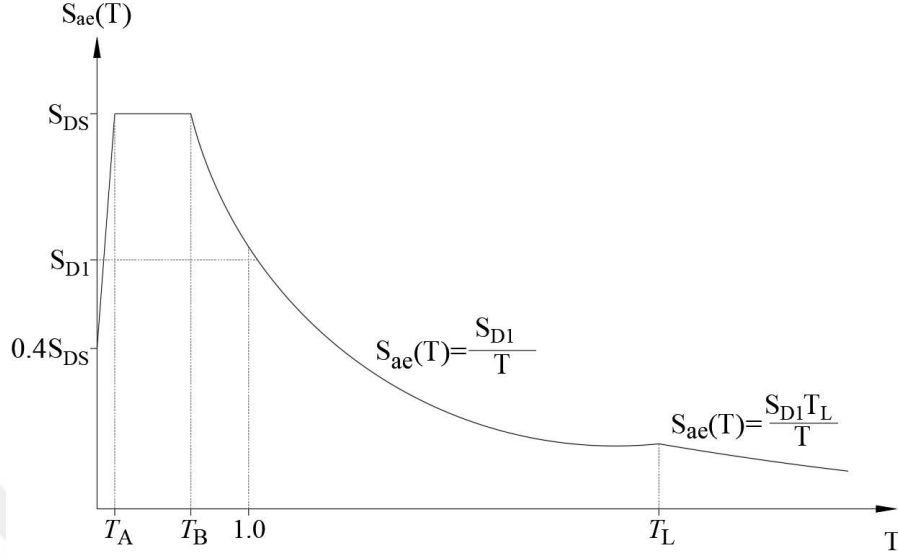
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.4)$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1}/T \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.5)$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1} \cdot T_L/T_2 \quad (T_L \leq T_B) \quad (2.6)$$

Burada, S_{DS} ve S_{D1} , tasarım spektral ivme katsayılarını; T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B aşağıdaki denklem ile S_{DS} S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

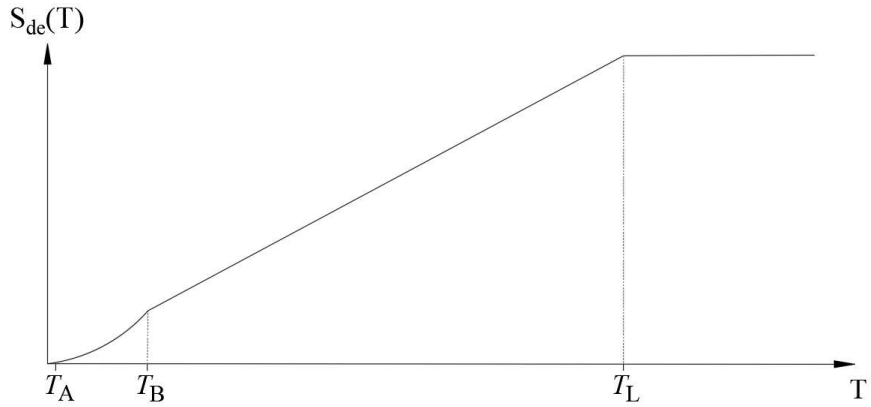
$$T_A = 0.2(S_{D1}/S_{DS}) \quad ; \quad T_B = (S_{D1}/S_{DS}) \quad (2.7)$$



Şekil 2.2: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre (m) cinsinden aşağıdaki denklem ile tanımlanır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

$$S_{de}(T) = (T^2/4\pi^2).g.S_{ae}(T) \quad (2.8)$$



Şekil 2.3: Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu. (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Bina önem katsayısı, I, Tablo 2.4'da gösterildiği gibidir.

Tablo 2.4: Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı (I), (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı
BKS=1	<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>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)</p> <p>b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>c) Müzeler</p> <p>d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
BKS=2	<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p>	1.2
BKS=3	<p>Diğer binalar</p> <p>BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p>	1.0

Yönetmeliğe göre nümerik analizlere esas oluşturacak deprem kayıtları seçilirken birtakım hususlara dikkat edilmelidir. Bunlar, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmalar, tasarım yapılacak bölgeye ait yer hareket düzeyi ile uyumluluğu, yerel zemin koşulları gibi konulardır.

Yönetmelik bu kriterlerin örtüştüğü en az on bir adet deprem kayıtlarının seçilmesi konusunu zorunlu kılmıştır. Aynı depremden seçilecek kayıtların sayısı da en fazla üç olabilir. Bu kayıtlar ilk olarak ölçeklendirilecek ve spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülecektir.

Dönüştürülen on bir kayıtın spektrumlarının ortalaması, tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır. Tablo 2.5'te yönetmelikteki bina performans düzeylerine yer verilmiştir.

Tablo 2.5: Bina Performans Düzeyleri, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Performans	
Düze yi	Tanı mı
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi , bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi , bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi , bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.
GÖ	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi , bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

Aşağıda yer alan tablolarda deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için çeşitli koşullara göre performans hedefleri yer almaktadır.

Tablo 2.6: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (a) Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1,1 a ⁽¹⁾ , 2,2 a ⁽¹⁾ , 3,3a, 4,4a		DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

⁽¹⁾ $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

⁽²⁾ $BYS=2,3$ olan binalarda uygulanacaktır.

Tablo 2.7: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (b) Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1), (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

⁽³⁾ Ön tasarım olarak yapılacaktır.

⁽⁴⁾ I = 1,5 alınarak uygulanacaktır.

Tablo 2.8: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları- (c) Mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek Binalar Dışında – BYS \geq 2, (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	GÖ	-	KH	ŞGDT

2.1.2 Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008)

DLH Yönetmeliği, deprem hareketleri altında performansa dayalı bir tasarım ortaya koymaktadır. Buna göre, her deprem seviyesi için yapı üzerinde oluşabilecek hasar sayısal olarak belirli sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Şartnamede çeşitli deprem seviyeleri için yapıda meydana gelebilecek kabul edilebilir hasarlar tespit edilmiştir. Tasarımcı bu sınır koşullarını aşmamak kaydıyla sayısal olarak ortaya koyacağı analiz sonuçları ile tasarımını gerçekleştirebilir.

Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde doğrusal olmayan deformasyonlara karşı geldiğinden

performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (non-linear) analiz yöntemleri ve şekil değiştirmeye (deformasyona) göre tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Esaslarda, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, geleneksel dayanıma göre tasarım ilkesi çerçevesinde doğrusal (linear) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir (DLH, 2008). Yapıların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri Tablo 2.9’da tanımlanmıştır.

Tablo 2.9: Deprem düzeyleri ve kabuller (DLH, 2008).

Deprem Düzeyi	Kabuller
D1	Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.
D2	Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.
D3	Yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

DLH Şartnamesinde, yukarıdaki tabloda verilen her üç deprem seviyesi için de kısa (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerleri (S_s ve S_1) referans alınan B Zemin sınıfı için tablo halinde verilmiştir. A, C, D, E ve F zemin sınıfları için ise aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanacaktır. Burada kısa periyod için F_a , 1 saniyelik periyod için ise F_v zemin katsayıları Tablo 2.10 ve Tablo 2.11’deki gibi kullanılacaktır.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.9)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.10)$$

Tablo 2.10: Kısa periyod zemin katsayısı F_a (DLH, 2008).

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g) ^a				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	_b	_b	_b	_b	_b

Tablo 2.11: 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v (DLH, 2008).

Zemin Sınıfı	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g) ^a				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	_b	_b	_b	_b	_b

Deprem tasarım spektrumları, aşağıdaki şekil (Şekil 2.4) ve denklemlerde tanımlanmıştır.

$$S_{ac}(T) = 0.4S_{MS} + 0.6(S_{MS}/T_0 \times T) \quad (T_0 \leq T_A) \quad (2.11)$$

$$S_{ac}(T) = S_{MS} \quad (T_0 < T \leq T_S) \quad (2.12)$$

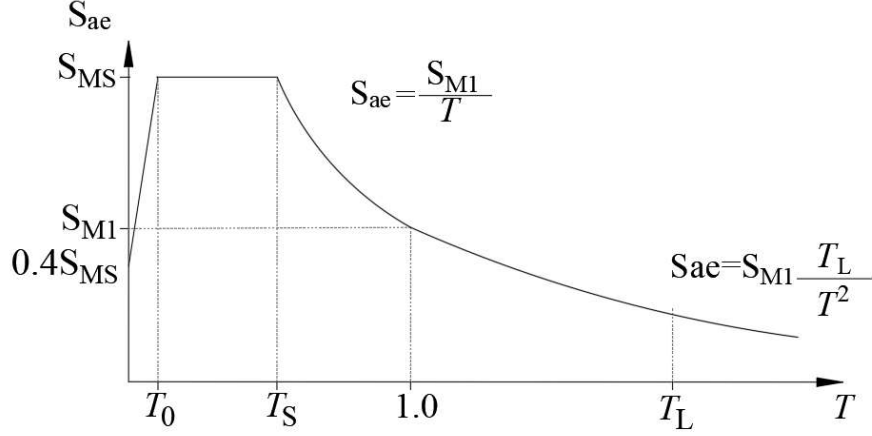
$$S_{ac}(T) = S_{M1}/T \quad (T_S < T \leq T_L) \quad (2.13)$$

$$S_{ac}(T) = (S_{M1} \times T_L)/T^2 \quad (T_S < T \leq T_L) \quad (2.14)$$

Zaman tanım alanında yapılacak analizlerde deprem kayıtları seçilirken DLH'a göre aşağıdaki kriterlere uygun şekilde deprem kayıtları seçilmeli ve analizler yapılmalıdır. Buna göre,

- Zaman tanım alanında yapılacak analizlerde, aşağıda verilen özelliklere sahip üç adet ivme kaydı seçilerek, bunlarla yapılacak analizlerden elde edilen en elverişsiz büyüklükler (iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme) veya yedi adet ivme kaydı seçilerek, bunlarla yapılacak analizlerden elde edilen ortalama büyüklükler tasarıma esas büyüklükler olarak alınır.

- b. Kullanılacak ivme kayıtları deprem büyüklüğü (manyitüd), fay mesafesi ve kaynak mekanizması bakımından göz önüne alınan en büyük depremi kontrol eden parametrelerle uyum içinde olmalıdır. Elastik davranış spektrumu ile uyumlu yapay ivme kayıtları üretilebilir.
- c. Yer hareketleri dizisi, %5 sönümlü davranış spektrumlarının 0.2T ile 1.5T arasındaki değerlerinin ortalaması yapının bulunduğu lokasyona ait tasarım spektrumundan daha düşük olmayacak şekilde ölçeklendirilecektir. Burada T yapının incelenen doğrultudaki birinci doğal periyodudur.
- d. Yapay olarak üretilmeleri halinde, ivme kayıtlarının stasyonier kısmının süresi en az 10 sn. olmalıdır.
- e. Yeterli sayıda uygun yer hareketi kaydının bulunamaması halinde gerekli sayıya ulaşmak amacıyla uygun bir şekilde simule edilmiş yer hareketleri kullanılmalıdır. Yapay (simule edilmiş) ivme kaydı dizisi aşağıdaki kurallara uygun olmalıdır:
- Her bir ivme kaydından hesaplanan 0 saniye periyodundaki spektral tepkilerin ortalaması referans ivmeden düşük olmamalıdır.
 - Tüm ivme kayıtları kullanılarak hesaplanan %5 sönümlü elastik davranış spektrumlarının her bir periyottaki ortalama değeri, hedeflenen %5 sönümlü elastik davranış spektrumunun o periyottaki değerinin %90'ından düşük olmamalıdır.
 - Bir deprem kaydının genliğinin $\pm 0.05g$ 'yi ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.



Şekil 2.4: Tasarım ivme spektrumu (DLH, 2008).

Deprem kayıtları seçimi yukarıda belirtilen kriterlere göre yapıldıktan sonra, kıyı ve liman yapısı tasarımı sayısal olarak gerçekleştirilebilir. Bu analizler neticesinde ise her deprem seviyesi için farklı hasar seviyeleri beklenmektedir. Yapıların bu performans düzeyleri Tablo 2.12’de listelendiği gibidir.

Tablo 2.12: Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri.

Yapının Sınıfı	D1	D2	D3
Özel	-	MH	KH
Normal	MH	KH	(İH)
Basit	KH	(İH)	-
Önemsiz	(İH)	(GH)	-

Kullanım amacı, türü ve önemine göre performans sınıfları tanımlanan kıyı ve liman yapıları için hedeflenen performans düzeyleri, yukarıda tanımlanmış bulunan deprem düzeylerine bağlı olarak Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13: Performans düzeyleri.

Performans Düzeyi	Tanımı
MH	Minimum Hasar Performans Düzeyi , kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile hiç hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek yapısal hasarın çok sınırlı olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda liman operasyonu kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi , kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonunda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.
İH	İleri Hasar Performans Düzeyi , kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta ilgili liman servisinin tamamen iptal edilmesi mümkündür.
GH	Göçme Hasar Performans Düzeyi , Bu durumda, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonuna devam edilemez.

Kıyı ve liman yapılarının depreme karşı tasarımında kullanılacak yöntemler iki temel gruba ayrılmıştır.

1. Dayanım Göre Tasarım (DGT): elastik deprem kuvvetleri veya elastik ötesi sünek davranış dikkate alınarak azaltılan eşdeğer kuvvetler altında yapılan doğrusal elastik analize göre, sistemlerin stabilitesinin ve yapısal elemanların dayanımlarının yeterliliklerinin sağlanması esasına dayanır (DLH, 2008)
2. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak

belirlenir ve bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen hedef performans düzeyleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelere veya bunlarla uyumlu yer değiştirmelere karşı geldiğinden bu yaklaşım, “Şekil değiştirmeye (Yerdeğiştirmeye) Göre Tasarım” yaklaşımı olarak adlandırılır. ŞGT Yöntemleri, modern tasarım yaklaşımı “Performansa Göre Tasarım”ın temel yöntemleridir (DLH, 2008).

DLH Şartnamesinde ağırlık tipi ve palplanşlı rıhtım duvarlarının deprem etkisi altında tasarımı incelendiğinde, DGT ve ŞGT yaklaşımları dikkate alınarak tasarımların yapılabileceği görülmektedir. Bu bölümde şartnamenin Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ile ilgili kriterleri aşağıda gösterilmiştir. ŞGT (Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım): Palplanşlı rıhtım duvarlarının deprem etkisi altında yaptığı yer değiştirme ve şekil değiştirmelerin hesabı için literatürde mevcut yaklaşık yöntemlerden yararlanılabilir. (MH) ve (KH) performans düzeyleri için izin verilen yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları Tablo 2.14, Tablo 2.15 ve Tablo 2.16’da verilmiştir (DLH, 2008).

Tablo 2.14: Ağırlık tipi rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).

Yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Kalıcı yatay yer değiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	<1.5	1.5-5
Duvarın denize doğru kalıcı eğiklik (derece)	<3	3-5
Duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma (cm)	30-70	-
Duvar arkasındaki farklı oturma (cm)	3-10	-

Tablo 2.15: Palplanşlı rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).

Yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Kalıcı yatay yer değiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	<1.5	1.5-5
Duvarın denize doğru kalıcı eğiklik (derece)	<3	3-5
Duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma (cm)	30-70	-
Duvar arkasındaki farklı oturma (cm)	3-10	-
Palplanş deformasyonu (tarama kotu üstünde)	Elastik	Plastik ⁽¹⁾
Palplanş deformasyonu (tarama kotu altında)	Elastik	Elastik
Gergi çubuğu deformasyonu	Elastik	Elastik
Ankraj Deformasyonu	Elastik	Elastik

⁽¹⁾ Akma birim deformasyonun en fazla 2 katı

Tablo 2.16: Palplanş veya çelik levhalar ile yapılan hücre tipi rıhtım duvarları için hasar limitleri (DLH, 2008).

Yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Kalıcı yatay yer değiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	<1.5	1.5-5
Duvarın denize doğru kalıcı eğiklik (derece)	<3	3-5
Duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma (cm)	30-70	-
Duvar arkasındaki farklı oturma (cm)	3-10	-
Palplanş deformasyonu (tarama kotu üstünde)	Elastik	Plastik ⁽¹⁾
Palplanş deformasyonu (tarama kotu altında)	Elastik	Elastik

⁽¹⁾ Akma birim deformasyonun en fazla 1.5 katı

2.1.3. NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)-FEMA 1050 (2015)

FEMA (Federal Emergency Management Agency), National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP) kapsamında sismik tasarımın geliştirilmesini ve yeni metodolojilerin ortaya konmasını sağlamak amacıyla bu şartnameyi geliştirmiştir. Bu şartname 1985'ten bu yana 8 kez revize edilmiş ve en son halini almıştır.

NEHRP (2015) şartnamesi yapıların deprem hareketleri altında tasarım ve inşaatlarının sağlanabilmesi için gerekli kriterleri ortaya koymaktadır. Bu kriterlerin amacı iki temel başlık altında toplanmaktadır:

Yukarıda verilen denklemlerde S_s ve S_1 değerlerinin depremin gerçekleştiği zemine göre düzeltilmesi yapılması gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 2.18 ve Tablo 2.19'de yer alan değerler kullanılmaktadır. Tablo 2.17'deki ortalama kayma dalgası hızı zemin profilinin en üst 30m'lik bölümü için hesaplanmaktadır.

Tablo 2.17: Hızlara göre zemin sınıfı tanımlaması (NEHRP, 2015).

Zemin Sınıfı	Tanım	Hız (m/sn)
A	Sert Kaya	$\bar{v}_s > 1500$
B	Kaya	$760 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 1500$
C	Çok sıkı zeminler ve yumuşak kaya	$360 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 760$
D	Katı zeminler	$180 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 360$
E	Zemin profilinde 3 metreden kalın yumuşak kil bulunan zeminler	$\bar{v}_s \leq 180$
F	Sahaya özel değerlendirme gerektiren zeminler	

Tablo 2.18: Kısa periyod için zemin katsayısı F_a (NEHRP, 2015).

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g) ^a					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	2.4	1.7	1.3	_b	_b	_b
F	_b	_b	_b	_b	_b	_b

^a Ara S_s değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir

^b Sahaya özel geoteknik zemin araştırması ve dinamik saha tepki analizleri yapılmalıdır

Tablo 2.19: 1.0 s periyodu için zemin katsayısı F_v (NEHRP, 2015).

Zemin Sınıfı	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g) ^a					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
E	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
F	_b	_b	_b	_b	_b	_b

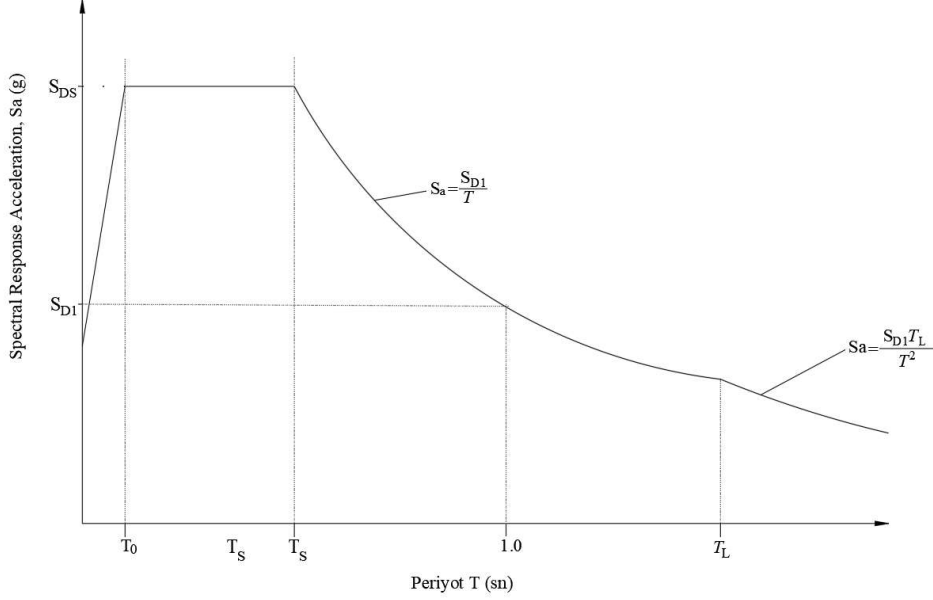
^a Ara S_s değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir

^b Sahaya özel geoteknik zemin araştırması ve dinamik saha tepki analizleri yapılmalıdır

Dizayn ivme parametreleri S_{DS} ve S_{D1} ise aşağıdaki eşitlikler ile belirlenmektedir.

$$S_{DS} = \frac{2}{3}S_{MS} \quad (2.17)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}S_{M1} \quad (2.18)$$



Şekil 2.6: Dizayn spektral tepki ivmesi spektrumu (NEHRP, 2015).

Dizayn tepki spektrumu eğrisi (Şekil 2.6) belirlenirken aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır. İvme spektrumunda esas alınan tasarım katsayıları Tablo 2.20'deki gibi tanımlanmaktadır.

Tablo 2.20: Dizayn Spektrum Katsayıları (NEHRP, 2015).

#	Koşul	Dizayn Spektral Tepki İvmesi, S_a
1	T_0 'dan küçük veya eşit periyodlar için	$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0})$
2	T_0 'a eşit veya büyük periyodlar için ve T_s 'den küçük veya eşit periyodlar için	$S_a(T) = S_{DS}$
3	T_s 'den büyük periyodlar için, ve T_L 'ye eşit veya küçük periyodlar için	$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$
4	T_L 'den büyük periyodlar için	$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2}$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan parametrelerin tanımlamaları aşağıda olduğu gibidir.

S_{DS} : Kısa periyotlardaki dizayn spektral tepki ivmesi,

S_{D1} , 1-sn periyoddaki dizayn spectral tepki ivmesi

T , yapının baskın periyodu (sn)

$T_0 = 0.2(S_{D1}/S_{DS})$,

$T_S = S_{D1}/S_{DS}$ ve T_L ise uzun-periyod geçiş periyodudur.

2.1.4. Eurocode 8 (1998)

Eurocode 8 (EN 1998) sismik bölgelerde yer alacak yapıların tasarım metodlarını ortaya koyan bir şartnamedir. Bu şartname hazırlanırken, insan yaşamını korumak, yapılarda sınırlı hasar elde etmek, yıkım olmaksızın yapıların ayakta kalması gibi temel konular amaçlanmıştır. Nükleer enerji santralleri, deniz yapıları ve büyük barajlar gibi özel yapılar bu şartnamenin kapsamına girmemektedir. Eurocode 8 (EN 1998) iki temel sismik dizayn yaklaşımı içermektedir. Bunlar,

- Yıkım olmayan durum gereksinimleri: 475 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen 50 yılda 10% aşma olasılıklı dizayn sismik hareketi.
- Sınırlı hasar gereksinimleri: 95 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen 10 yılda 10% aşma olasılıklı sınırlı hasar veren sismik hareket seviyesidir.

Eurocode 8 kapsamında zemin tipleri Tablo 2.21’de gösterildiği A, B, C, D ve E sınıfları olarak tanımlanmaktadır. Bu zemin tipleri tanımlamaları ile sismik hareketin etkileri hesaba katılabilmektedir.

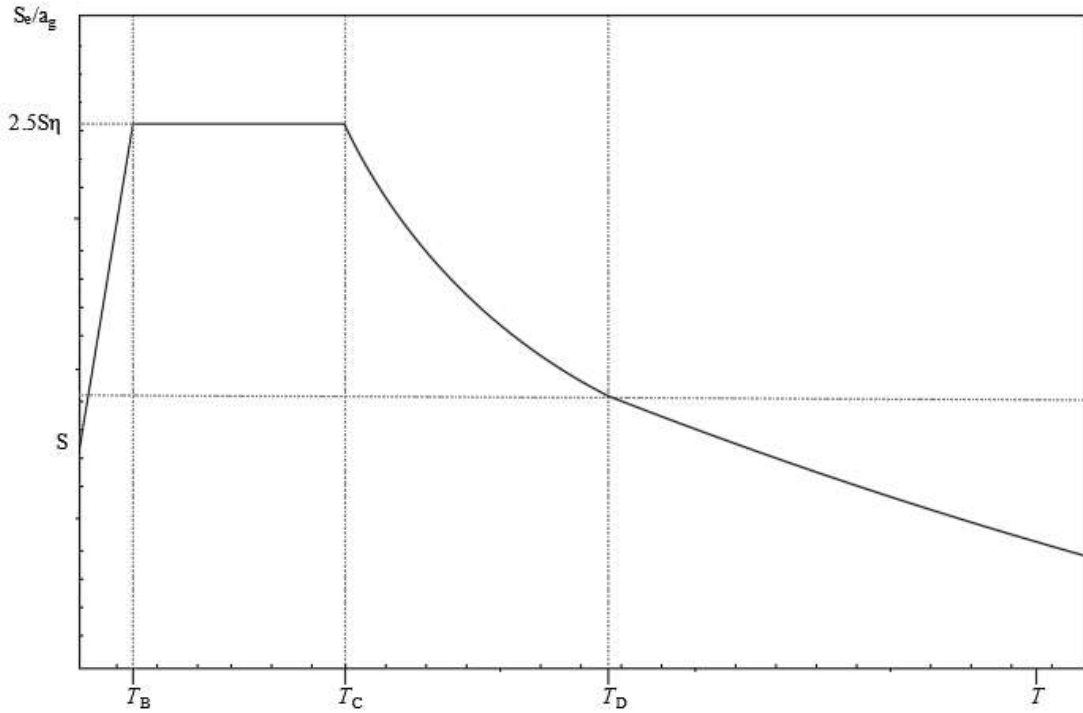
Elastik tepki spektrumu Şekil 2.6’deki gibi Eurocode 8’de tarif edilmiştir. Buna göre elastik yer ivmesi tepki spektrumu, S_e , a_g ile normalize edilmiştir. Basit spektral şekil dört bölüme ayrılmıştır. Bunlar,

- çok düşük periyot bölümü (pik yer ivmesinden sabit ivme bölümüne kadar),
- sabit ivme,
- sabit hız,
- sabit deplasman,

Bu bölümler T_B , T_C ve T_D olarak tanımlanmış noktalarda ifade edilmiştir.

Tablo 2.21: Zemin tipleri (Eurocode 8).

Zemin Tipi	Stratigrafik profil	Parametreler		
		$V_{s,30}$ (m/sn)	N_{SPT} (vuruş/30cm)	c_u (kPa)
A	Kaya	> 800	-	-
B	Çok sıkı kum, çakıl veya sert kili en az birkaç 10 metre kalınlıkta	360-800	>50	>250
C	Sıkı veya orta-sıkı kum, çakıl veya sert kil	180-360	15-50	70-250
D	Gevşek-orta kohezyonsuz zeminler	< 180	< 15	< 70
E	Yüzey alüvyonları	-	-	-
S ₁	Çöküntü malzemesi veya içerisinde en az 10m kalınlığında yüksek plastisiteli (PI>40)ve yüksek su içerikli yumuşak kil/silt	< 100	-	10-20
S ₂	Sıvılaşma özelliği gösteren çöküntü malzemesi (hassas killer veya A-E veya S ₁ tanımlamasına girmeyen diğer zemin tipleri)			



Şekil 2.7: Elastik tepki spektrumu EN 1998-1.

Elastik tepki spektrumundaki köşe noktaları aşağıda belirtilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot [1 + T/T_B \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1)] \quad (0 \leq T \leq T_B) \quad (2.19)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad (T_B < T \leq T_C) \quad (2.20)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 [T_C/T] \quad (T_C < T \leq T_D) \quad (2.21)$$

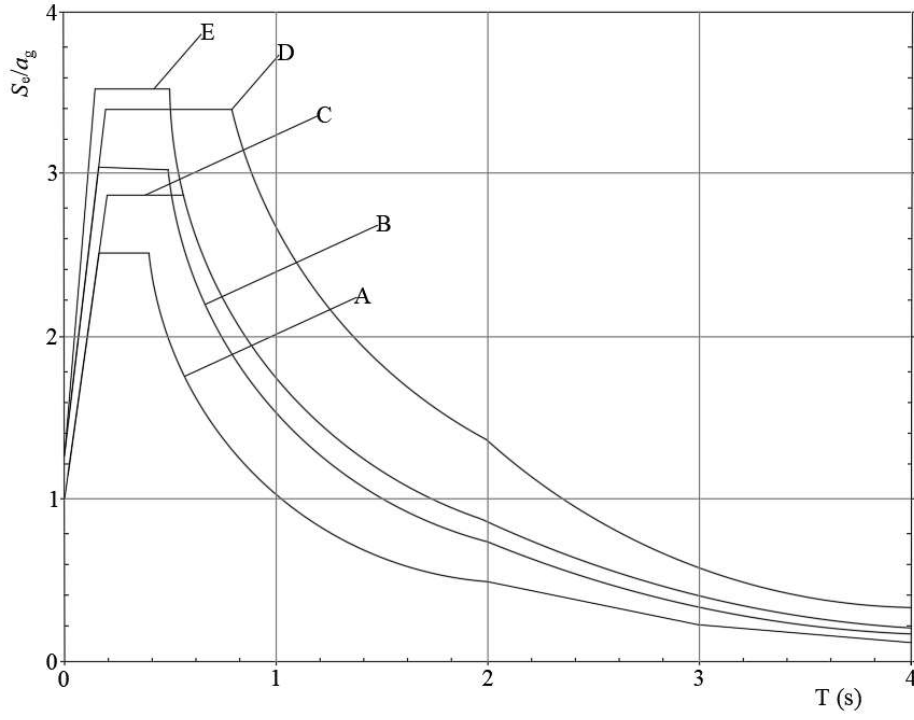
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 [T_C \cdot T_D / T^2] \quad (T_D < T \leq 4s) \quad (2.22)$$

Tablo 2.22: Tip 1 elastik tepki spektrumu parametreleri (Eurocode 8, 1998)

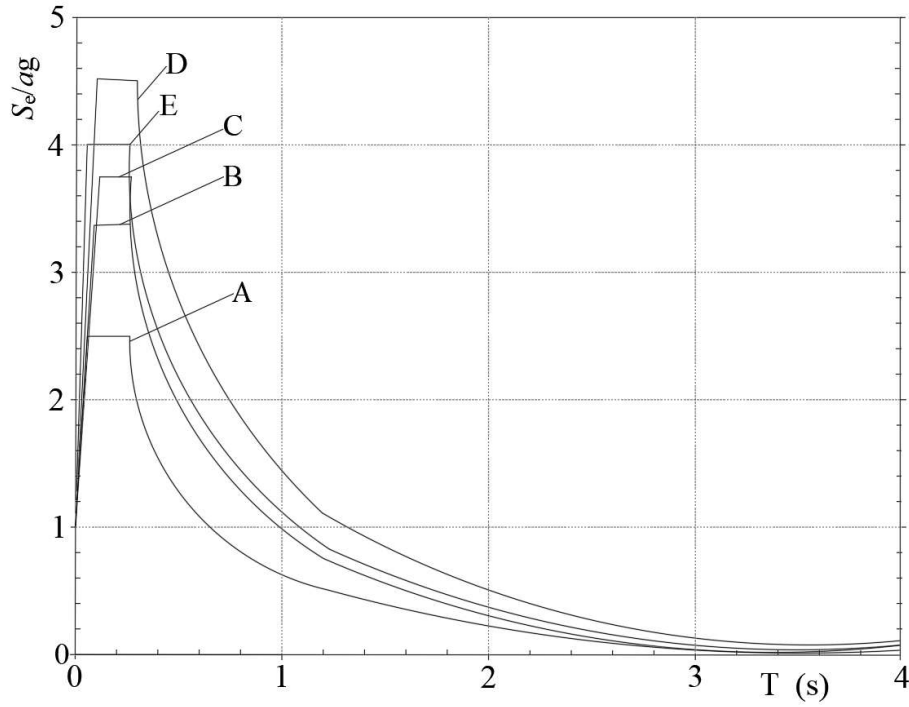
Zemin Tipi	S	T _B (s)	T _B (s)	T _D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tablo 2.23: Tip 2 elastik tepki spektrumu parametreleri (Eurocode 8, 1998).

Zemin Tipi	S	T _B (s)	T _B (s)	T _D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2



Şekil 2.8: A-E tipi zeminler için Tip 1 elastik tepki spektrumu (Eurocode 8, 1998).



Şekil 2.9: A-E tipi zeminler için Tip 2 elastik tepki spektrumu (Eurocode 8, 1998).

2.1.5. PIANC (2001)

Bu şartname, kıyı yapılarının sismik tasarımı için geleneksel tasarım metotlarından faydalanarak yeni bir tasarım yaklaşımının çerçevesini oluşturmaktadır. Bu şartname aşağıda yer alan amaçları hedeflemektedir,

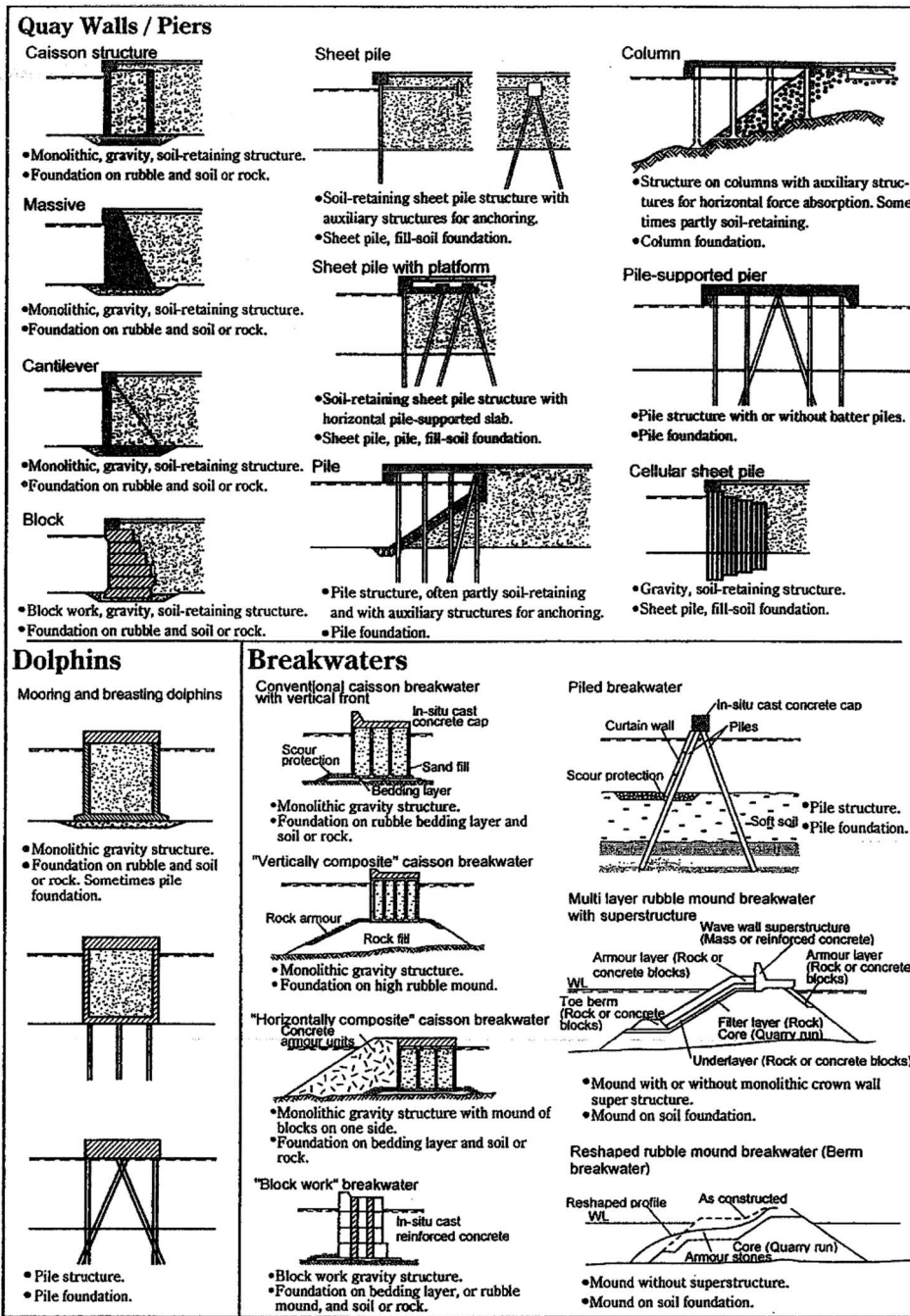
- Kıyı yapılarının, spesifik fonksiyonlarına, deprem hareketlerinin oluşma olasılıklarına bağlı olarak sınırlı hasara izin veren performansa dayalı tasarım,
- Tasarımcıya yapıların sismik performanslarını değerlendirmek için basit seviyeden ileri seviyeye kadar çeşitli analiz yöntemleri sunmak,
- Kıyı yapılarının tasarımının gerektiği, ekonomik, sosyal ve sismik aktivitelerin değişkenlik gösterdiği yerlerde genel ve asgari kullanımı sağlamak,

Kıyı yapıları, mühendislik bakış açısıyla yaklaşıldığında, kıyı yapıları zemin-yapı etkileşimi yüksek olan yapılardır. Tipik kıyı yapıları Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Sismik açıdan aktif olan bölgelerde kıyı yapılarının evrilen tasarım felsefesi göstermektedir ki,

- Zeminde ve temel altında meydana gelen deformasyonlar ve bu deformasyonların yapılardaki karşılıkları tasarım için temel parametreler haline gelmiştir,
- Geleneksel limit denge metotları bu parametreleri değerlendirmek için uygun ve yeterli değildir.
- Bazı rezidüel deformasyonlar kabul edilebilir.

PIANC şartnamesinde yer verilen performansa göre tasarım metodolojisi, yukarıda belirtilen bakış açısıyla yeni bir tasarım felsefesi ortaya koymaktadır. Performansa göre tasarım yaklaşımında, tasarım deprem hareketlerine denk gelecek uygun ve kabul edilebilir hasar seviyeleri tanımlanmalıdır. PIANC bu kapsamda tasarımda kullanılmak üzere iki seviye deprem hareketi tanımlamaktadır.

- 1.Seviye (L1) deprem hareketi: yapının ömrü boyunca oluşması muhtemel deprem hareketlerini temsi eden seviye
- 2.Seviye (L2) deprem hareketi: tipik çok güçlü yer sarsıntılarını temsil eden nadiren görülen deprem hareket seviyesi



Şekil 2.10: Tipik rıhtım yapıları (Pianc, 2001).

Tablo 2.24'da kabul edilebilir hasar seviyesi şartnameyi kullanacak kişinin spesifik ihtiyaçlarına göre tanımlanmıştır. Ayrıca bu hasar seviyelerine karşılık gelecek yapısal durum ve operasyonel durum da tanımlanmıştır.

Tablo 2.24: Performansa bağılı tasarımda kabul edilebilir hasar seviyeleri (Pianc, 2001).

Hasar Seviyesi	Yapısal Durum	Operasyonel Durum
1.Derece: Servis durumu	Çok az veya hasar yok	Servis durumunda çok az kayıp ve kayıp yok
2.Derece: Tamir edilebilir	Kontrollü hasar	Kısa dönem servis durumunda kayıp
3.Derece: Göçmeye yakın	Göçmeye yakın geniş ölçüde hasar	Uzun dönem veya tamamen servis durumu kaybı
4.Derece: Göçme durumu	Tamamen yapısal göçme durumu	Tamamen servis durumu kaybı

Tasarım deprem seviyesi ve kabul edilebilir hasar limitleri tayin edildikten sonra, yapı için gerekli performans düzeyi, Tablo 2.25’de belirtilmiş olan uygun performans seviyesi (Derece S, A, B ve C) seçilir. Performansa bağılı tasarımda yapı, bu performans seviyelerini sağlamalıdır.

Tablo 2.25: Performans dereceleri S, A, B ve C (Pianc, 2001).

Performans Düzeyi	Tasarım Depremi	
	Seviye 1 (L1)	Seviye 2 (L2)
Derece S	I.Derece : Hizmet verebilir	I.Derece : Hizmet verebilir
Derece A	I.Derece : Hizmet verebilir	II.Derece : Tamir edilebilir
Derece B	I.Derece : Hizmet verebilir	III.Derece : Göçmeye yakın
Derece C	II.Derece : Tamir edilebilir	IV.Derece : Göçme durumu

Performansa bağılı tasarımda, takip edilecek adımlar aşağıda özetlenmiştir.

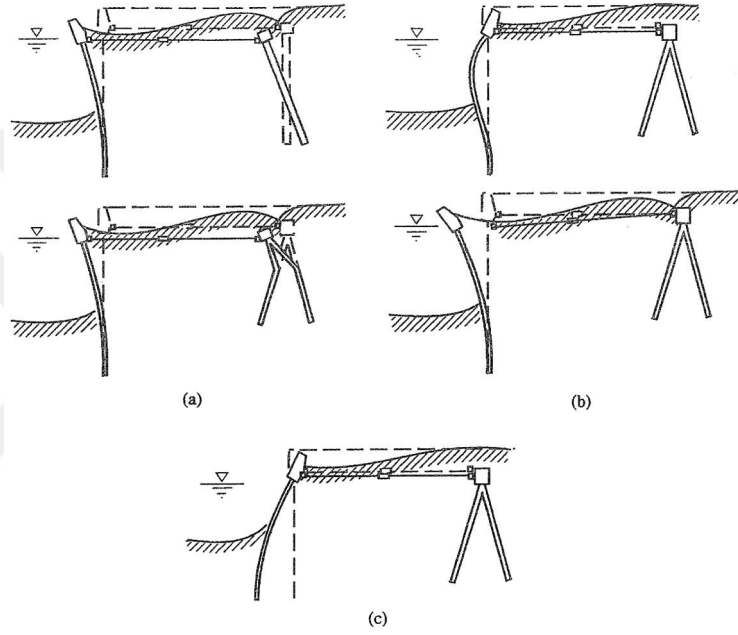
1. Performans seviyesi S, A, B veya C olarak seçilir.
2. Hasar kriteri seçilir.
3. Analizler sonucunda yapının sismik performansı değerlendirilir.

Deprem hareketlerinin seviyeleri Pianc (2001)’de aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- 1.Seviye (L1) deprem hareketi: 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 75 yıldır.

- 2.Seviye (L2) deprem hareketi: 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

Pianc'a göre palplanş tipi rıhtım yapıları, kazıklar, çelik gergi çubukları (tie-rod) ve ankrajlardan oluşmaktadır. Yapı, üst tarafta ankrajlar ile, alt tarafta ise kazıkların soketleme bölgeleri ile stabil halde tutulmaktadır. Pianc'a göre palplanş tipi yapılarda deformasyon ve yenilme durumları Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



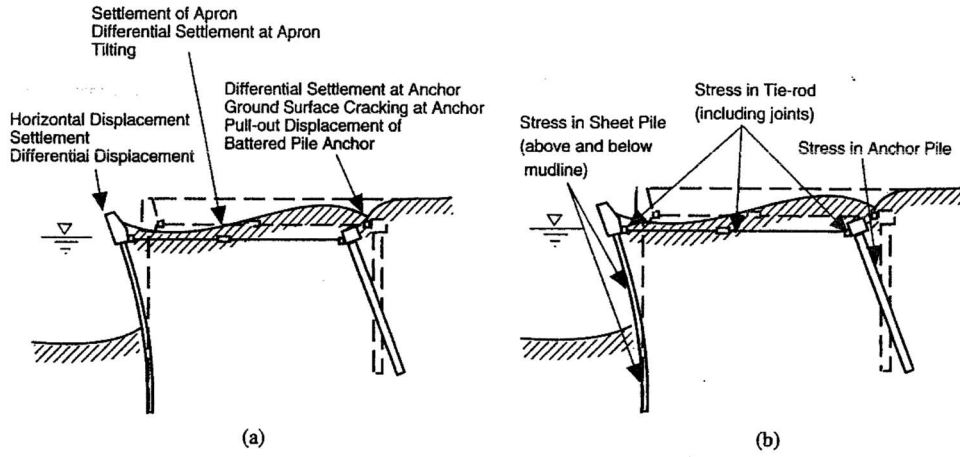
Şekil 2.11: Palplanş tipi rıhtım yapılarında deformasyon ve yenilme durumları (a. ankrajda deformasyon/yenilme koşulu, b. kazıklı duvarda/gergi çubuğunda meydana gelen yenilme, c. sokette meydana gelen yenilme).

Şekil 2.12'de palplanş tipi rıhtım duvarlarının hasar kriterlerini tanımlamak için gerekli parametreler gösterilmiştir. Buna göre,

Deplasmanlar: kazıklı duvar ve duvar arkası bölgesinde meydana gelen deplasmanlar, ankrajlarda meydana gelen farklı oturmalar, sıyrılma deplasmanları.

Gerilmeler: Palplanş tipi kazıklardaki gerilemeler (deniz tabanı altında ve üstünde), gergi çubukları, ankrajlar.

Bu bölümde anlatılan konular dikkate alındığında, palplanş tipi rıhtım yapılarına ait hasar kriteri Tablo 2.26'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.12: Hasar kriterini tanımlamak için gerekli parametreler (a. deplasmana göre, b. gerilmeye göre).

Tablo 2.26: Palplanaş tipi rıhtım duvarları için hasar limitleri (Pianc, 2001).

Hasar Seviyesi			I.Derece	II.Derece	III.Derece	IV.Derece
Rezidüel Deplasman	Palplanaş tipi duvar	Normalize edilmiş yatay deformasyon (d/H)	<1.5%	N/A	N/A	N/A
		Denize doğru rezidüel dönme	<3°	N/A	N/A	N/A
	Duvar üst bölgesi (apron)	Farklı Oturma	<0.03-0.1m	N/A	N/A	N/A
		Duvar üst bölgesi ile arka bölge arasındaki farklı oturma	<0.3-0.7m	N/A	N/A	N/A
		Denize doğru rezidüel dönme	<2-3°	N/A	N/A	N/A
Pik Tepki Gerilme/deformasyon	Palplanaş tipi duvar	Deniz tabanı üzeri bölgesi	Elastik	Plastik	Plastik	Plastik
		Deniz tabanı altı bölgesi	Elastik	Elastik	Plastik	Plastik
		Tie-rod	Elastik	Elastik	Plastik	Plastik
		Ankraj	Elastik	Elastik	Plastik	Plastik

2.2 DEPREM KAYITLARININ KULLANILMASI

Bölüm 2.1’de yer verilen sismik tasarım şartnameler incelendiğinde, spesifik bir bölgedeki sismik tehlikenin tasarım ivme spektrumu ile ortaya konduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, dinamik analizlerde bu şartnamelerde tanımlanmış hedef spektrumlarına uygun deprem kayıtlarının kullanılması beklenmektedir. Sismik tasarım şartnamelerine göre hesaplarda kullanılacak deprem kaydının aşağıdaki sıralamaya göre seçilmesi ve işlenmesi gerekmektedir;

- Uygun deprem kayıtlarının seçimi
- Deprem kayıtlarının hedef ivme spektrumuna göre ölçeklenmesi
- Deprem kayıtlarının dinamik (nümerik) analizlerde kullanılması, ters evrişim etkisi

Deprem kayıtları seçilirken dikkat edilmesi gereken özellikler; depremin büyüklüğü, faylanma tipi, süresi, en büyük yer ivmesi, proje alanının faya olan mesafesi, zemin özellikleri, depremin kayma dalgası (V_{S30}) hızı vb. olarak sıralanabilir. Bu özellikler her zaman proje alanında tespit edilen ve beklenen özelliklerle eşleşmeyebilir. Bu nedenle de seçilen deprem hareketlerinin, şartnamede belirtilen hedef spektrumuna göre ölçeklenmesi istenmektedir. Ölçekleme işlemi yapıldıktan sonra deprem kayıtları nümerik analizlerde kullanılabilir hale gelmiş olmaktadır.

Bu bölümde deprem kayıtlarının seçimi, hedef spektrumuna göre ölçeklenmesi ve analizlerde kullanılmasına yönelik koşullara yer verilmiştir.

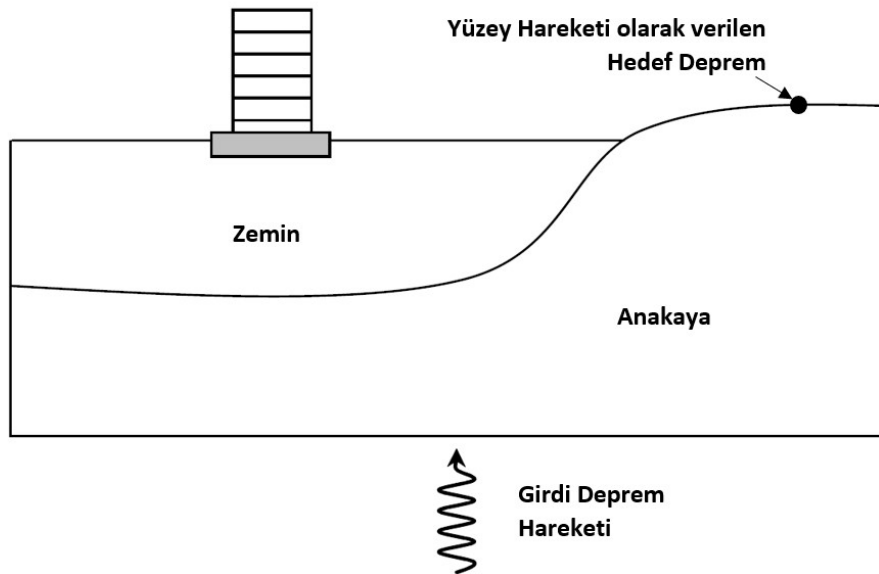
2.2.1. Ters Evrişim (Dekonvolüsyon) Etkisi

Deprem kayıtlarının nümerik analizlerde kullanılabilmesi açısından bir önemli konu da dekonvolüsyon etkisidir. Kramer’e (2003) göre, eşdeğer doğrusal yaklaşım, doğrusal analizden yararlandığından, herhangi bir noktadaki bir tepki başka herhangi bir noktadaki tepki ile ilişkilendirilebilir. Pratikte karşılaşılan bir problem, bilinen bir serbest yüzey hareketinden anakaya hareketinin hesaplanması ile ilgilidir. Dekonvolüsyon olarak bilinen bu işlemi özellikle zemin çökellerinin yüzeyinde kaydedilen gerçek yer hareketlerinin yorumlanmasında önemli bir gereçtir (Kramer, 2003).

“Doğrusal bir elastik sistemin dekonvolüsyonu teorik olarak kendine özgü sonuç sağlasa da, pratikte çoğu zaman güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Özellikle birim deformasyon uyumlu zemin

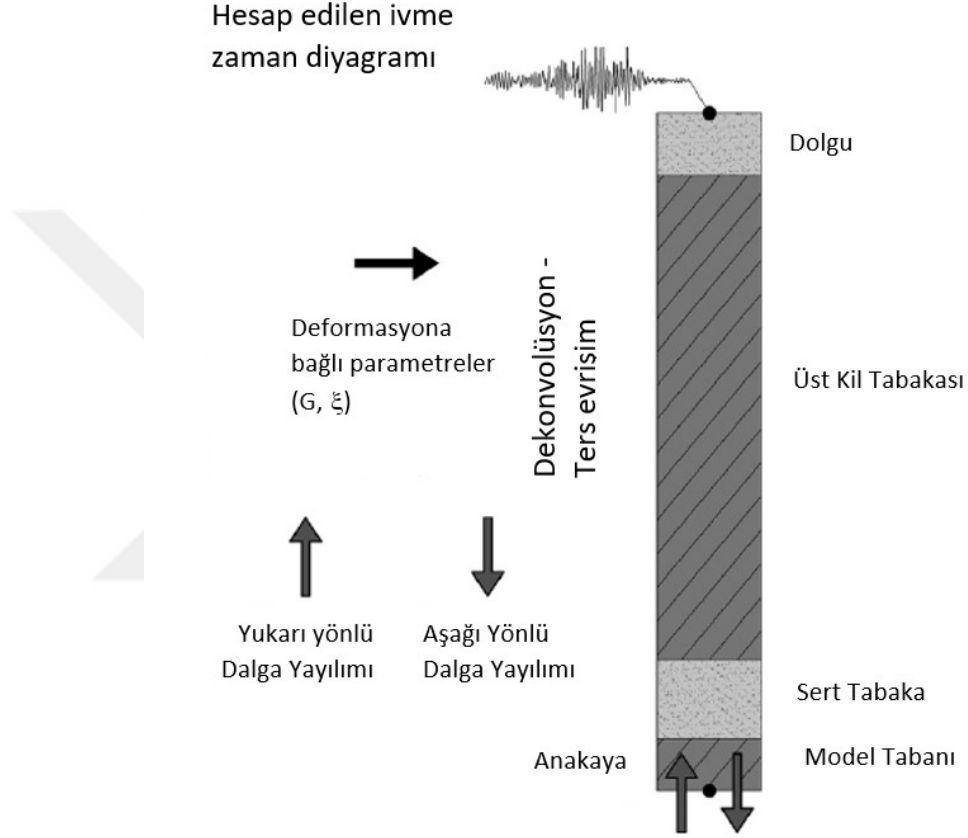
özellikleri için iterasyon gerektiğinde (Roesset, 1977) ve birim deformasyon düzeylerinin büyük olduğu durumlardaki gibi, bu güçlüklerin bir kısmı sayısal nitelikli olabilir. Diğer problemler ise, tüm hareketlerin düşey olarak yayılan kesme dalgalarından kaynaklandığı varsayımının doğruluğu ile ilgili kısıtlamalardır. Silva (1988) bir serbest yüzey hareketindeki gücün yaklaşık %75'inin (genliğin %87'sinin) 15 Hz'e kadar olan frekanslarda düşey olarak yayılan kesme dalgalarına, kalanının da saçılmış dalgalara ve yüzey dalgalarına atfedebileceği sonucuna varmıştır. Silva, ön-filtrelemeli bir serbest yüzey hareketi (derinlerdeki gerçek dışı büyük ivme gelişim eğilimini ortadan kaldırmak için 15 Hz düşük-geçiş kullanımı) ve girdi hareket genliğinin %87'sini kullanarak birim deformasyon uyumlu özellikler için iterasyon şeklinde dekonvolüsyon prosedürü önermiştir. Bu işlemde, dekonvolüsyon önce filtrelenmiş serbest yüzey hareketinin tam (%100) genlikte kullanılması gereklidir. Dekonvolüsyon işlemi büyük bir dikkatle gerçekleştirilmeli ve dekonvolüsyona tabi tutulmuş bir hareketin kabul edilebilirliği özenle değerlendirilmelidir (Kramer, 2003).

Dinamik analizlerin gerçekleştirildiği nümerik modellerde genellikle deprem kayıtları modelin tabanında var olduğu öngörülen ana kaya seviyesinden sisteme uygulanmaktadır. Buna karşın nümerik analizlerde kullanılan depremlere ait kayıtların önemli bir kısmı yüzey seviyesinde kullanılan cihaz ve ekipmanlarla yapılmaktadır. Dolayısıyla modelde uygulanan seviye ile kayıt edilmiş deprem seviyesi arasında bir eşleşme söz konusu değildir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Sismik veri girişi.

Deprem kayıtları nümerik model içerisinde model tabanından uygulandığında modelin üst bölgesine ulaşınca kadar maruz kaldığı zeminin özelliklerine bağlı olarak büyümekte ve yüzeye ulaştığında uygulanan yer hareketinden daha büyük bir forma bürünmektedir (Şekil 2.14). Bu nedenle nümerik modele etki ettirilecek deprem hareketi ters evrişim (dekonvolüsyon) etkisi altında uygun bir katsayı ile çarpılarak dönüştürülmelidir.



Şekil 2.14: Nümerik model içerisinde oluşan dalga yayılımının şematik gösterimi.

2.2.2. Tasarımda İvme-Zaman Kayıt Seçimi

Yapısal analiz ve hesaba dayalı olanaklardaki hızlı gelişmeler sonucu zaman tanım alanında hesap yöntemleri, sismik analizde ve yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina kategorilerine göre çeşitli performans hedeflerini karşılayabilmek için 1997 NEHRP, FEMA 273, FEMA 349, FEMA 445 bina dizayn şartnamelerinde, dizayn kriterleri sunulmuştur. Bu amaçla, lineer olmayan zaman serisi analizleri ve yapısal performans hesaplamaları için çeşitli aşma olasılığı seviyelerine karşılık gelen tek tip (uniform) tehlike yer hareketlerine gereksinim duyulmaktadır. Mevcut deprem kayıtları, tek tip (uniform) tehlike yer hareketlerini ve yönetmelik gereksinimlerini belirlemek için yetersiz kaldığından: (1) mevcut yer hareketi

kayıtları hedef tepki spektrumu ile eşleştirilmek üzere ölçeklenir, (2) benzer tektonik yapıları içeren diğer sismik zonlara ait yer hareketi kayıtları kullanılır, veya (3) incelenen lokasyonu içeren bölgenin sismotektonik özelliklerine dayanarak sentetik yer hareketleri üretilir (C.Wu, Y.Wen, 2000).

Kalkan, E. ve Chopra, A.K. (2010)'nın yapıların doğrusal olmayan tepki zaman analizi için kayıt seçimi ve ölçeklenmesine dair yaptıkları çalışmalarında yer hareketi ölçekleme aşamasından önce çalışılan bölgeyle ilişkili olarak tehlike koşullarının deterministik veya olasılıksal bölgeye özel tehlike analiziyle belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Senaryo koşullarını belirlerken göz önünde bulundurulması gereken koşulların yer hareketi spektral şeklini en fazla etkileyen parametreler olduğunu belirterek (Graizer ve Kalkan 2009), şu şekilde sıralamışlardır; depremlerin büyüklük aralığı, gözlenen arazinin faya olan uzaklığı, zemin durumu (ortalama ilk 30 m'deki kayma dalgası hızı), havza (basin) etkisi, yönlenme (directivity) etkisi.

Sismik şartnameler, ivme-zaman kayıt seçimi için birtakım kriterler ve koşullar getirmiştir. Tasarıma esas deprem kayıtları seçilirken bu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (2018)'e göre bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında bir veya iki boyutlu ve üç boyutlu deprem hesabında gerekli deprem yer hareketlerinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi için uygulanması gerekli kurallar tanımlanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (2018)'e göre kullanılacak deprem şu özellikleri taşıması istenir:

- Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzunlukları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayırttırma işleminden yararlanılabilir.

- Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, binanın bulunduğu sahanın sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri göz önüne alınacaktır. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilecektir.
- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (2018)'e göre kullanılacak deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi:

- Zemin davranış analizleri dışında, zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemi ile aşağıdaki şekilde elde edilebilir:
 - ✓ Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, 2 tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.
 - ✓ Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareli toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.
- Mevcut deprem verileri ile bina özelliklerinin gerekli kılması ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumu belirlenmesi durumunda, binanın belirli sayıda titreşim periyodu ile ilişkilendirilen koşullandırılmış ortalama spektrumlardan yararlanılarak, deprem

kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilmesi yoluna gidilebilir.

DLH (2008) şartnamesine göre kullanılacak deprem şu özellikleri taşıması istenir:

- Zaman tanım alanında yapılacak analizlerde, aşağıda verilen özelliklere sahip üç adet ivme kaydı seçilerek, bunlarla yapılacak analizlerden elde edilen en elverişsiz büyüklükler (iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme) veya yedi adet ivme kaydı seçilerek, bunlarla yapılacak analizlerden elde edilen ortalama büyüklükler tasarıma esas büyüklükler olarak alınır.
- Kullanılacak ivme kayıtları, deprem büyüklüğü (manyitüd), fay mesafesi ve kaynak mekanizması bakımından göz önüne alınan en büyük depremi kontrol eden parametrelerle uyum içinde olmalıdır. Bu parametreler esas alınarak ölçekleme yöntemi ile, elastik davranış spektrumuna uyumlu yapay ivme kayıtları üretilebilmektedir.
- Yer hareketleri dizisi, %5 sönümlü davranış spektrumlarının $0.2T$ ile $1.5T$ arasındaki değerlerinin ortalamasından ve yapının bulunduğu lokasyona ait tasarım spektrumundan daha düşük olmayacak şekilde ölçeklendirilmektedir. Burada bahsi geçen T yapının incelenen doğrultudaki birinci doğal periyodudur.

Eurocode-8'e göre kullanılacak deprem şu özellikleri taşıması istenir:

- Kullanılacak olan deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması a_{gs} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyodu T 'ye göre $0.2T$ ile $2.0T$ arasındaki periyotlar için, tanımlanmış olan elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- En az üç ivme kaydı kullanılacaktır.

Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

2.2.3 İvme Spektrumları Kullanarak Kayıtların Ölçeklenmesi

Tarihsel olarak depremler çeşitli veri bankalarında kayıt altında tutulmaktadır. Bu kayıtlar Bölüm 2.1 içerisinde anlatılan şartnamelerde verilen kriterlere uygun olmak üzere seçilir. Seçilen bu kayıtlar zaman tanım alanında ölçeklenirken dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda belirtilmiştir.

- Veri bankasındaki sismik kayıtlar, ölçekleme yapılacak koordinattaki zemin özellikleri (V_{s30} hızı, zemin sınıfı vb.), fay mekanizması, deprem büyüklüğü gibi özellikleri dikkate alınarak filtrelenir ve uygun deprem kayıtları seçilir.
- Seçilen bu kayıtların davranış spektrumları çizdirilir.
- Şartnamelere uygun olarak ölçekleme yapılacak koordinattaki tasarım ivme spektrumu çizdirilir.
- Seçilen kayıtların ölçekleme işlemi sırasında, ilgili koordinattaki tasarım ivme spektrumuna uygun olacak ölçekleme katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Bu katsayı Özdemir ve Fahjan (2007)'ye göre genel olarak 0,25-4 değerleri arasında olması önerilmektedir.
- Son olarak ölçekleme katsayısı ile büyütülen veya küçültülen deprem kayıtları tasarım ivme spektrumuna göre eşleştirilir.

2.2.4 Kayıtların Ölçeklenmesinde Yararlanılan Yazılım (SeismoMatch)

SeismoMatch yazılımı, Abrahamson (1992) ve Hancock ve arkadaşlarının (2006) önerdiği dalgacık algoritmasını kullanarak, belirli bir hedef tepki spektrumuna uyacak şekilde deprem ivme programlarını ayarlayabilen bir yazılımdır. Aynı zamanda çok sayıda sismik yer hareketini eşzamanlı olarak eşleştirmek ve daha sonra maksimum uyumsuzluğu önceden tanımlanmış bir toleransa uygun ortalama bir eşleştirilmiş spektrum elde etmek de mümkündür.

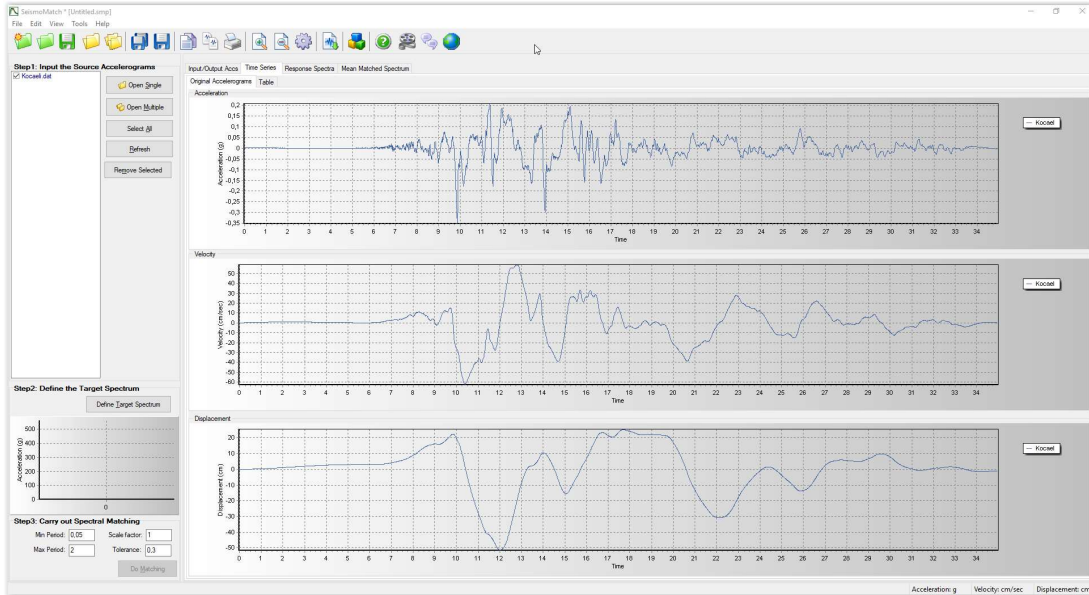
Program farklı metin dosya formatlarında kaydedilen ivme programları okuma yeteneğine sahiptir. Bu yer hareketi kayıtlarının toplanması, spektral hızlanmalarının önceden tanımlanmış bir yanıt spektrumunda belirli bir tolerans içinde eşleşeceği şekilde ayarlanabilir. Aşağıdaki yer hareket parametreleri eşleştirilmiş sismik kayıtlar için yazılım tarafından hesaplanır:

- Elastik tepki spektrumları ve pseudo-spektrum

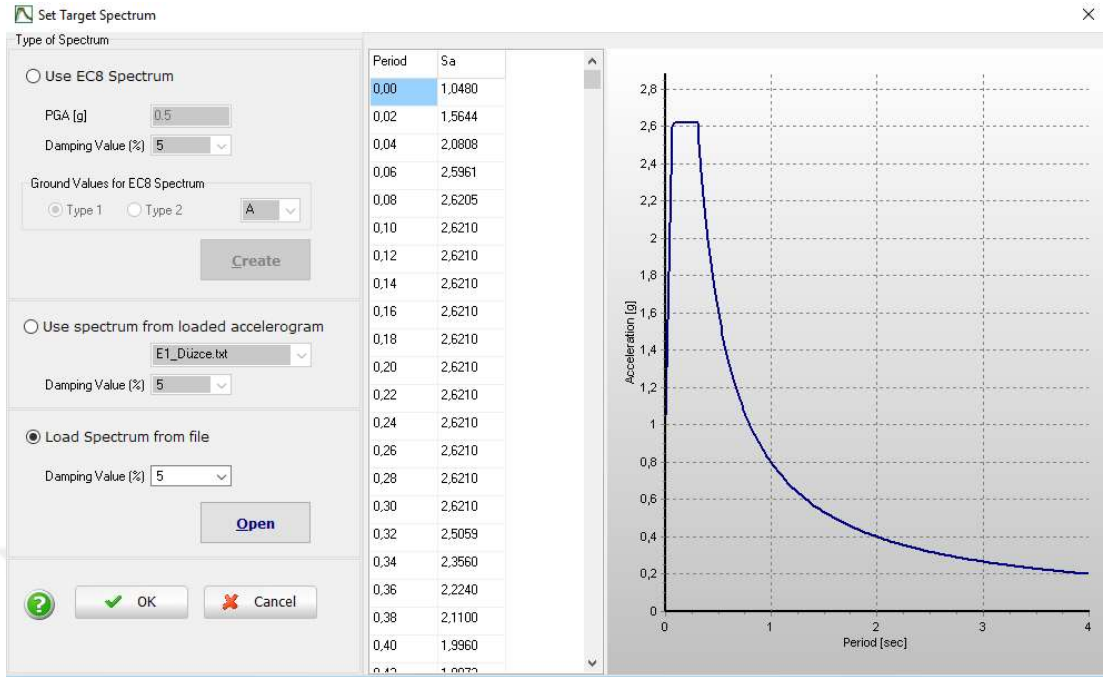
- Tepki spektrumları
- İvme, hız ve yer değiştirmenin ortalama karekoku (RMS)
- Kümülatif mutlak hız (CAV) ve spesifik enerji yoğunluğu (SED)
- İvme (ASI) ve hız (VSI) spektrum yoğunluğu
- Housner yoğunluęu
- Sürekli maksimum ivmelenme (SMA) ve hız (SMV)
- Etkili tasarım ivmesi (EDA)
- Baskın periyot (T_p)
- Anlamli süre

Bunlara ilave olarak, SeismoMatch ayrıca kullanıcının maksimum ve ortalama uyumsuzlukla ilgili gereksinimlerini karşılayan birleşik bir ortalama spektrum elde etmek için birçok eşleştirilmiş ivmeölçeri bir araya getirebileceği bir modüle de sahiptir.

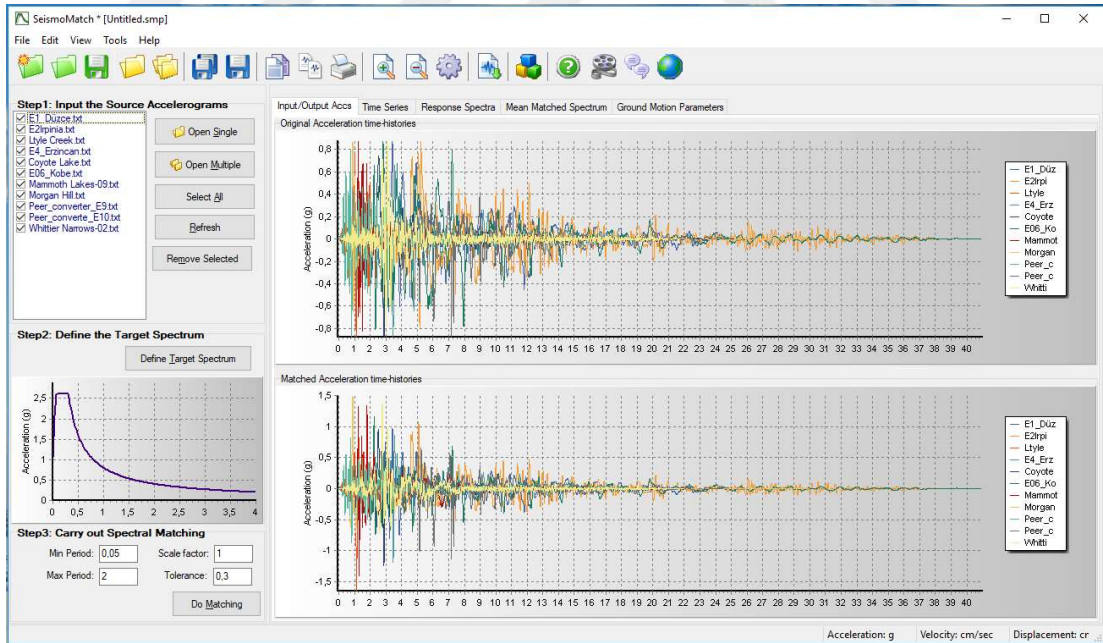
Son olarak ve Windows ortamına tam entegrasyon nedeniyle, SeismoMatch, grafiklerin özelliklerinin tamamen özelleştirilebileceğini belirterek, sayısal ve grafiksel sonuçların herhangi bir Windows uygulamasına (örneğin, MS Excel, MS Word, vb.) kopyalanmasına izin verir.



Şekil 2.15: SeismoMatch yazılımı ara yüzü.



Şekil 2.16: SeismoMatch yazılımı hedef spektrum gösterimi.



Şekil 2.17: SeismoMatch yazılımı çok sayıda sismik kayıtnın tek ekranda gösterimi.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, deprem sırasında doğrusal olmayan zemin davranışının nümerik model içerisinde nasıl tanımlandığı, performansa bağlı tasarıma etki eden faktörlerin genel olarak anlatımı ve tezin konusunu oluşturan rıhtım yapısı ve kazı destek yapısının bulunduğu bölgeye ait geometri bilgisi, zemin ve yapısal malzeme parametreleri anlatılmıştır. Ayrıca dinamik analizleri gerçekleştirebilmek için kullanılan sonlu elemanlar yazılımı ve deprem kayıtları hakkında bilgi verilmiştir.

Bu bölümde sunulan bu bilgiler ışığında, bir sondaki bölümde ise rıhtım yapısı ve kazı destek sistemi, farklı faktörlerin (geometrik faktörler, ağ boyutu, damping, kayıt özellikleri, ters evrişim ve spektrumlar) etkisini incelemek üzere çok sayıda nümerik analiz modelleri kullanılmak suretiyle çözülmüş ve tasarım ortaya konmuştur.

3.1. DEPREM SIRASINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN DAVRANIŞI ANALİZLERİ

Günümüz geoteknik tasarımlarında konvansiyonel yaklaşımlarla yapılan tasarımlar hem gayri ekonomik hem de aşırı güvenli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tasarımlar, güncel şartnameler ve metodolojiler ile yerini şekil değiştirmeye göre tasarıma yani doğrusal olmayan zemin davranışının modellenmesi üzerine dayalı davranış analizlerine bırakmaktadır.

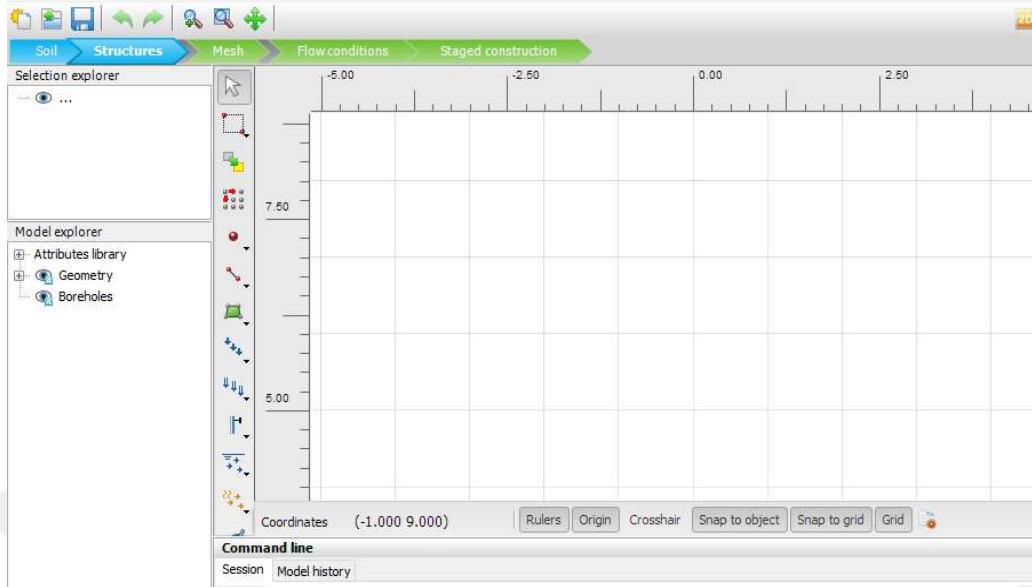
Doğrusal olmayan davranış modeli, nümerik model hazırlanması suretiyle deformasyona bağlı fonksiyonları çözebilen yazılımlar aracılığıyla yapılabilmektedir. Bu yazılımlar içerisinde Flac3D, Plaxis, Midas gibi yazılımlar yer almakla beraber, bu tez kapsamında Plaxis 2D nümerik yazılımı kullanılmış ve çeşitli vakalar üzerinde doğrusal olmayan zemin davranışı modellenmiştir.

Plaxis 2D, geoteknik mühendisliğinde deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş iki boyutlu sonlu elemanlar yazılımıdır. Plaxis yazılımının geliştirilmesi 1987 yılında Delft Üniversitesi tarafından başlatılmıştır. Yazılımın geliştirilmesindeki esas amaç Hollanda'da sıklıkla yer alan yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının tasarımını yapabilmek iken yıllar içerisinde tüm geoteknik problemlerin çözümünde kullanılan bir araç haline gelmiştir.

Plaxis statik ve dinamik modüller halinde kullanılabilir. Özellikle birçok kullanıcı statik durumda oluşacak gerilmeler ve deformasyonlar ile ilgilenmektedir. Şartnamelerde yer alan deprem koşullarında ise pseudo-statik analizler (eşdeğer statik analiz) gerçekleştirilmektedir. Ancak bu statik yaklaşımların yanında, yazılım dinamik deprem analizlerinin simülasyonu konusunda da olanak tanımaktadır. Burada kaydedilmiş veya türetilmiş deprem hareketleri modele uygulanarak zemin modeli ve bu model içerisinde yer alan yapısal elemanların zamana bağlı olarak oluşacak gerilme deformasyon davranışı tespit edilebilir. Şekil 3.1’de yazılımın ara yüzüne yer verilmiştir. Ara yüzde görünen üst başlıklar ise Tablo 3.1’de anlatılmıştır.

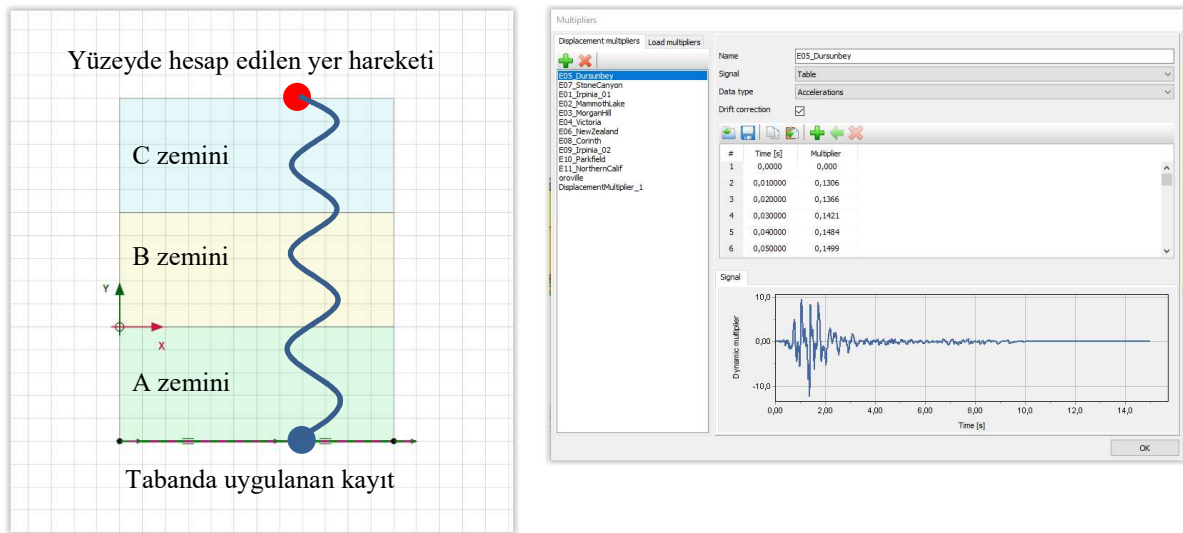
Tablo 3.1 : Plaxis yazılımı özet kullanımı.

Bölüm	Açıklama	Girdiler/Özellikler
Soil ve Structures	“Soil ve Structures” bölümleri modelin geometrisinin oluşturulduğu girdi parametrelerinin yazılıma tanıtıldığı bölümlerdir.	<ul style="list-style-type: none"> • Genel ayarlar • Yükler ve sınır koşulları • Öntanımlı deplasmanlar • Dinamik yük sistemi düzenleme • Absorbe edici sınırlar • Elastik parametreler • Malzeme sönümü
Mesh	Bu bölümde oluşturulan geometri ve zemin/yapısal elemanlar yeterli boyutta ağlara bölünerek gerilme deformasyon hesaplamalarına yönelik mekanizma oluşturulur.	<ul style="list-style-type: none"> • Mesh (ağ) boyutlarının oluşturulması
Flow Conditions	Bu bölümde kütle modeli içerisindeki su davranışı modellenmektedir.	<ul style="list-style-type: none"> • Kazı aşamalarındaki su seviyesinin tanımlanması
Staged Construction	Bu bölümde geoteknik probleme ait kazı aşamaları, yükleme koşulları, dinamik analizlerin oluşturulması.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamik analizi seçim • Parametreler • Çarpanlar
Calculation Results (Output)	Bu bölümde analiz modeli koşullararak nümerik analiz sonuçlandırılır ve deformasyon, gerilme, spektrum gibi sayısal sonuçlar elde edilir.	<ul style="list-style-type: none"> • Animasyonlar • Hızlar • İvmeler • Girdi ve tepki spektrumu (response spectra)



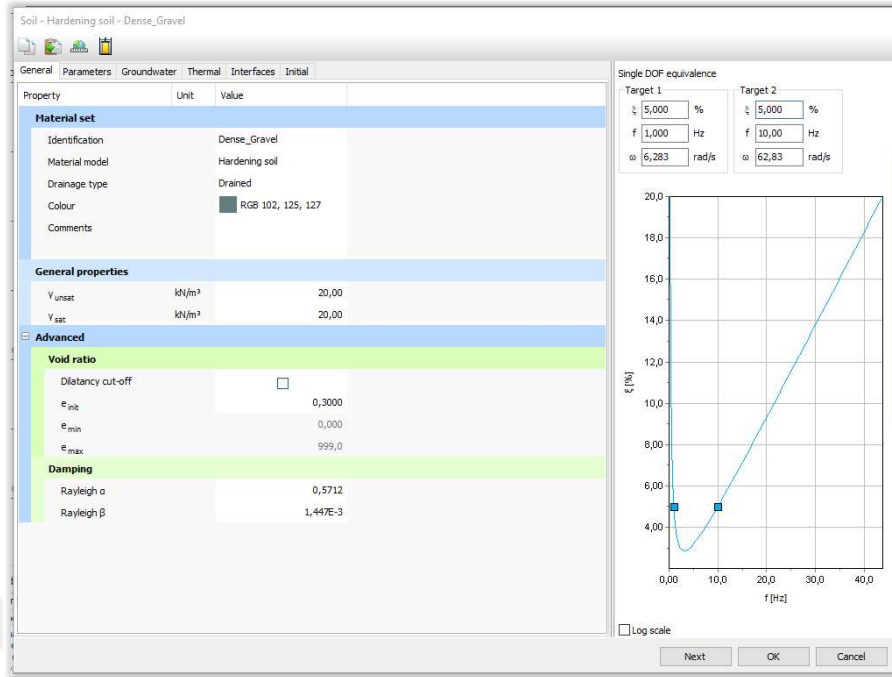
Şekil 3.1: Plaxis yazılımı arayüz görünümü.

Şekil 3-2’de basit bir dinamik modelin Plaxis yazılımındaki görünümü verilmektedir. Bu örnekte üç zemin modeli oluşturulmuş ve deprem kaydı model tabanından “compliant base” taban modeliyle sisteme uygulanmaktadır.



Şekil 3.2: Plaxis’te basit bir dinamik model görünümü.

Model tabanında daha önceden şartnamelere bağlı olarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları sisteme uygulanmakta olup nihai olarak yüzeyde hesap edilen spektrumlar analiz sonucu olarak irdelenmektedir.



Şekil 3.4: Plaxis damping parametreleri.

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, bu tez kapsamındaki analizlerde % 5 sönünlenmeye (ξ) karşılık gelen Rayleigh parametreleri; $\alpha = 0.5712$ ve $\beta = 1.447e-3$ bulunmuş olup Rayleigh katsayıları Tablo 3.2'de verilmiştir.

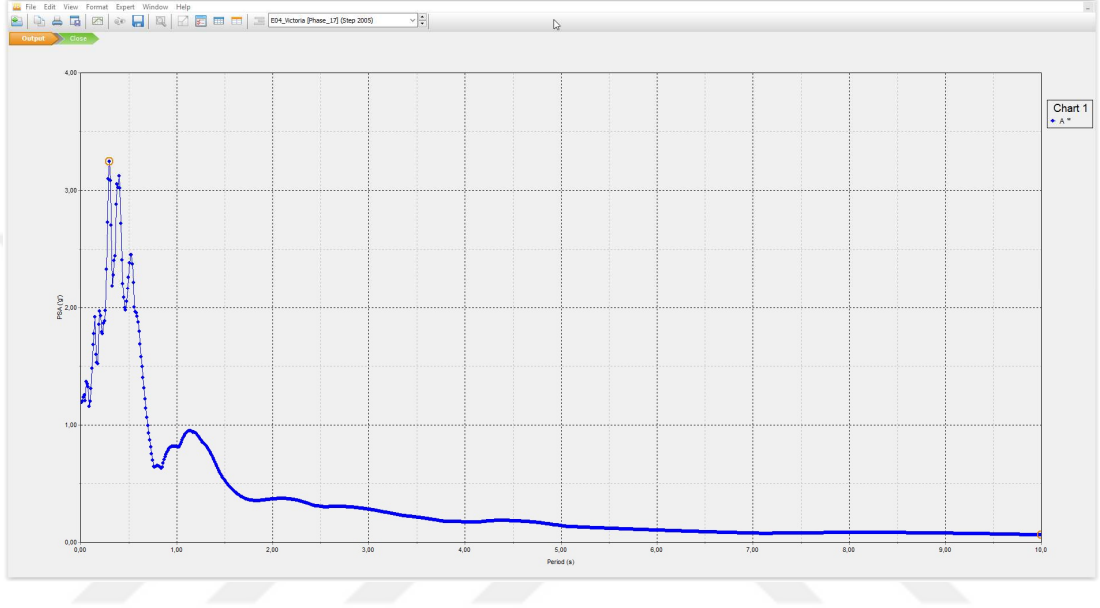
Tablo 3.2 : Sönümlenme oranına denk gelen rayleigh katsayıları.

Hedef Frekanslar: 2.0 Hz & 10.0 Hz		
Damping oranı, ξ	Rayleigh katsayıları	
	α	β
5%	0.5712	1.447e-3

Ağ oluşturulması Plaxis yazılımında tamamen otomatik olarak yapılmaktadır. Yazılım, üçgen elemanların boyutunun kontrol edilmesi ve ağın eleman boyutunun ortalama uzunluğu için belirli bir değer atanmasına imkan sağlar. Kuhlemeyer ve Lysmer (1973), aşağıdaki denklem ile kayma dalgası hızının sekize ve maksimum frekansa bölünmesiyle elde edilen değere eşit veya daha küçük bir boyut almayı önermektedir.

$$\text{Ortalama ağ boyutu} \leq \lambda / 8 = V_{s,(min)} / (8 \cdot f_{max}) \quad (3.1)$$

Plaxis yazılımında deprem yer hareketleri nümerik modele uygulandıktan sonra çıktı ekranında, modelin içerisinde daha önceden belirlenmiş bir noktada tepki spektrumu grafiği elde edilebilmektedir (Şekil 3.5). Bu grafik her kayıt için yapılabilir ve şartnamelerin belirlemiş olduğu hedef spektrum ile kıyaslanabilmektedir. Bu tez kapsamında yapılan nümerik analizlerin tepki spektrumları da bu şekilde elde edilmiştir.

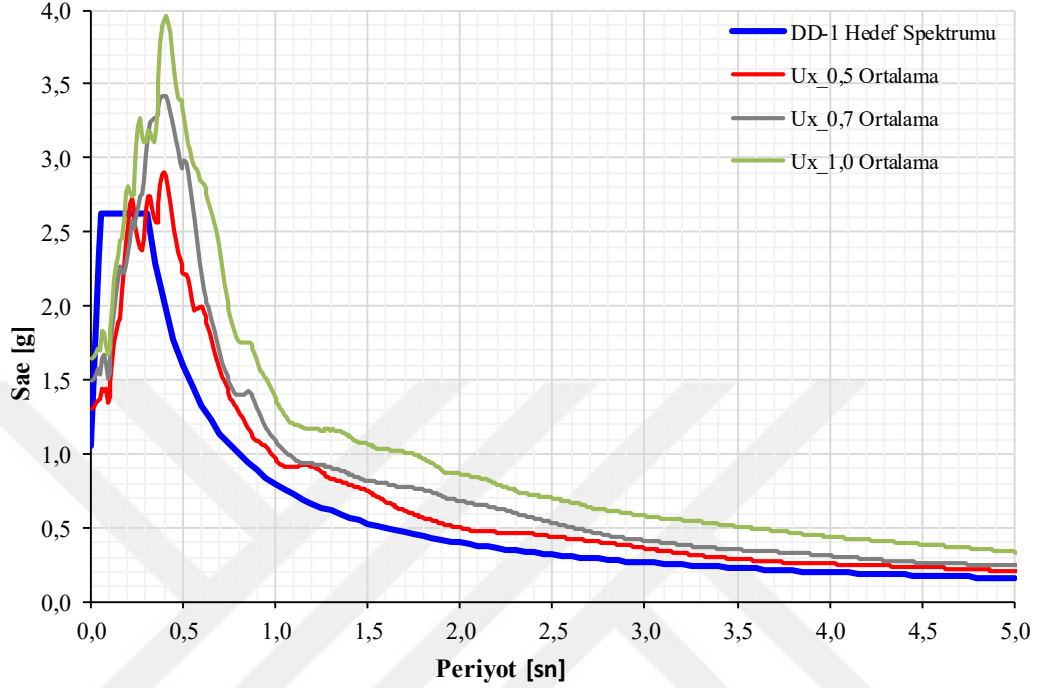


Şekil 3.5: Plaxis ivme spektrumu grafiği

Yukarıdaki prensipler dikkate alınarak yapılan nümerik analiz çalışmalarında, ölçeklenmiş kayıtlar kullanılarak ilk olarak analizlere etkisi olan faktörler incelenmiştir. Çeşitli hassasiyet analizleri yapılarak etkileri incelenen bu faktörler, geometrik faktörler, kayıt özellikleri, ters evrişim (dekonvolüsyon) ve tepki spektrumların özellikleri olarak sıralanabilir. Tüm bu analizler neticesinde, hem kullanılacak deprem yer hareketi açısından hem de nümerik modelin oluşturulması açısından en uygun yapı tespit edilmiş ve tasarım esasları ortaya konmuştur.

Bu faktörlerden ters evrişim özelliği en dikkat çekici etkenlerden biri olarak görünmektedir. Plaxis yazılımı bu etkiyi hesaba katarken tabandan verilecek depremlerde 0.5 katsayısı ile depremin küçültülmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Bu değer genel olarak doğruya yakın sonuç vermekle beraber birçok farklı etkene (zemin koşulları, geometrik etkenler vb.) göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu tez kapsamında bu etkenler de incelenmiştir. Aşağıdaki şekilde örnek bir nümerik analiz farklı ters evrişim katsayısı ile dönüştürülen depremlerden elde

edilen tepki spektrumlarının karşılaştırılması gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bu örnekte 0.5 katsayısı hedeflenen spektrum ile oldukça örtüşen bir görünüm vermektedir.



Şekil 3.6: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre örnek bir hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumları (Ters Evrişim katsayısı = 0.5-0.7-1.0).

Bu değer doğru seçimi tasarım, uygulama maliyetleri ve güvenlik açısından son derece önem arz etmektedir. Bu tez kapsamında, çeşitli hassasiyet analizleri ile bu katsayı tartışılmış, ayrıca iki vaka üzerinde bu katsayı irdelenmiştir.

Bu vakalardan ilki, yükleme (loading) durumunu temsil eden kazık, jet grout ve ve dolgu imalatı içeren bir rıhtım yapısı tasarımıdır. Burada mevcut geometri kazıklı tutucu yapı ve dolgu ile yüklenmekte ve şartnameye uygun tasarım yapılmaktadır. Bu vaka içerisinde ters evrişim katsayısı 0.5 olarak seçilmiştir. Bu vakada ayrıca doğrusal olmayan yaklaşımla sınılaşma analizleri de yapılmıştır.

Diğer vaka ise bir boşaltma (unloading) durumunu temsil eden bir model olup yine bir rıhtım yapısı içerisinde ankrajlı ve kazıklı bir kazı destek sistemidir. Burada kazı destek sistemi yine ilgili şartnamelere göre tasarlanmış ve spektrum açısından irdelenmiştir. Bu vakada ise ters evrişim katsayısı 0.7 olarak seçilmiştir.

Bu iki vakada iki farklı ters evrişim katsayısı kullanılmıştır. Buna karşın yapı bölgesinde yüzeyde oluşan tepki spektrumları açısından hedef spektrumlar ile bir uyum söz konusudur.

Bu vakaların tasarımı yapılırken, iki farklı tasarım şartnamesi kullanılmıştır. Birinci vaka (yükleme durumu) Bölüm 2.1.2’de anlatılan “DLH Yönetmeliği” esaslarına göre yapılmış olup detayları ilgili bölümde verilmiş olan ve aşağıda belirtilen kriterler dikkate alınmıştır.

Tablo 3.3: Palplanşlı rıhtım duvarları için performans limitleri (DLH, 2008).

Yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Kalıcı yatay yer değiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	<1.5	1.5-5
Duvarın denize doğru kalıcı eğiklik (derece)	<3	3-5
Duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma (cm)	30-70	-
Duvar arkasındaki farklı oturma (cm)	3-10	-
Palplanş deformasyonu (tarama kotu üstünde)	Elastik	Plastik ⁽¹⁾
Palplanş deformasyonu (tarama kotu altında)	Elastik	Elastik
Gergi çubuğu deformasyonu	Elastik	Elastik
Ankraj Deformasyonu	Elastik	Elastik

⁽¹⁾ Akma birim deformasyonun en fazla 2 katı

İkinci vaka ise tasarım kriteri olarak Eurocode 8 (EC) seçilmiştir. Malzeme parametreleri ve tasarım kriteri bu yönetmeliğe göre oluşturulmuştur. Aşağıdaki tablolarda bu kriterlere yer verilmiştir. Pseudo-statik analizlerde yatay ivme katsayısı olarak $C_h=0.144$ kullanılmıştır.

Tablo 3.4: Uygulanacak tasarım kriteri.

Deprem Seviyesi DD-1	Deprem Seviyesi DD-2	Deprem Seviyesi DD-3
Deformasyona Bağlı Tasarım	Kuvvete Bağlı Tasarım (ULS-Eurocode Pseudo-statik Analiz)	-

Tablo 3.5: Performans limitleri.

Statik Yükler	Deprem Seviyesi DD-1	Deprem Seviyesi DD-2	Deprem Seviyesi DD-3
Servis Durumu	Kontrollü Hasar	Limitli Hasar	-

Tablo 3.6: Deformasyona bağılı tasarım kriterleri.

Durum	Statik Yükler	Deprem Seviyesi DD-1	Deprem Seviyesi DD-2	Deprem Seviyesi DD-3
δ_x/H	0.0015	0.0070	N/A	-
δ_y	15mm	50mm	N/A	-
B_{max}	1/1000	1/250	N/A	-
Yapısal Elemanlar	Lineer Elastik	Yapısal Kapasitenin %90'ı	N/A	-

δ_x : Maksimum yatay deformasyon

H: Kazı Derinliği

δ_y : Kazı arkasındaki maksimum düşey deformasyon

B_{max} : Kazı arkasındaki maksimum açılmal dönme

Tablo 3.7: Tasarım Yaklaşımı-2 (DA-2) faktörleri (Eurocode, 1998).

Tasarım Yaklaşımı - 2			A1	M1	R2
Sabit Yükler (G)	Elverişsiz Durum	γ_G	1.35		
	Elverişli Durum	$\gamma_{G,fav}$	1.0		
Değişken Yükler (Q)	Elverişsiz Durum	γ_Q	1.5		
	Elverişli Durum	$\gamma_{Q,fav}$	0		
Malzeme Özellikleri (X)		γ_M		1.0	
Taşıma Dayanımı (R_v)		γ_{RV}			1.4
Kayma Dayanımı (R_h)		γ_{Rh}			1.1

Tablo 3.8: Tasarım Yaklaşımı-3 (DA-3) faktörleri (Eurocode, 1998).

Tasarım Yaklaşımı - 3			A1	A2	M1	R3
Sabit Yükler (G)	Elverişsiz Durum	γ_G	1.35	1.0		
	Elverişli Durum	$\gamma_{G,fav}$	1.0	1.0		
Değişken Yükler (Q)	Elverişsiz Durum	γ_Q	1.5	1.3		
	Elverişli Durum	$\gamma_{Q,fav}$	0	0		
Kayma Dayanımı Katsayısı ($\tan\phi$)		γ_ϕ			1.25	
Efektif Kohezyon (c')		$\gamma_{c'}$			1.25	
Drenajsız kayma dayanımı (c_u)		γ_{c_u}			1.4	
Tek eksenli basınç dayanımı (q_u)		γ_{q_u}			1.4	
Birim hacim ağırlık (γ)		γ_γ			1.0	

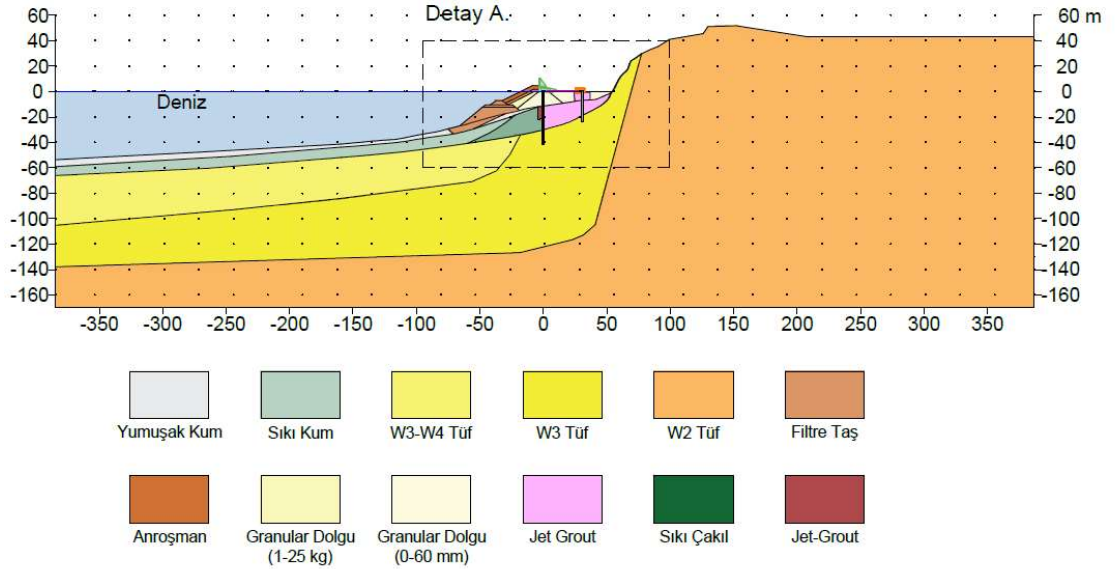
3.2. VAKALARIN SEÇİMİ

Bu bölümde nümerik analizleri ve performansa bağlı doğrusal olmayan dinamik tasarımı yapılacak iki vaka seçilmiş ve ortaya konmuştur. Bu vakalar seçilirken deprem hareketinin nümerik model içerisinde yayılımını yükleme ve boşaltma davranışları altında incelemek üzere bir dolgu ve bir kazı yapısı içeren iki durum olması hususu göz önünde bulundurulmuştur.

- (1) Birinci vaka, yükleme durumunu temsilen rıhtım yapısına ait kazıklı perde duvar ve dolgu sistemidir.
- (2) İkinci vaka ise, çok sıra ankrajlı ve kazıklı kazı destek sistemidir.

3.2.1. Vaka-1 Yükleme Durumu (Kazıklı Dolgu Sistemi)

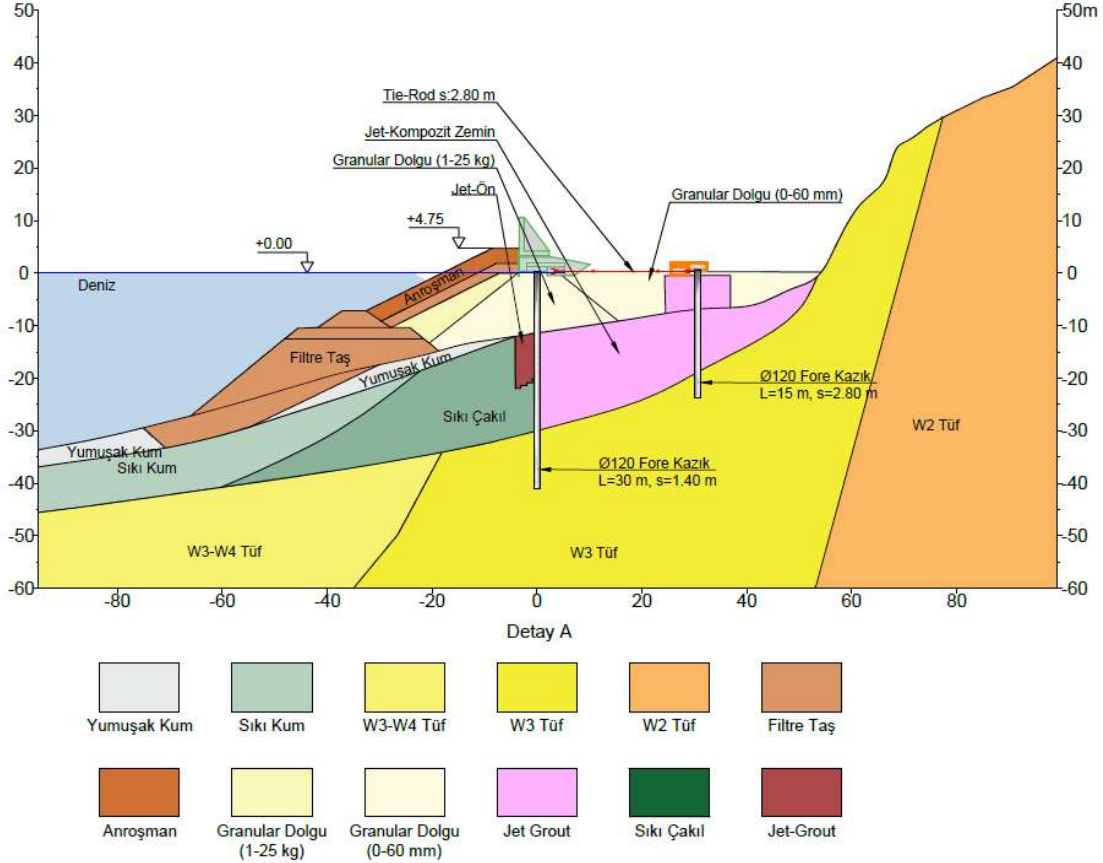
Bu teze konu olan Vaka-1'e ait rıhtım yapısı, İzmir'de bir liman yapısını temsil etmektedir. Eğimli bir kaya üzerindeki çökeller üzerine inşa edilen kazıklı perde duvardan oluşan bir rıhtım yapısının tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Kesişen betonarme kazıklardan oluşan rıhtım kazıkları arka tarafa aralıklı betonarme kazık sistemine çelik halatlarla bağlanmıştır. Bütün kazıklar ana kaya olarak kabul edilmiş eğimli tüf birime soketlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Rıhtım yapısının geometrisi.

Daha detaylı incelendiğinde, rıhtım yapısının, deniz tarafında 120cm çapında kesişen fore kazık, arka tarafta ise 2.8m aralıklı betonarme kazık sistemi planlanmıştır. Fore kazıklar

birbirine çelik gergiler ile bağlanmıştır. Bu bölümde teze konu olan rıhtım yapısına ait zemin ve malzeme parametreleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.8: Rıhtım yapısının geometrisi (yakın görünüm).

Tablo 3.9: Rıhtım yapısı yapısal elemanlar boyutları.

Ön Kazıklar (P1)		Arka Kazıklar (P2)		Çelik Gergi (P3)	
Tip ve Çap (mm)	Boy (m)	Tip ve Çap (mm)	Boy (m)	Tip ve Çap (mm)	Boy (m)
BFK* - 1200	30.0	BFK* - 1200	15.0	75	25

*BFK: Betonarme Fore Kazık

Tablo 3.10: Plaxis modelinde kullanılan zeminlerin kütle modelleri.

Malzeme	Zemin Modeli
Kaya Dolgu	Pekleşen Zemin (HS)
Çakıl ve Kum	Pekleşen Zemin (HS)
Tuf	Pekleşen Zemin (HS)

Tablo 3.11: Plaxis'te kullanılan zemin parametreleri (damping %0.5).

Parametreler	Çakıl	Gevşek Kum	Sıkı Kum
Malzeme Modeli	HS	HS	HS
Malzeme Tipi	Drn./Und-A	Drn./Und-A	Drn./Und-A
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	20.0	18.0	19.0
Başlangıçtaki Boşluk Oranı, e_{init}	0.30	0.50	0.35
Permeabilite Katsayısı, m/day	7.13	3.49	3.49
Deviatorik referans modülü, E_{50}^{ref} (kPa)	60,000	10,000	50,000
Sıkışma referans modülü, E_{oed}^{ref} (kPa)	60,000	10,000	50,000
Yükleme-boşaltma modülü, E_{ur}^{ref} (kPa)	180,000	30,000	150,000
Gerilme seviyesine bağlılık, m	0.5	0.5	0.5
Yükleme-boşaltma için Poiss.oranı, ν_{ur}	0.3	0.3	0.3
Referans gerilme, p^{ref} , kPa	25	10	40
Göçme oranı, R_f	0.9	0.9	0.9
Efektif kohezyon, c' (kPa)	1	1	1
Kayma mukavemeti açısı, ϕ' (°)	40	31	40
Dilatasyon açısı, ψ (°)	0	0	0

Tablo 3.12: Plaxis'te kullanılan kaya parametreleri (damping %0.5).

Parametreler	Tüf (W3-W4)	Tüf (W2)	Tüf (W3)
Malzeme Modeli	HS	HS	HS
Malzeme Tipi	Drn./Und-A	Drn./Und-A	Drn./Und-A
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	21.0	23.0	22.0
Başlangıçtaki Boşluk Oranı, e_{init}	0.30	0.2	0.30
Permeabilite Katsayısı, m/day	0.04	0.3	0.04
Deviatorik referans modülü, E_{50}^{ref} (kPa)	350,000	1,250,000	500,000
Sıkışma referans modülü, E_{oed}^{ref} (kPa)	350,000	1,250,000	500,000
Yükleme-boşaltma modülü, E_{ur}^{ref} (kPa)	1,000,000	3,750,000	1,500,000
Gerilme seviyesine bağlılık, m	0.5	0.5	0.5
Yükleme-boşaltma için Poiss.oranı, ν_{ur}	0.3	0.3	0.3
Referans gerilme, p^{ref} , kPa	100	100	100
Göçme oranı, R_f	0.9	0.9	0.9
Efektif kohezyon, c' (kPa)	60	500	100
Kayma mukavemeti açısı, ϕ' (°)	36	40	40
Dilatasyon açısı, ψ (°)	0	0	0

Tablo 3.13: Plaxis'te kullanılan yapısal elemanların parametreleri.

Malzeme	Tip	EI (kNm ² /m)	EA (kN/m)	W (kN/m/m)	Aralık
Kazık ($\Phi=1.2\text{m}$, $s=1.4\text{m}$)	Plate	2,470,371	27,452,571	4.3	1.4
Kazık ($\Phi=1.2\text{m}$, $s=2.8\text{m}$)	Plate	1,235,366	13,726,286	2.1	2.8
Kazık Başlığı	Plate	22,666,667	68,000,000	10	-
Çelik Gergi ($s=2.8\text{m}$)	Anchor	-	2,954,112	-	2.8

3.2.2. Vaka-2 Boşaltma Durumu (Kazı Destek Sistemi)

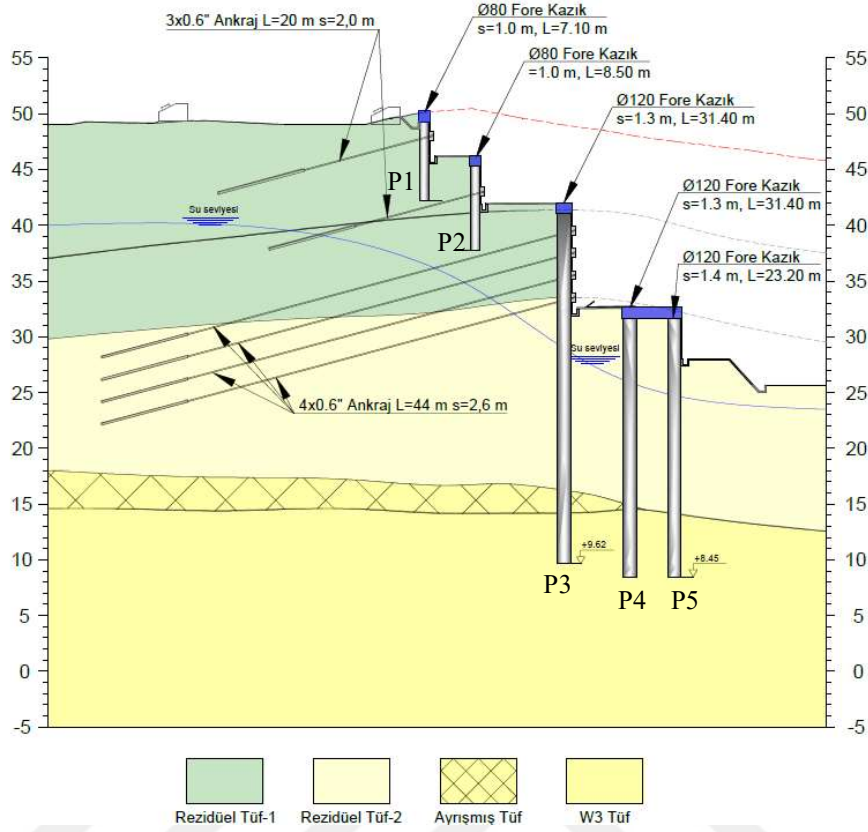
Bu teze konu ikinci vaka, bir kazı destek sistemini temsil etmektedir. Burada Vaka-1 gibi bir yükleme durumu değil, kazı ile oluşan zeminde boşaltma durumu irdelenmiştir. Bu yapı Vaka-1 ile aynı lokasyonda ve benzer zemin koşullarında yer almaktadır.

Bu bölümde eğimli bir kaya üzerindeki çökeltiler üzerine inşa edilen kazık destek yapısının tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Bütün kazıklar ana kaya olarak kabul edilmiş eğimli tuf birime soketlenmiştir (Şekil 3.9). Daha detaylı incelendiğinde, kazık destek yapısının, üst platformda 80cm çapında $s=2.0\text{m}$ aralıklı, alt iki platformda 120cm çapında, $s=1.3-2.8\text{m}$ değişen aralıklarda kazık destek yapısı tasarlanmıştır. Fore kazıklara yatay destek olarak ankraj yapılması planlanmıştır.

Tablo 3.14: Kazık destek yapısı yapısal elemanlar boyutları.

Fore Kazık	Başlık Kirişi		Ankraj Tendon		Ankraj Kök		
	Boy (m)	Tip ve Çap (mm)	Boy (m)	Tip ve Çap (mm)	Halat Sayısı (N)	Tip ve Çap (mm)	Aralık
BFK* - 800 (P1)	7.1	1000	5400	13,2	3	120	2.0
BFK* - 800 (P2)	7.5	1000	1400	13,2	4	120	2.6
BFK* - 1200 (P3)	31.4	1000	1200				
BFK* -1200(P4)	23.2	1000	1000				
BFK* -1200(P5)	23.2						

*BFK: Betonarme Fore Kazık



Şekil 3.9: Kazı destek yapısının geometrisi.

Bu bölümde teze konu olan kazık destek yapısına ait zemin ve malzeme parametreleri belirtilmiştir.

Tablo 3.15: Plaxis'te kullanılan yapısal elemanların parametreleri.

Malzeme	EA (kN/m)	EI (kN/m ² /m)	w (kN/m/m)	v
Fore kazık Ø80cm; s=1.0 m	15,070,000	602,900	10.10	0.2
Fore kazık Ø120cm; s=1.3 m	26,086,154	2,347,754	26.1	0.2
Fore kazık Ø120cm; s=1.4 m	24,220,000	2,180,000	24.20	0.2
Fore kazık Ø120cm; s=2.8 m	12,110,000	1,090,000	12.15	0.2
Ankraj kök (s=1.3 m)	86,954	-	-	-
Ankraj kök (s=2.0 m)	56,520	-	-	-
Ankraj kök (s=2.6 m)	43,477	-	-	-
Ankraj tendon (3*0.6")	81,900	-	-	-
Ankraj tendon (4*0.6")	109,200	-	-	-
Başlık kirişi (h=1.0 m, b=5.4m)	28,000,000	2,333,333	25.00	0,2

Tablo 3.16: Plaxis'te kullanılan statik zemin parametreleri.

Parameter	Rezidüel Tüf-1	Rezidüel Tüf-2	Ayrılmış Tüf	Tüf	Sıkışmış Zemin
Malzeme Modeli	HS	HS	HS	HS	HS
Malzeme Tipi	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Başlangıçtaki Boşluk Oranı, e_{init}	0,6	0,5	0,45	0,35	0,5
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	18,0	18,5	19,0	20,0	21
Deviatorik referans modülü, E_{50}^{ref} (kPa)	30,000	50,000	50,000	150,000	150,000
Sıkışma referans modülü, E_{oed}^{ref} (kPa)	30,000	50,000	50,000	150,000	150,000
Yükleme-boşaltma modülü, E_{ur}^{ref} (kPa)	90,000	150,000	150,000	450,000	450,000
Gerilme seviyesine bağlılık, m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Yükleme-boşaltma için Poiss.oranı, ν_{ur}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Referans gerilme, p^{ref} , kPa	100	100	100	100	100
Göçme oranı, R_f	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Efektif kohezyon, c' (kPa)	9	10	40	100	50
Kayma mukavemeti açısı, ϕ' (°)	25	25	20	35	30

Tablo 3.17: Plaxis'te kullanılan dinamik zemin parametreleri (damping %0,5).

Parameter	Rezidüel Tüf-1	Rezidüel Tüf-2	Ayrılmış Tüf	Tüf
Malzeme Modeli	HS	HS	HS	HS
Malzeme Tipi	Und. B	Und. B	Und. B	Und. B
Başlangıçtaki Boşluk Oranı, e_{init}	0,3	0,3	0,35	0,35
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	18,0	18,5	19,0	19,50
Deviatorik referans modülü, E_{50}^{ref} (kPa)	125,000	185,000	250,000	380,000
Sıkışma referans modülü, E_{oed}^{ref} (kPa)	125,000	185,000	250,000	380,000
Yükleme-boşaltma modülü, E_{ur}^{ref} (kPa)	375,000	555,000	750,000	1,140,000
Gerilme seviyesine bağlılık, m	0,5	0,5	0,5	0,5
Yükleme-boşaltma için Poiss.oranı, ν_{ur}	0,3	0,3	0,3	0,3
Referans gerilme, p^{ref} , kPa	100	100	100	100
Göçme oranı, R_f	0,9	0,9	0,9	0,9
Efektif kohezyon, c' (kPa)	150	200	300	500
Kayma mukavemeti açısı, ϕ' (°)	-	-	-	-

3.3. DEPREM KAYITLARININ TANITIMI

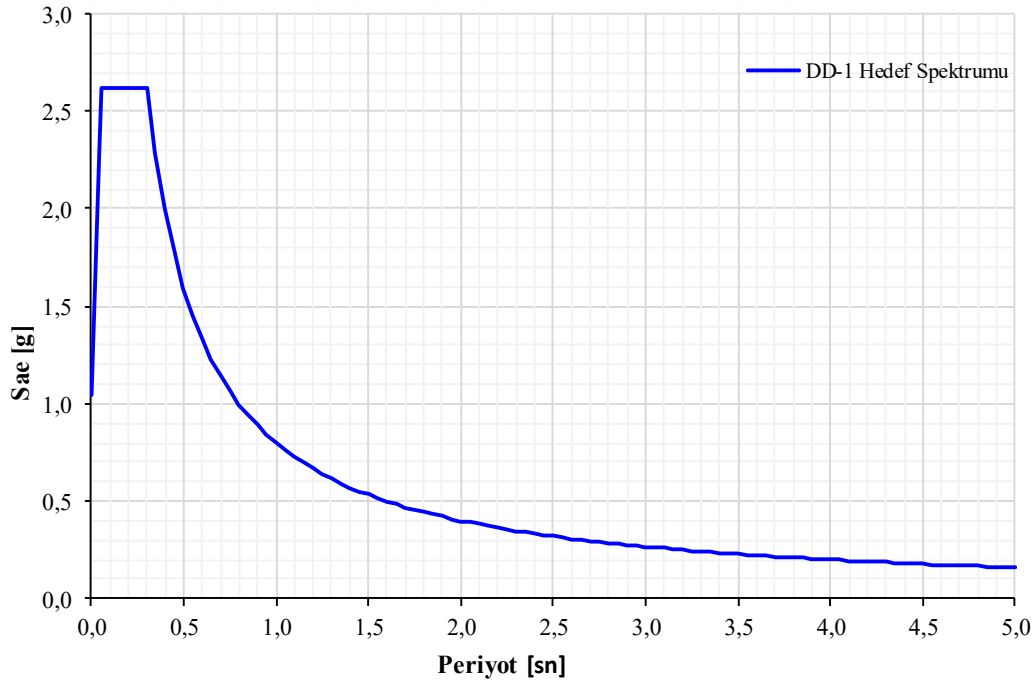
Bu bölümde nümerik analizlerde kullanılmak üzere yazılım oluşturulan deprem kayıt veri tabanı hakkında bilgi verilmiştir. Eşdeğer maksimum yer ivmesi (PGA) değeri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kriterlerine göre ilgili lokasyon ve zemin sınıfı için hesaplanmıştır. Buna göre DD-1 seviyesi için PGA değeri 0.869 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.18: Eşdeğer PGA değerleri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği).

Zemin Sınıfı	ZC
DD-1 Seviyesi PGA	0,869

Tablo 3.19: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre DD-1 deprem seviyesi için yer hareket parametreleri.

Deprem Seviyesi	S _s	S _{DS}	S _I	S _{D1}	Hedef PGA (g)
DD-1	2,184	2,621	0,551	0,798	0,869



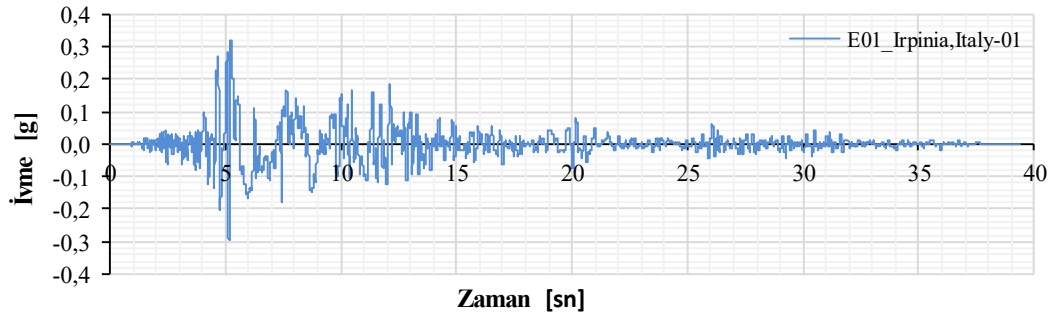
Şekil 3.10: DD-1 Deprem Seviyesi, ZC Sınıfı zemin için tepki spektrumu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun).

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (2018) şartnamesine göre, yer hareketlerini içeren sismik analizlerin tasarımında uygulanacak metodoloji ve gereksinimler Bölüm 2’de detaylı olarak anlatılmıştır. Bu tez kapsamında, Bölüm 2’de anlatılan kriterlere uygun olarak deprem kayıtları “PEER Ground Motion Selection and Modification Working Group (<http://peer.berkeley.edu>)” veri tabanı kullanılarak seçilmiştir. Seçilen kayıtlar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği şartnamesine uygun olarak ölçeklendirilmiş ve hedef spektruma göre eşleştirilmiştir.

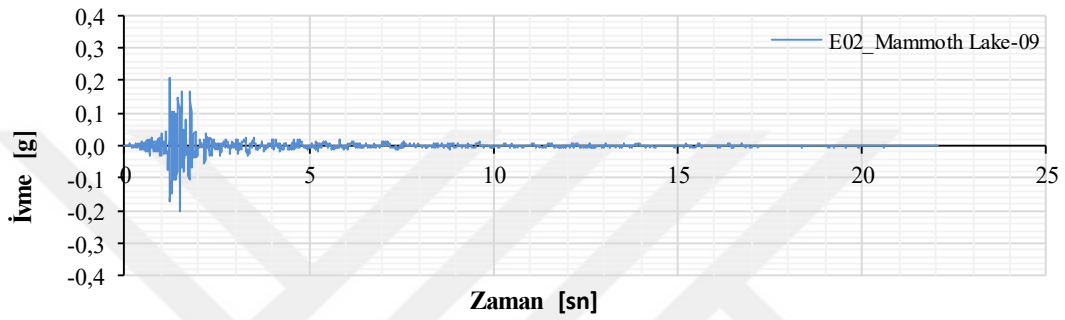
Seçilen deprem kayıtları ve DD-1 deprem seviyesine göre uygulanacak ölçek miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.11 ile Şekil 3.22 arasında) kayıtların ölçeklendirilmemiş ivme zaman grafiklerine yer verilmiştir.

Tablo 3.20: Seçilen deprem kayıtlarının hedef PGA değerine göre ölçeklenmesi.

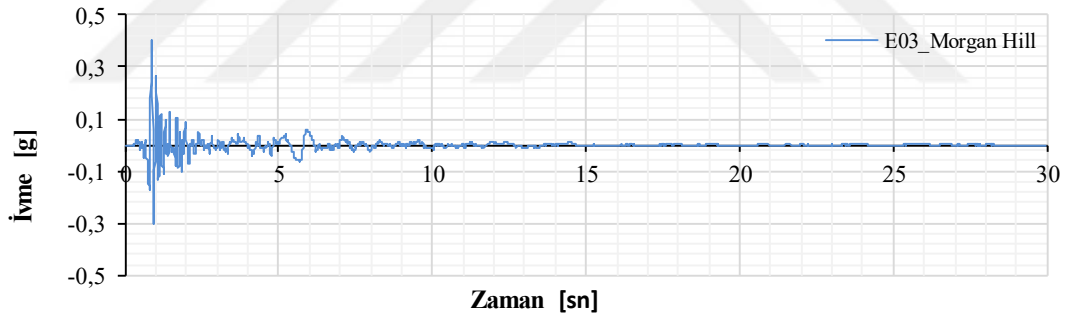
EQ No	Kayıt No.	Deprem İsmi	Yıl	Manyitüd	Fay Tipi	Vs (m/s)	PGA (g)	Hedef PGA	Ölçek Oranı
E1	292	Irpinia, Italy-01	1980	6,9	N	382,0	0,320	0,869	2,716
E2	68	Mammoth Lake-09	1980	4,85	SS	653,6	0,212	0,869	4,105
E3	459	Morgan Hill	1984	6,19	SS	663,3	0,406	0,869	2,140
E4	265	Victoria, Mexico	1980	6,33	SS	471,5	0,645	0,869	1,346
E5	144	Dursunbey, Turkey	1979	5,34	N	585,04	0,287	0,869	3,025
E6	587	New Zealand-02	1987	6,33	N	551,30	0,284	0,869	3,061
E7	1622	Stone Canyon	1972	4,81	NO	439,58	0,163	0,869	5,332
E8	313	Corinth, Greece	1981	6,60	NO	361,40	0,296	0,869	2,931
E9	300	Irpinia, Italy-02	1980	6,20	N	455,93	0,176	0,869	4,943
E10	33	Parkfield	1966	6,19	SS	527,92	0,357	0,869	2,437
E11	101	Northern Calif-07	1975	5,20	SS	567,78	0,207	0,869	4,200



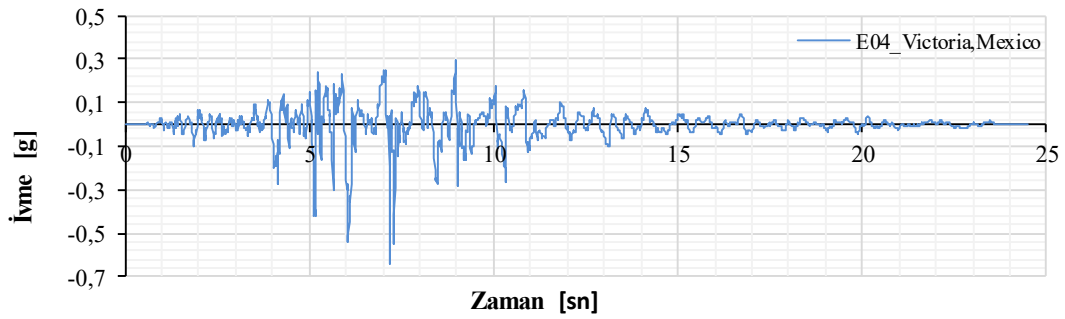
Şekil 3.11: E01_Irpinia, Italy-01 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



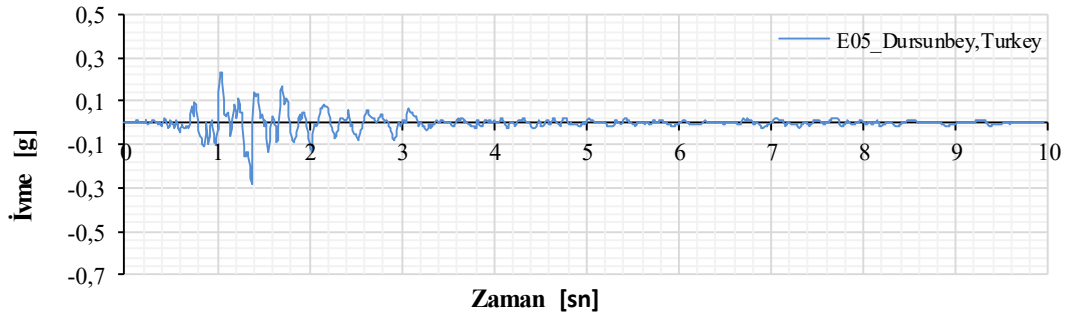
Şekil 3.12: E02_Mammoth Lake-09 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



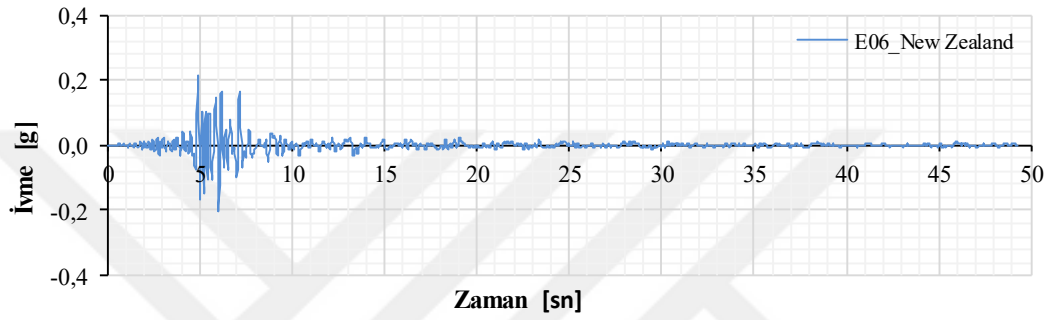
Şekil 3.13: E03_Morgan Hill depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



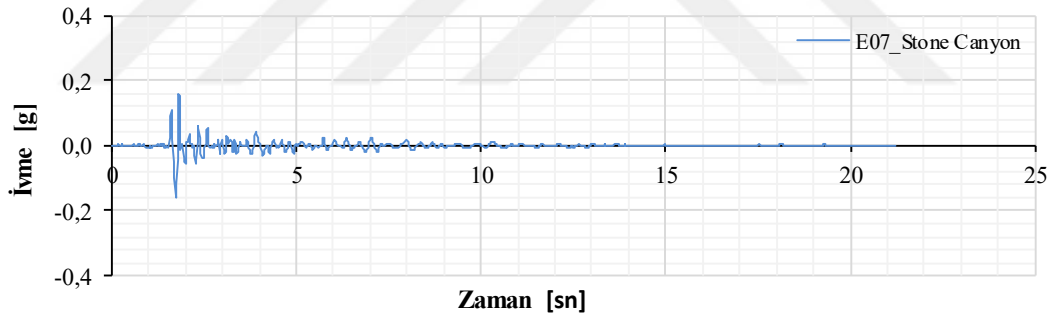
Şekil 3.14: E04_Victoria, Mexico depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



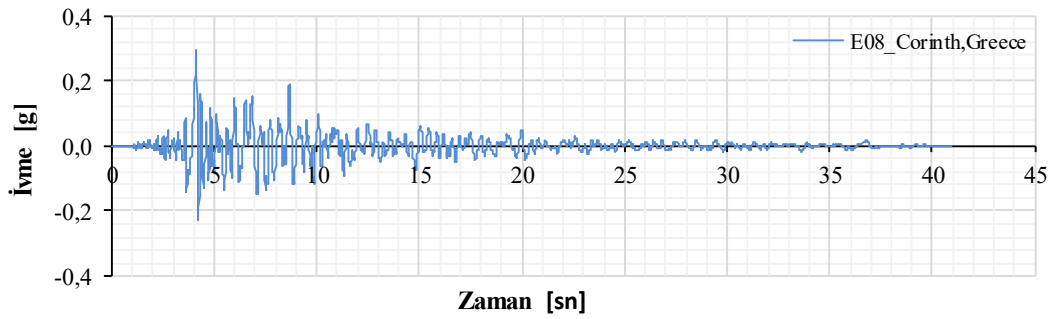
Şekil 3.15: E05_Dursunbey, Turkey depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



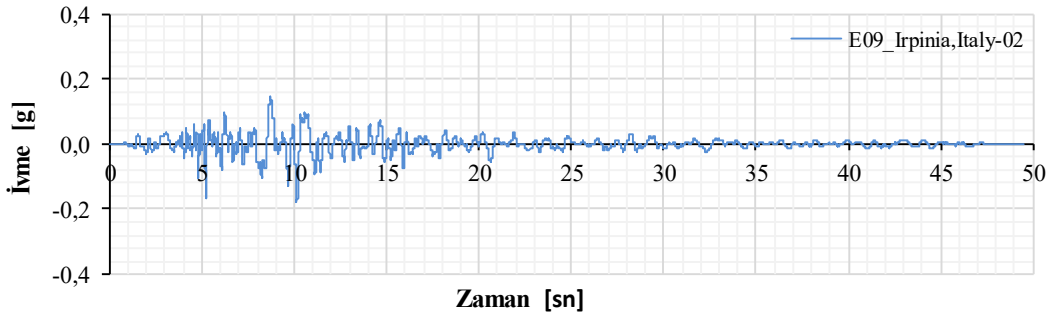
Şekil 3.16: E06_New Zealand depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



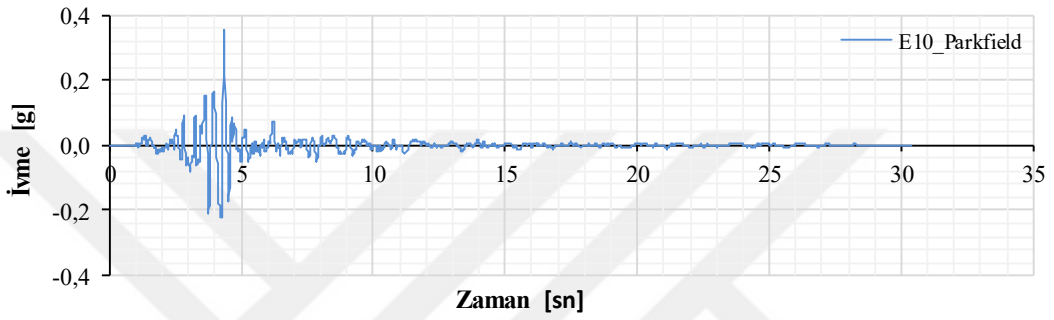
Şekil 3.17: E07_Stone Canyon depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



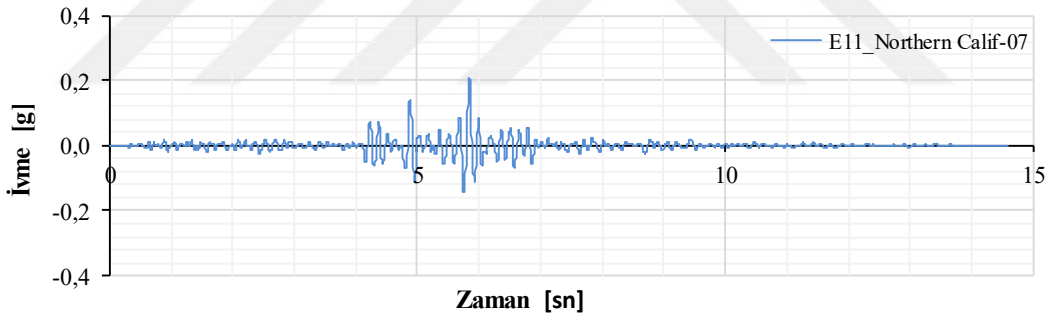
Şekil 3.18: E08_Corinth Greece depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



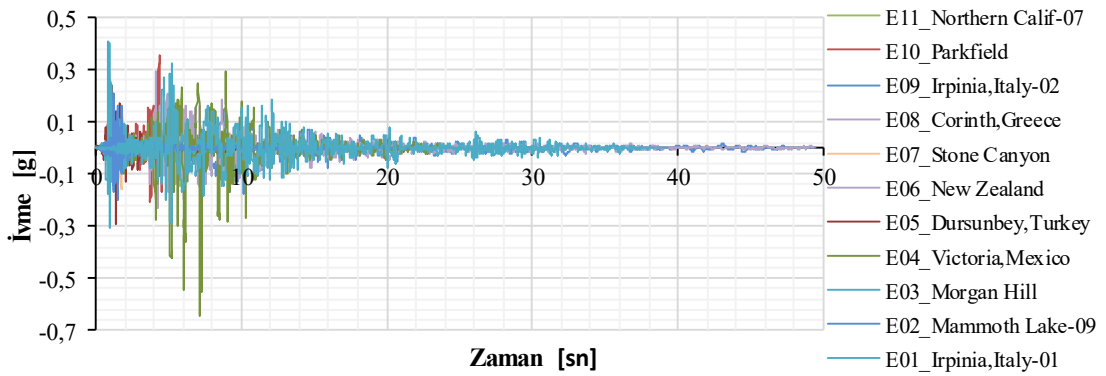
Şekil 3.19: E09_Irpinia, Italy-02 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.20: E10_Parkfield depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.21: E11_Northern Calif-07 depremi (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.22: Tüm deprem kayıtları (ölçeklendirilmemiş) ivme-zaman grafiği.

4. BULGULAR

Liman ve rıhtım yapısını oluşturan kazıklar, dolgu ve yapıya ait diğer unsurlar bu bölümde DD-1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek kayıtlar kullanılmak suretiyle nümerik olarak modellenmiştir.

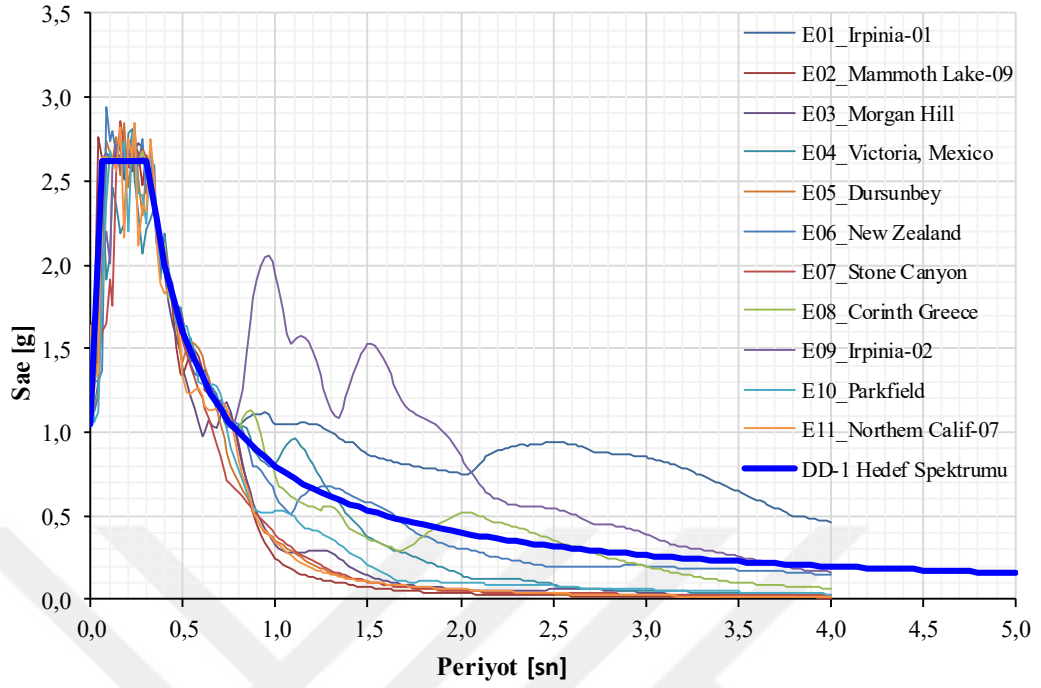
Bu bölümde ilk olarak, modelleme sırasında kullanılan deprem kayıtları ölçeklendirilmiş ve eşleştirilmiştir. Daha sonra kıyı ve liman yapısının tasarımının yapılması sırasında kullanılacak kayıtların etkisi, nümerik modelin oluşturulması sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler, ters evrişim özelliğinin tasarıma olan etkisi gibi faktörler, çok sayıda nümerik analiz yapılarak irdelenmiş ve en uygun metodun izlenmesi için değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu hassasiyet analizlerini ve değerlendirmeleri takiben ilk olarak, Vaka-1 başlığı altında liman ve rıhtım yapısı nümerik olarak modellenmiş ve DLH yönetmeliğine uygun olarak tasarımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DLH şartnamesine uygunluğu ortaya konularak tasarım sonuçlandırılmıştır. Daha sonra Vaka-2 başlığı altında boşaltma durumunu temsil eden kazıklı ve ankrajlı bir kazı destek sistemi modellenmiş, tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım ise Bölüm 2’de anlatılan Eurocode kriterlerine göre yapılmıştır.

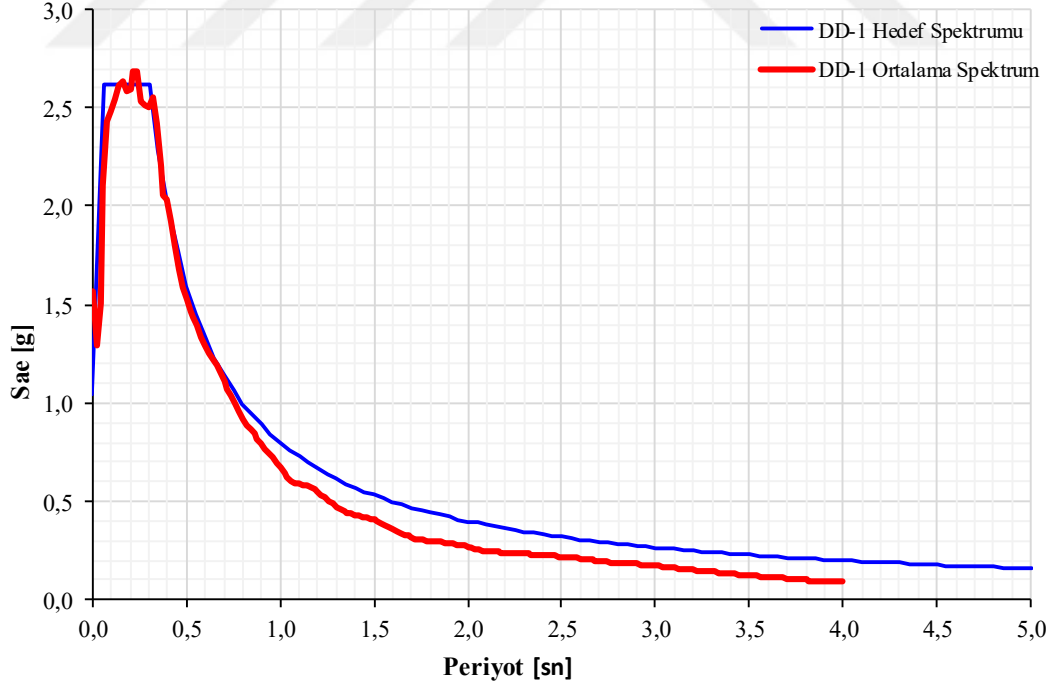
4.1. DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE EŞLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde kıyı ve liman yapısının tasarımının yapılması sırasında kullanılacak on bir kayıt önce Bölüm 2.2’de yer verilen hususlar dikkate alınarak seçilmiştir. Kriterlere uygun olarak seçilen bu on bir kayıt Bölüm 3.3’de gösterilmiştir. Bu kayıtlar bu bölümde Seismomatch yazılımı kullanılmak suretiyle ZC Zemin sınıfı için şartnameye uygun olarak oluşturulmuş hedef spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ve eşleştirilmiştir.

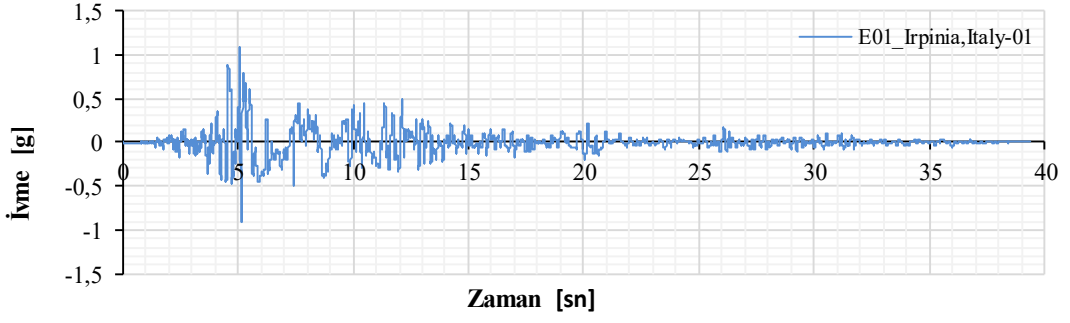
Şekil 4.1’de 11 kayıtın spektrum grafikleri ve hedef spektrum grafiği görülebilmektedir. Şekil 4.2’de ise 11 kayıtın ortalamasını veren spektrum ile hedef spektrum aynı anda gösterilmiştir. Bu şekilde görüleceği üzere ölçeklendirme ve eşleştirme yöntemiyle elde edilen sismik kayıtların ortalama spektrumu şartnamenin DD-1 tehlike durumu için ortaya koyduğu hedef spektrum ile yüksek oranda örtüşmektedir. Şekil 4.3 ile Şekil 4.14 arasında ölçeklendirilmiş kayıtların ivme zaman grafikleri gösterilmiştir.



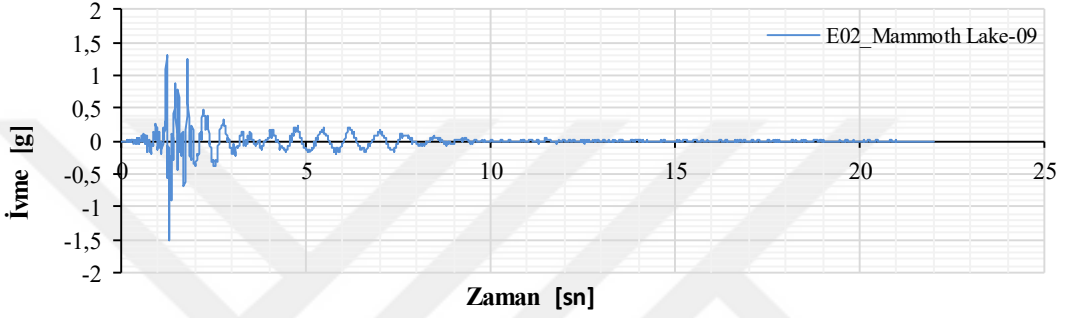
Şekil 4.1: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre ölçeklendirilmiş depremlere ait tüm depremlere ait spektrumlar ve hedef spektrum.



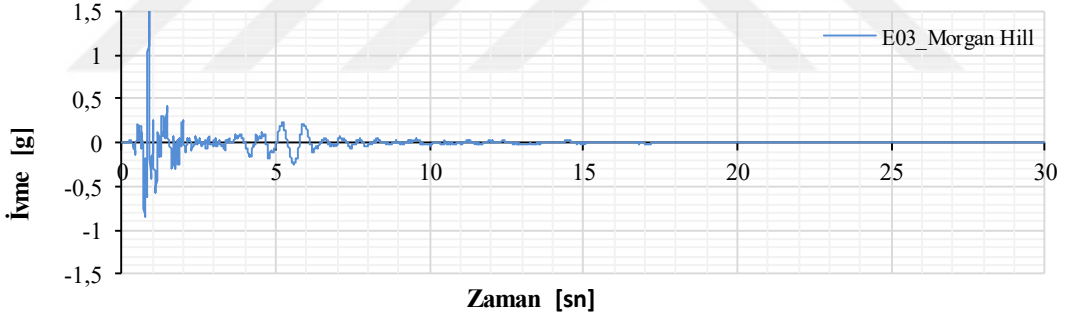
Şekil 4.2: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre ölçeklendirilmiş depremlere ait spektrumların ortalaması ve hedef spektrum.



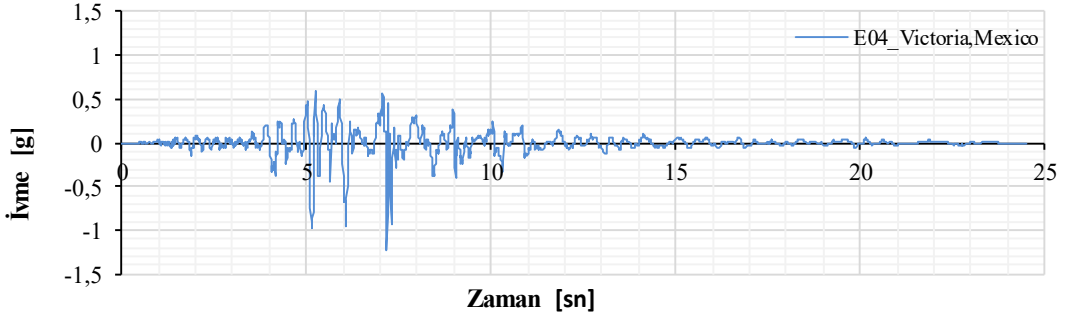
Şekil 4.3: E01_Irpinia, Italy-01 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



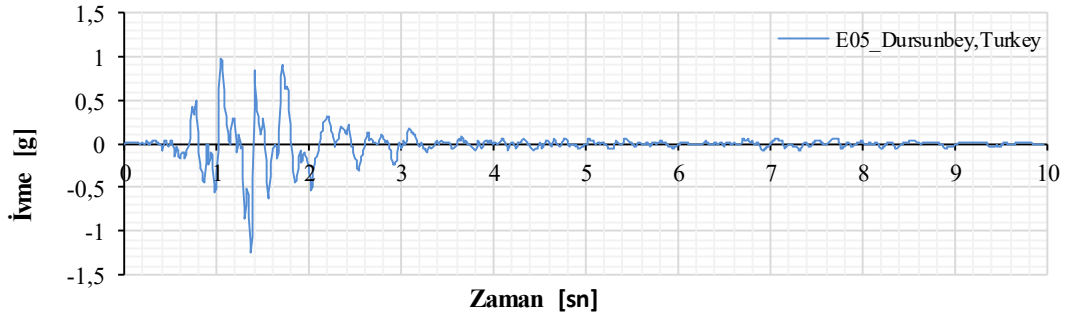
Şekil 4.4: E02_Mammoth Lake-09 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



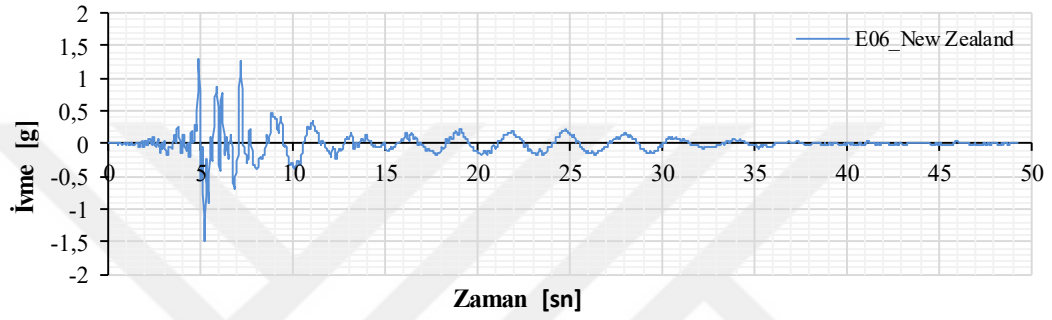
Şekil 4.5: E03_Morgan Hill depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



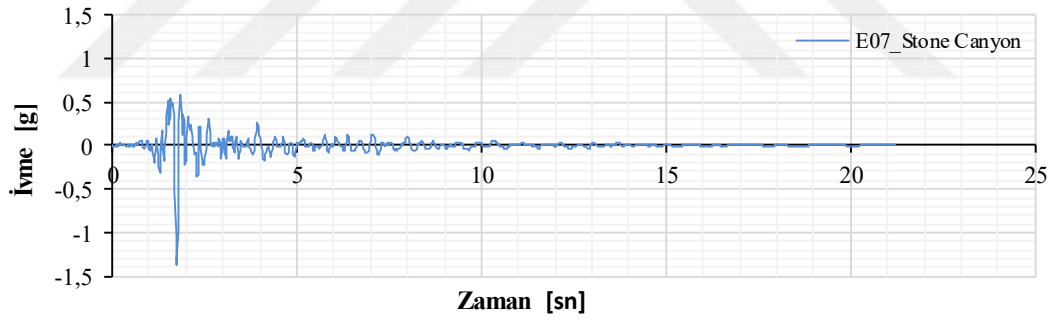
Şekil 4.6: E04_Victoria, Mexico depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



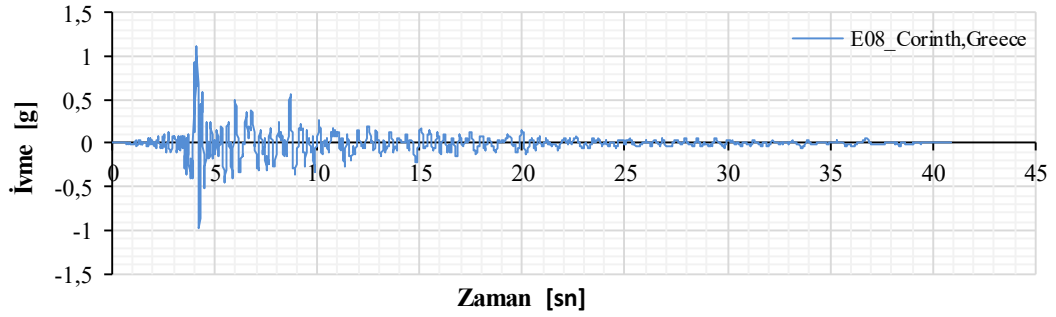
Şekil 4.7: E05_Dursunbey, Turkey depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



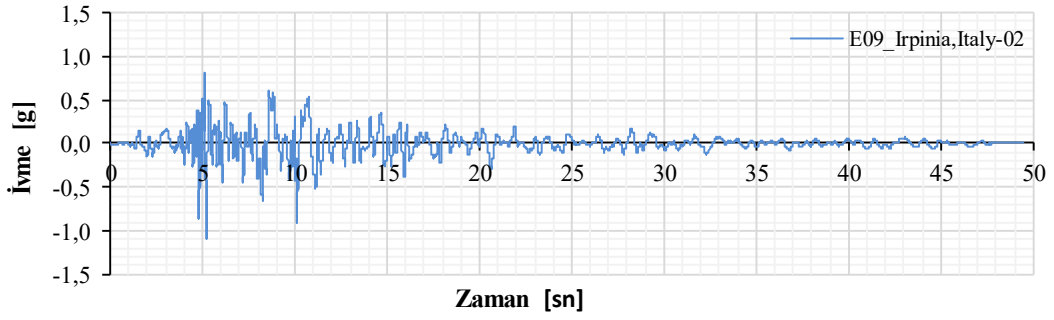
Şekil 4.8: E06_New Zealand depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



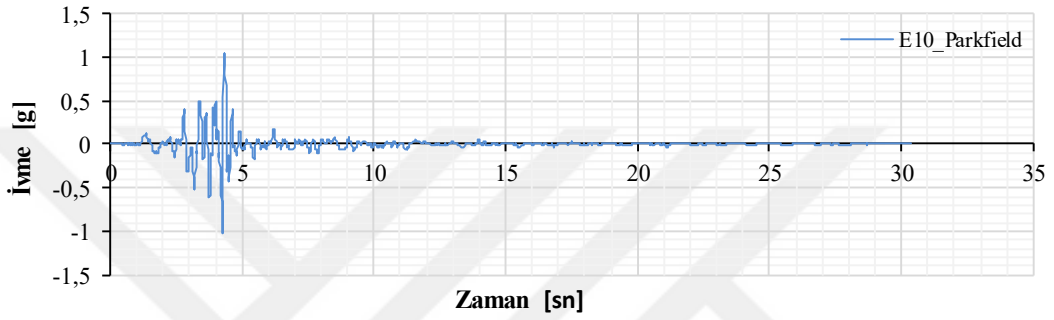
Şekil 4.9: E07_Stone Canyon depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



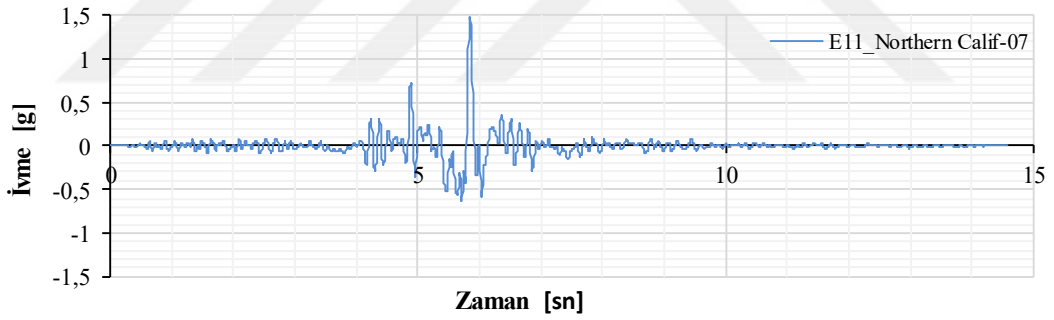
Şekil 4.10: E08_Corinth, Greece depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



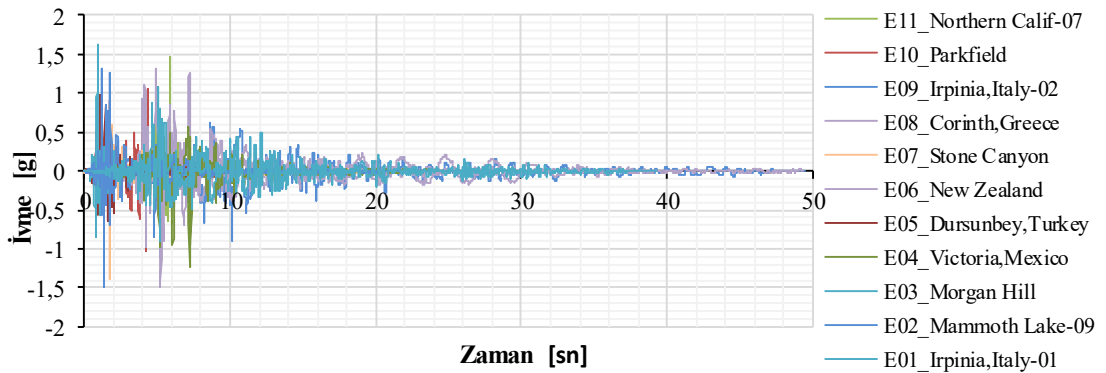
Şekil 4.11: E09_Irpinia, Italy-02 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.12: E10_Parkfield depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.13: E11_Northern Calif-07 depremi (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.14: Tüm deprem kayıtları (ölçeklendirilmiş) ivme-zaman grafiği.

4.2. FAKTÖRLERİN ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rıhtım ve liman yapısının Bölüm 2’de anlatılan yöntemlere göre tasarımı sırasında, en önemli konulardan bir tanesi de analizlerin yapılacağı nümerik modelin uygunluğudur. Zira bu uygunluk sağlanmadığı takdirde tasarım sonuçları güvenilir, doğru ve ekonomik olarak tanımlanamayacaktır.

Bu bölüm içerisinde nümerik model hazırlanırken analiz sonuçlarını direkt olarak etkileyen geometrik faktörler, kullanılacak kayıtların özellikleri, ters evrişim (dekonvolüsyon) ve spektrumlar ile ilgili konuları irdelenmiştir. Bu faktörlerin nümerik analizlerde ne şekilde kullanılması gerektiği ve hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Bu faktörlerin sayısal olarak değerlendirmesi yapılmış ve tasarıma etkileri ortaya konmuştur.

4.2.1. Geometrik Faktörler

Rıhtım yapısının nümerik olarak modellenmesi sırasında nümerik modelin sınır koşulları, kullanılacak ağ boyutu, model boyutu ile ilgili hassasiyet, dinamik model kalibrasyonu ve sönümlenme (damping) gibi özellikler tasarımın boyutlandırmasına direkt olarak etki eden faktörler olarak bilinmektedir. Bu bölümde sırası ile bu geometrik faktörler irdelenmiştir.

Geometrik faktörler irdelenirken gerek spektrum gerekse kesit tesirleri açısından 11 kayıtın ortalama değerini temsil eden “E06_New Zeland” isimli deprem kayıtları kullanılmıştır. Bölüm 4.2.3’te irdelenen dekonvolüsyon analizlerinde ise on bir kayıtın tamamı kullanılmıştır.

4.2.1.1 Nümerik Model Sınır Koşulları ve Ağ Boyutu

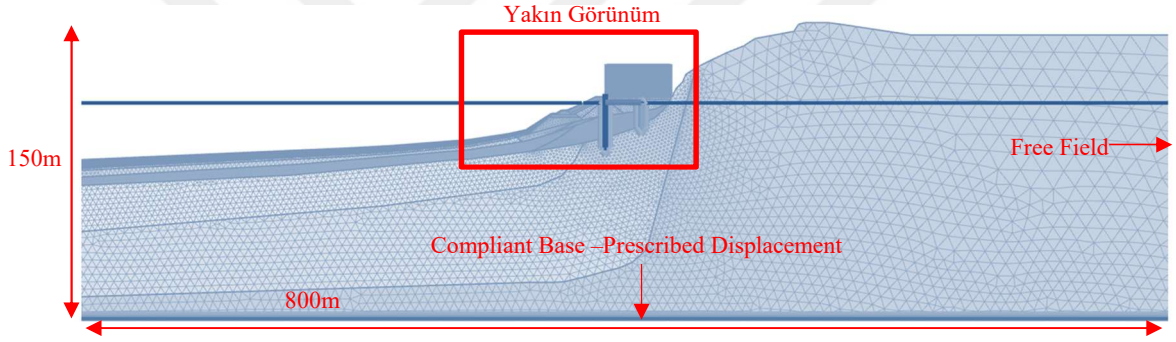
Plaxis yazılımında dinamik analizler için iki farklı model sınır koşulu tanımlanabilir. Bunlar, “Compliant Base” ve “Rigid Base” sınırlar koşullarıdır.

“Compliant Base” (stres alanı) sınır koşulu, yalnızca modelin tabanı (y_{min}) için kullanılabilir. “Compliant Base”, bir öngörülen yer değiştirme çizgisi ve gerilme alanı sınırı kombinasyonundan oluşmaktadır. Dahili olarak öngörülen yer değiştirme geçmişi bir yük geçmişine aktarılır. Yük geçmişi ve gerilme alanının birleşimi, gelen dalgaları emmeye devam ederken deprem hareketinin girişine izin verir. Bu seçenek genel olarak deprem analizi için tercih edilir. “Rigid Base” sınırı, giriş seviyesi için kesin bir tabakalaşma gerektirir. Analizlerin yapıldığı bölgede, Tüf net bir tabakalaşma ve bir ayrışma derecesi göstermemektedir. Bu

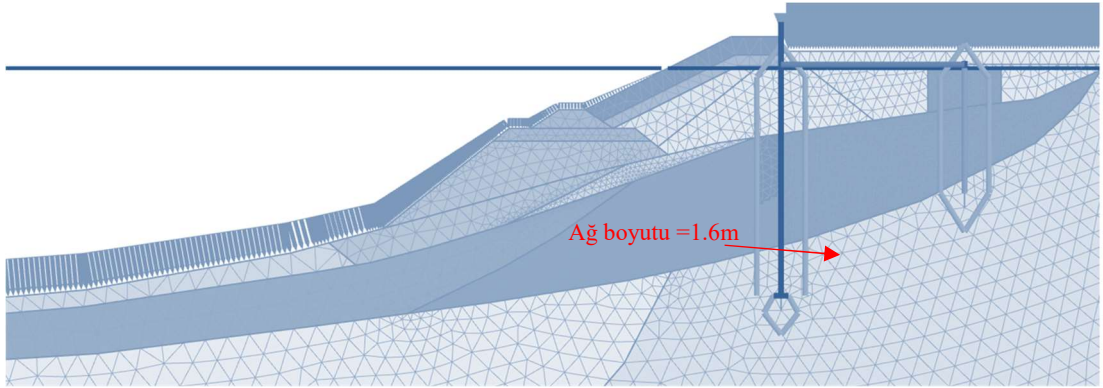
nedenle bu tez kapsamında Plaxis modelinde “Compliant Base”, sınırı kabul edilmiştir. Giriş seviyesi W2 veya W2-W3 ayrışma derecesi olarak seçilmiştir. Yanal sınırlar için “free field” sınırı kabul edildi.

Plaxis modeli 800 m yatay yön ve 150 m dikey yön olarak kabul edildi. Bu nedenle, L / H oranı yaklaşık 5.5'tir. Yanal sınırlar için serbest alan sınırı kabul edildi (Şekil 4.15).

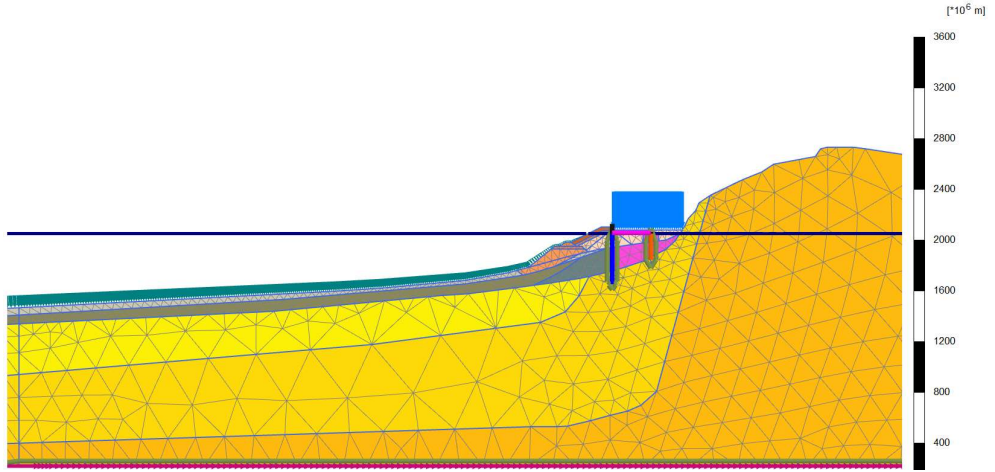
Bu bölümde üç farklı ağ boyutu kullanarak nümerik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu geometriler oluşturulurken en hassas ağ boyutunun Denklem 3.1’de belirtilen yaklaşıma uygun seçilmesine dikkat edilmiştir. Bu durum da modelde yaklaşık 1,5-2m aralığına denk gelen ağ boyutu anlamına gelmektedir. Hassasiyet analizleri yapabilmek için diğer iki modelde ise yaklaşık 4.5m ve 7m yüksekliklerinde ağ boyutları seçilmiş ve sonuçları incelenmiştir.



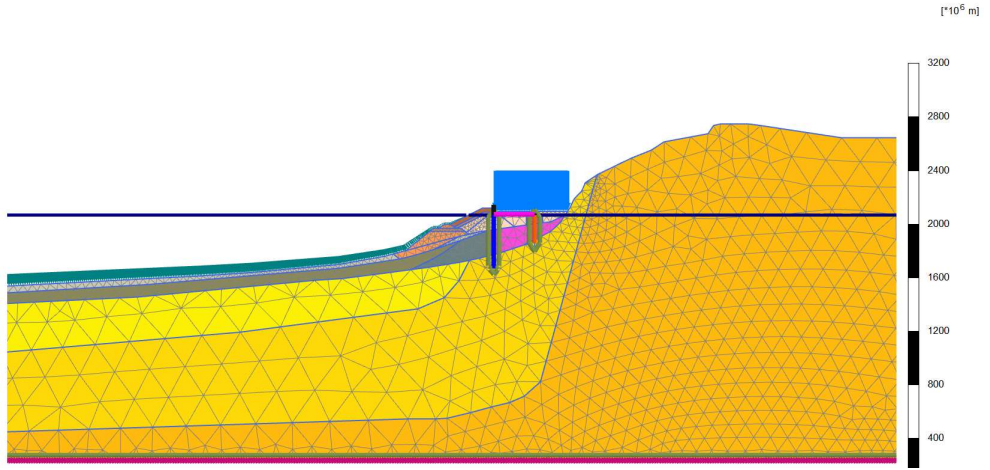
Şekil 4.15: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü.



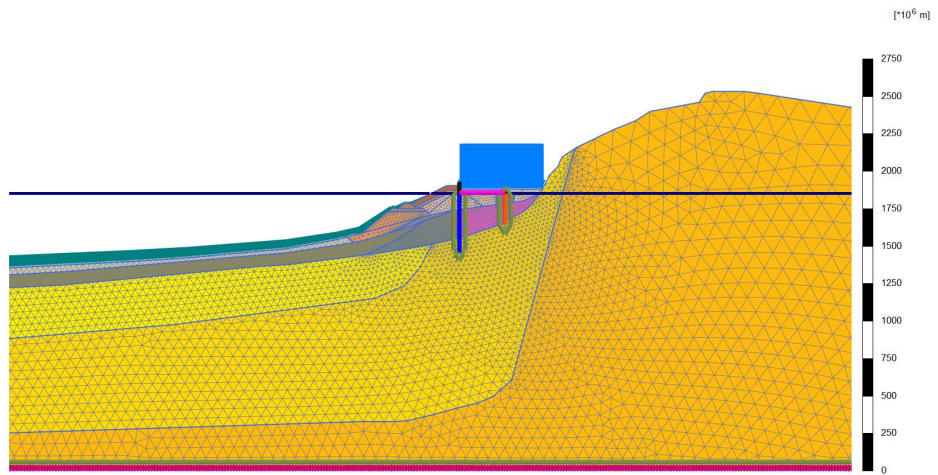
Şekil 4.16: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (yakın görünüm).



Şekil 4.17: Ağ boyutu =6.82m (E06_New Zealand depremi).

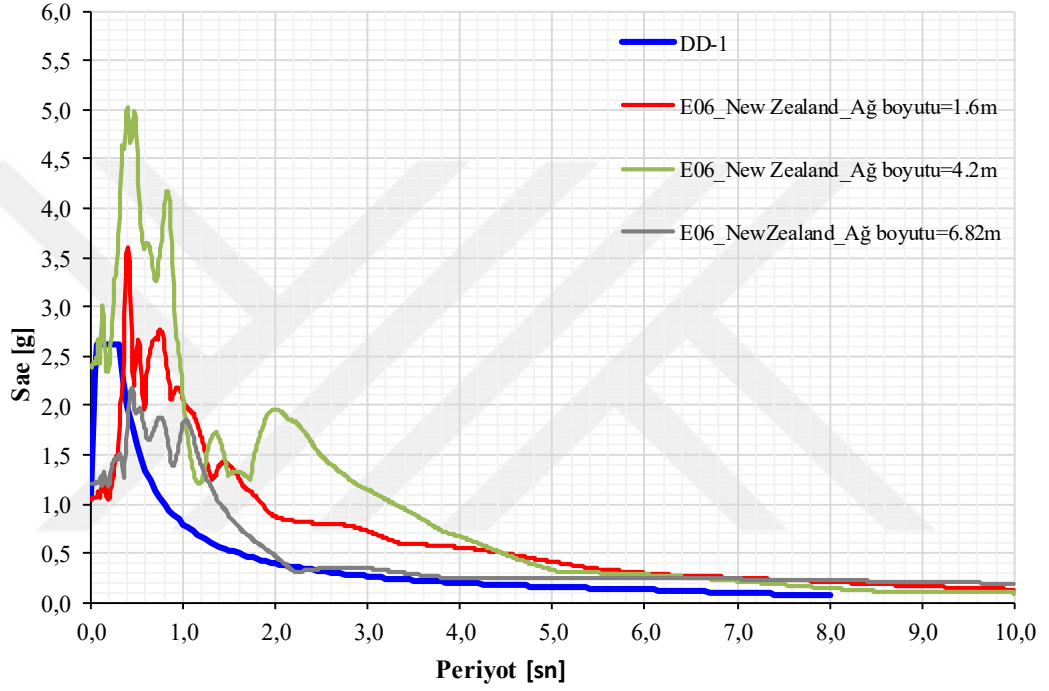


Şekil 4.18: Ağ boyutu =4.2m (E06_New Zealand depremi).



Şekil 4.19: Ağ boyutu =1.6m (E06_New Zealand depremi).

Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da 3 farklı ağ boyutu için (sırası ile ağ boyutları 6.8m, 4.2m, 1.6m) oluşturulan model geometrileri gösterilmiştir. Bu ağ boyutları ile yapılan analizler neticesinde ağ boyutunun 1.6m olduğu durumda oluşan spektrum hedef spektrum ile oldukça benzerlik göstermektedir (Şekil 4.20). Aynı şekilde diğer iki ağ boyutu ile yapılan analizlerde sonuçların spektrum değerlerinin hedef spektrumdan oldukça farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

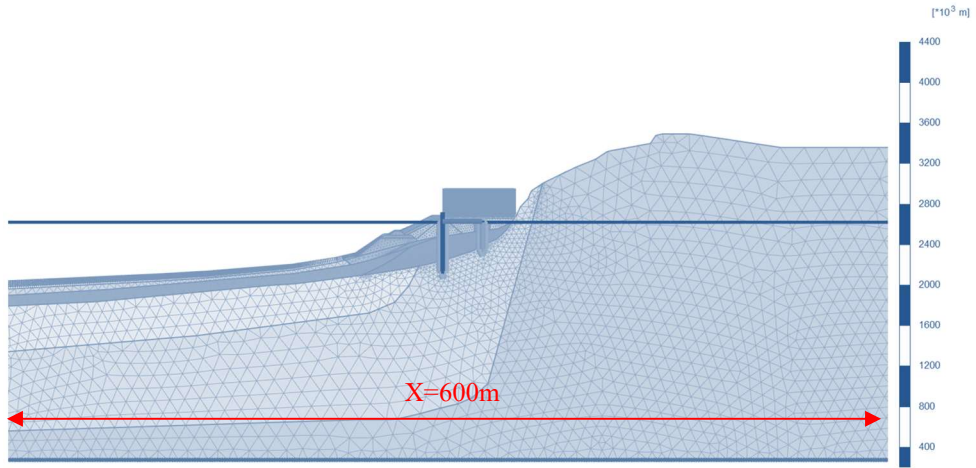


Şekil 4.20: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Ağ boyutu=6.82m, 4.2m, 1.6m).

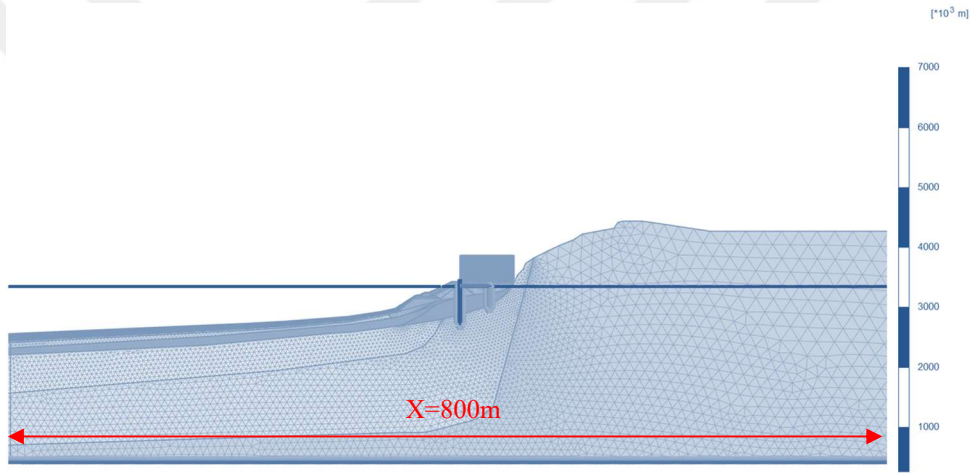
4.2.1.2 Model Geometrisi Hassasiyeti

Bu bölümde, L/H oranının sonuçlar üzerindeki etkisini anlamak için çeşitli analizler yapılmıştır. Bu nedenle karşılaştırmalarda 3 model benimsenmiştir. Bunlar sırası ile 600m genişlik, 800m genişlik ve 1000m genişlik olarak tespit edilmiştir.

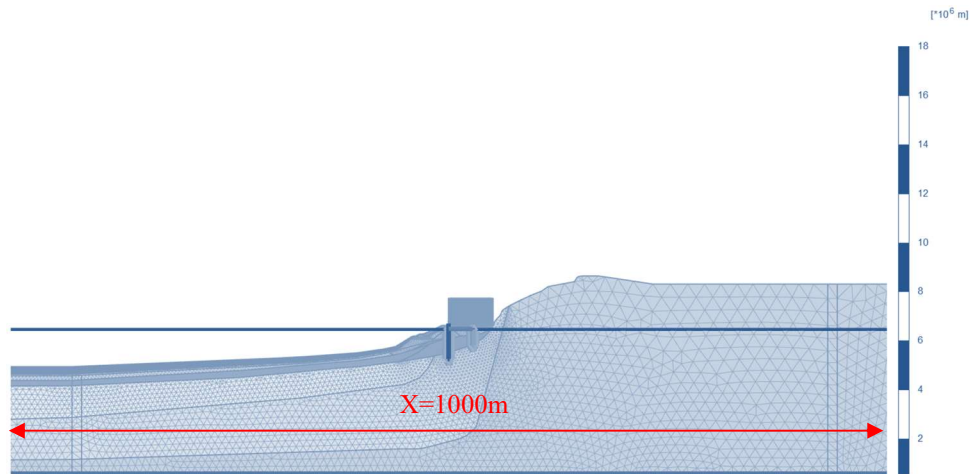
Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de model genişliklerinin sırası ile 600m, 800m ve 1000m olduğu durumların nümerik analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Her üç analizin sonuçları ayrıca spektrum açısından Şekil 4.24’de ortaya konmuştur.



Şekil 4.21: Deformasyon mesh - genişlik=600m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



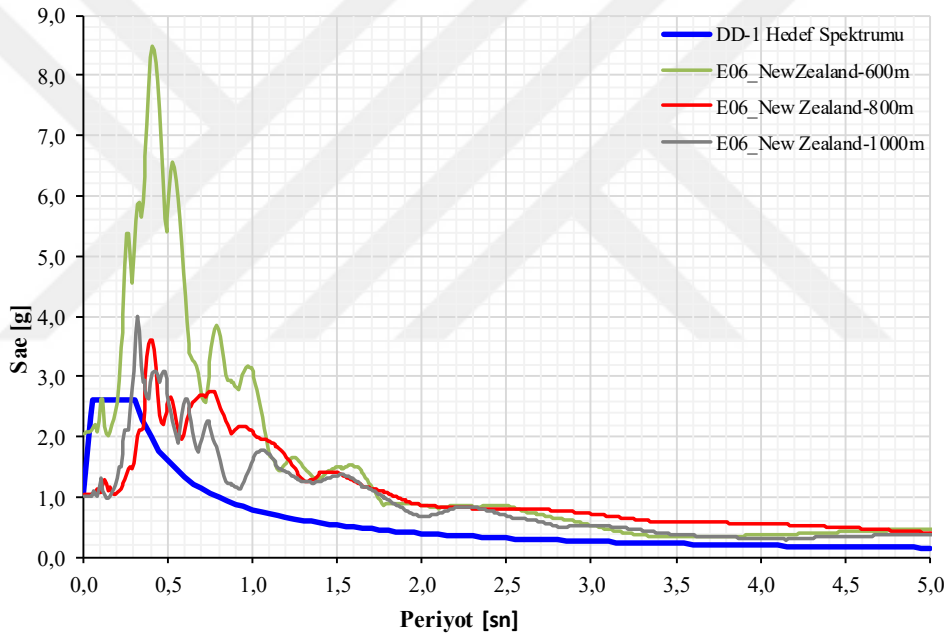
Şekil 4.22: Deformasyon mesh- genişlik=800m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.23: Deformasyon mesh- genişlik=1000m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).

Spektrum açısından incelendiğinde genişliğin 800m ve üzerinde olduğu durumlarda spektrumun değişmediği ve hedef spektrumun davranışına çok benzediği görülmektedir. Genişliğin daha az olduğu analizde ise spektrumun hedef spektrumdan oldukça uzakta bir davranış sergilediği ve sağlıklı sonuç vermediği görülmüştür.

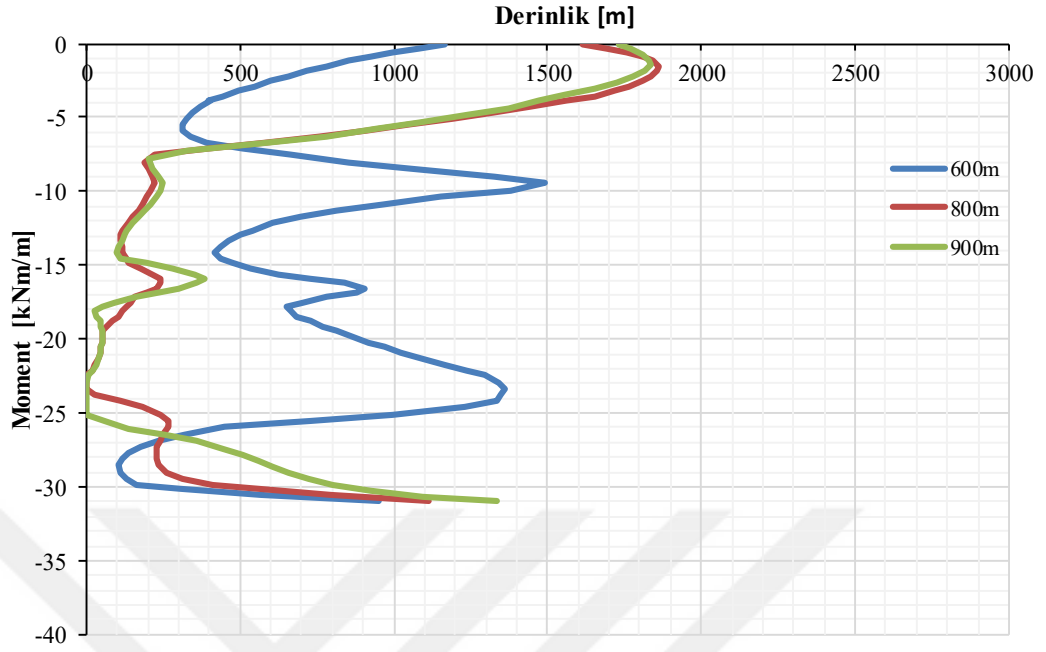
Benzer şekilde model içerisinde yer alan yapısal unsurlar ve deformasyonlar açısından analizler incelendiğinde ise 800m ve 1000m genişlik neticesinde elde edilen sonuçlar (Tablo 4.1, Şekil 4.25-Şekil 4.29 arası) birbirine oldukça benzerken, 600m seviyesinde bulunan kesit tesirlerinde pozitif ve negatif yönde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Özellikle spektrum açısından hedef spektruma yaklaşmayan model için 600m genişliğin yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.



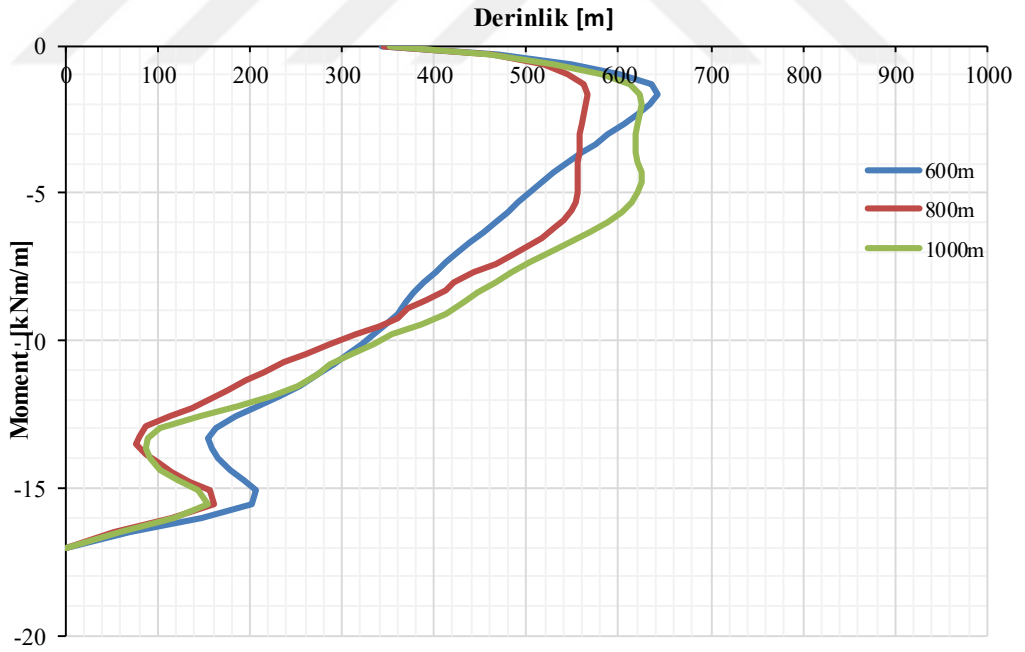
Şekil 4.24: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Genişlik=600-800-1000m).

Tablo 4.1: Plaxis 2D analiz özet sonuçları.

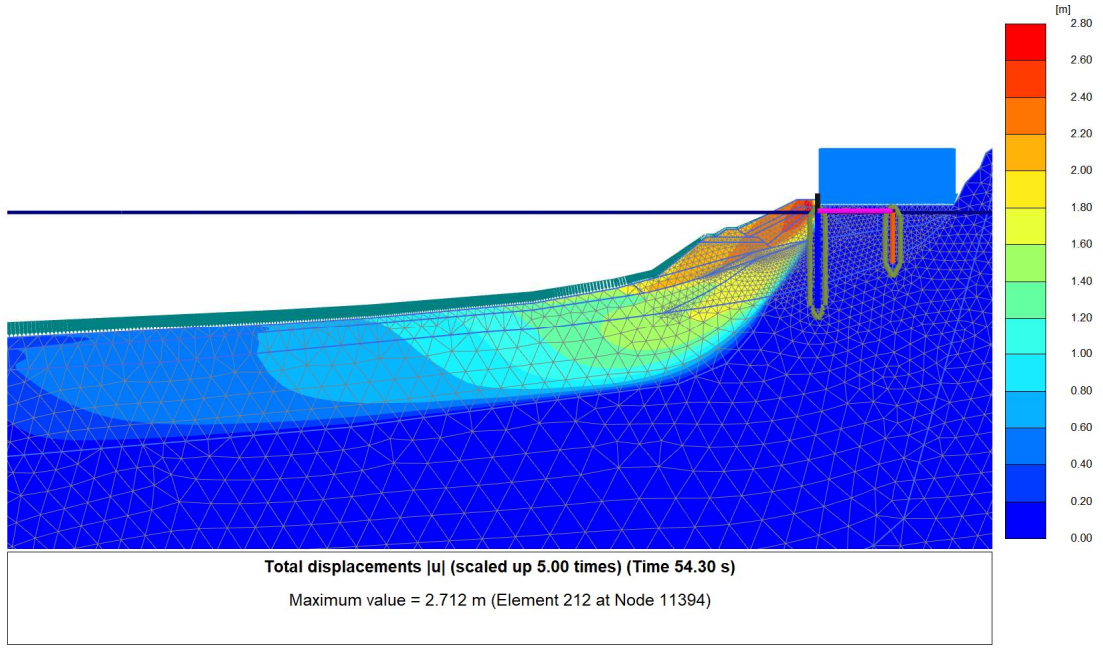
Model Genişlik	Toplam depl.		Ön Kazık			Arka Kazık			Tie-Rod	
	u	Yatay depl.(ux)	N	V	M	Yatay depl.(ux)	N	V	M	N,max
	m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	kN/m
600	2,71	13,68	-3363	1127	1490	7,95	-1019	716,3	641,3	2289,9
800	2,09	18,19	-3358	1029	1860	11,77	-1190	661,6	565,3	2157,9
1000	2,76	19,04	-3391	1098	1837	12,07	-1086	693,8	625,2	2104,3



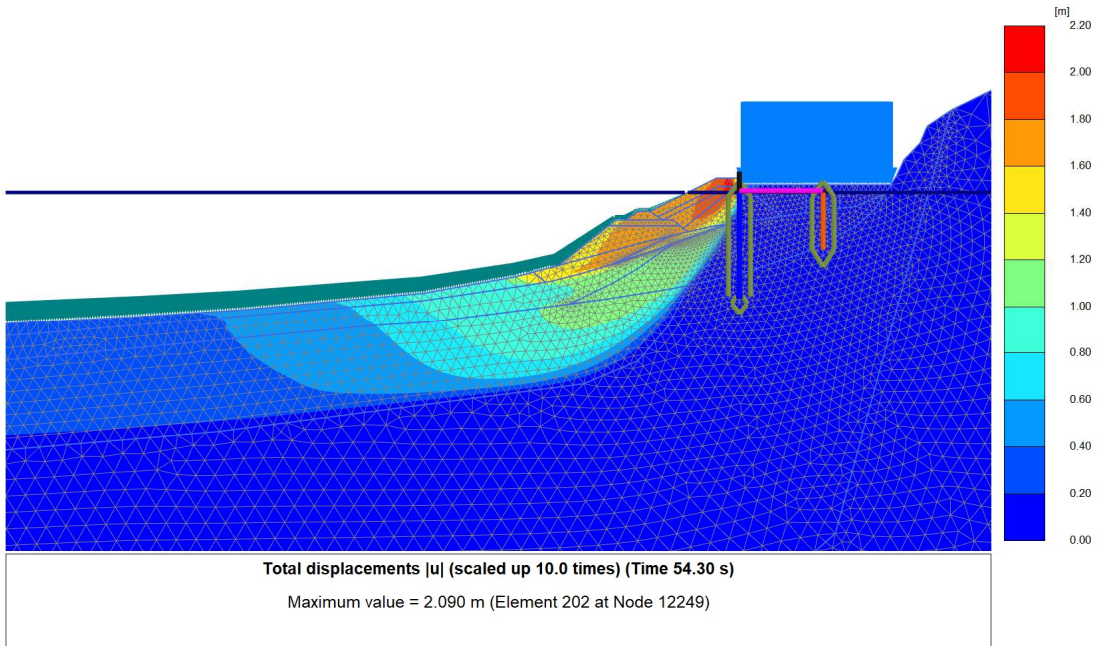
Şekil 4.25: Moment-Derinlik Grafiği, Ön Kazık (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



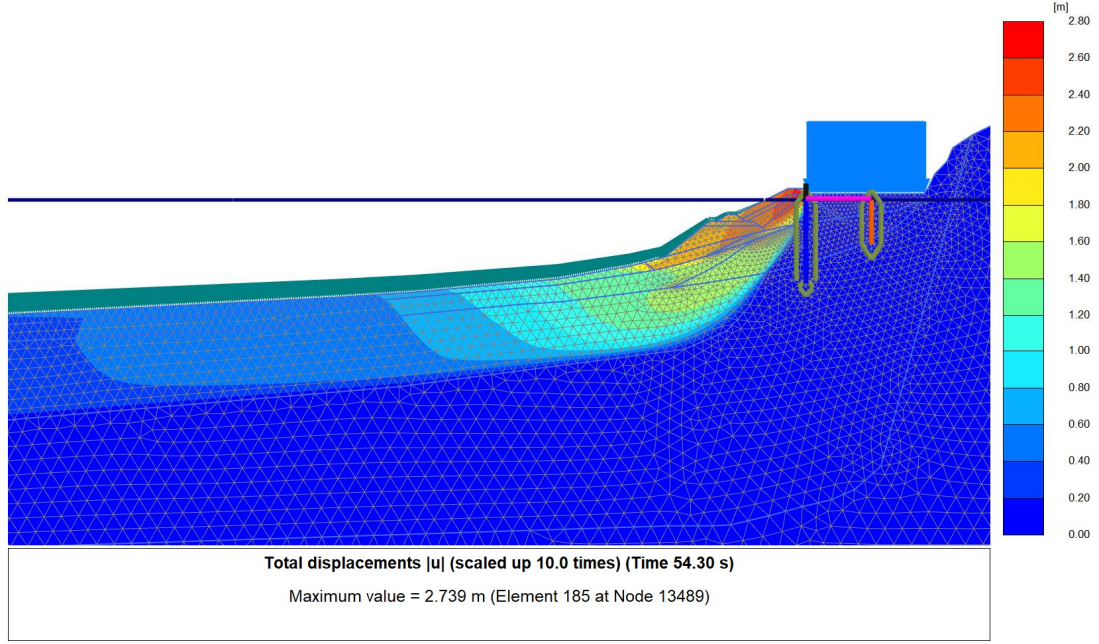
Şekil 4.26: Moment-Derinlik Grafiği, Arka Kazık (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.27: Toplam deplasman- genişlik=600m model, (DD-1 E06 _New Zealand Depremi).



Şekil 4.28: Toplam deplasman- genişlik=800m model, (DD-1 E06 _New Zealand Depremi).



Şekil 4.29: Toplam deplasman- genişlik=1000m model, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).

4.2.1.3 Dinamik Model Kalibrasyonu

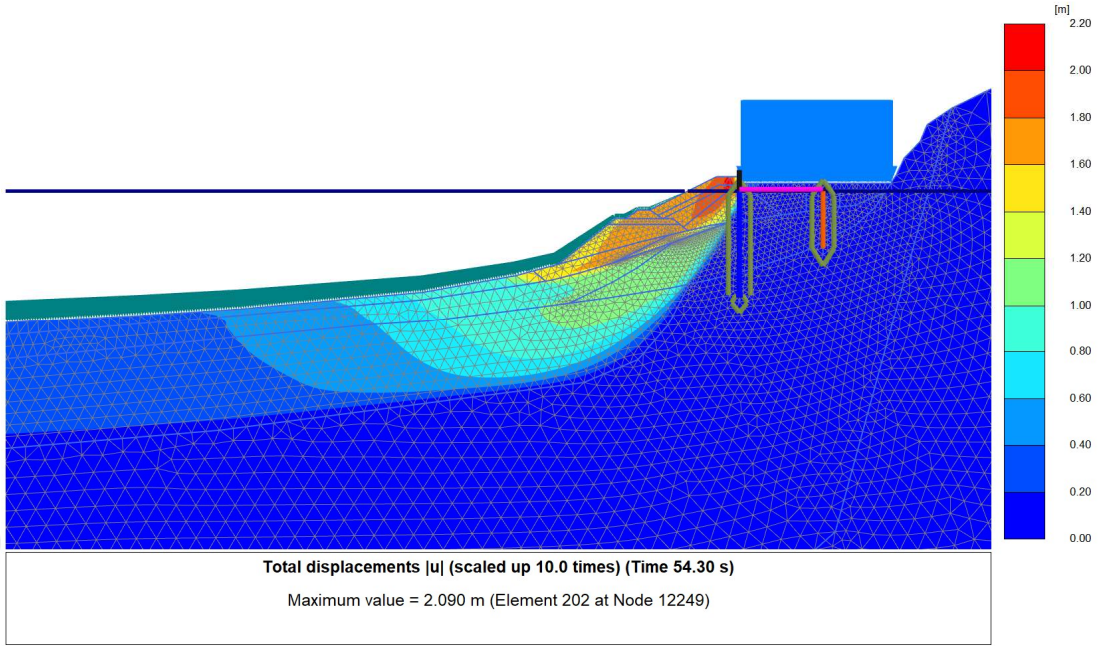
Zaman ortamında yapılan analizlerde Plaxis dinamik zaman adımları “ δt ” aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\delta t = \frac{\Delta t}{m \times n} \quad (4.1)$$

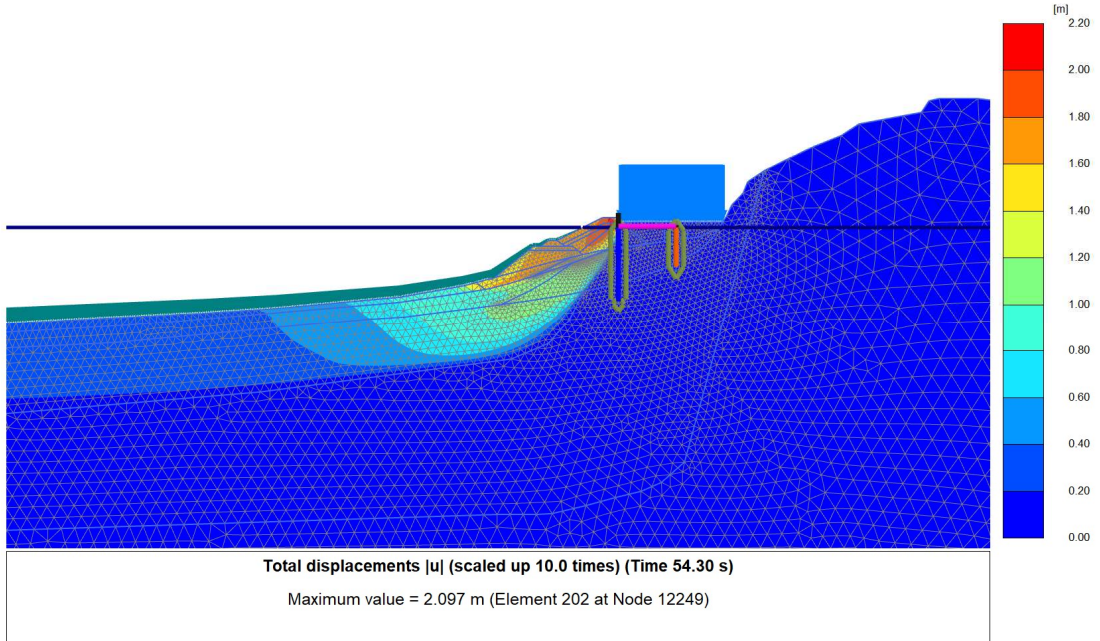
Burada, m maksimum adım sayısı, n ara adımların sayısı, Δt ise deprem zaman aralıklarını ifade eder.

Bu bölümde “E06_New Zealand” isimli deprem kayıtları kullanılmak üzere dinamik zaman adımları “ δt ” hassasiyeti artırılarak üç adet analiz yapılmıştır. Dinamik zaman adımı ilk olarak 0.02, daha sonra 0.01 ve nihai olarak 0.002 olarak seçilmiş ve analiz sonuçlarındaki etkileri incelenmiştir.

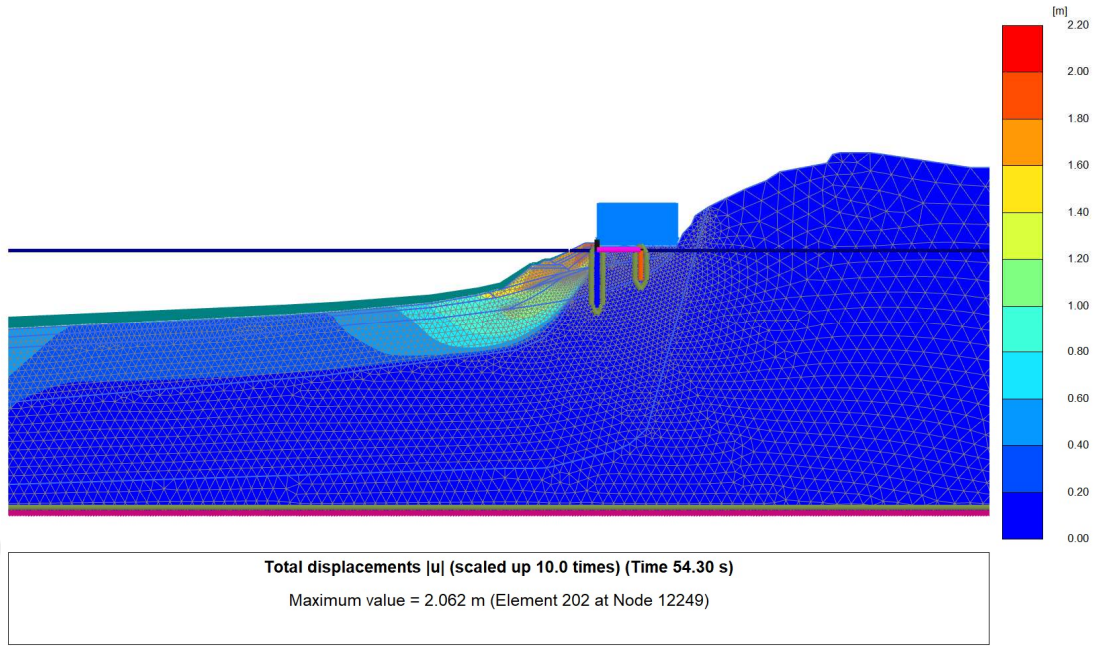
Elde edilen sonuçlara (Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32) göre dinamik zaman adımlarının her üç analiz tipinde de benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Burada hassasiyet seviyesinin artırılması analiz sürelerinin oldukça uzatırken sonuçlarda kayda değer bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.33, Tablo 4.2).



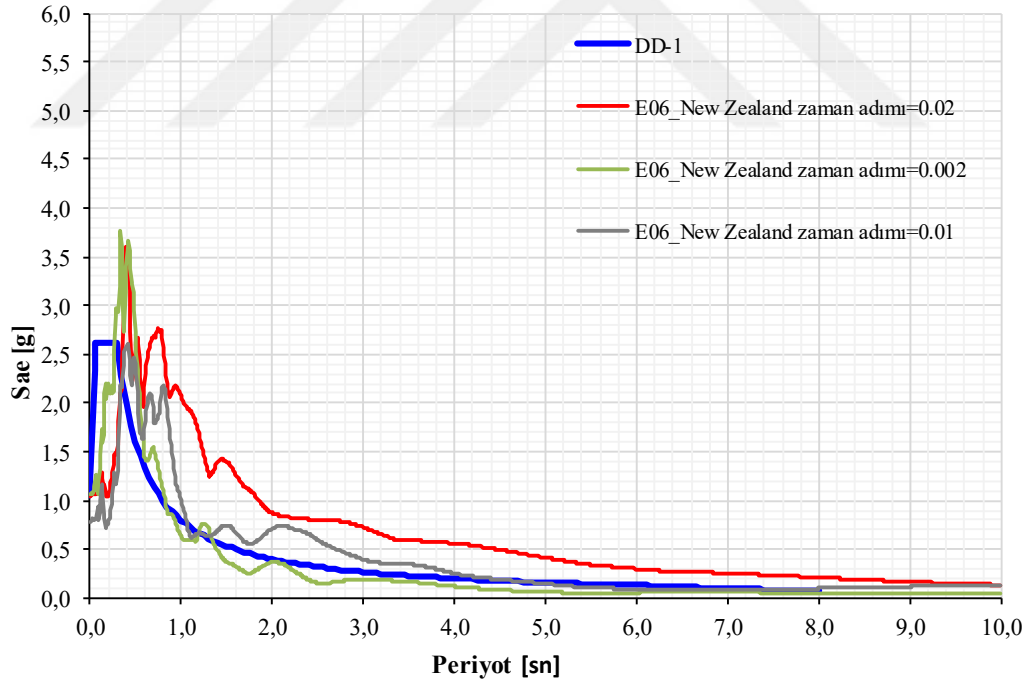
Şekil 4.30: Dinamik zaman adımı 0.02 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.31: Dinamik zaman adımı 0.01 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.32: Dinamik zaman adımı 0.002 modeli, (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.33: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E06_New Zealand depremine ait spektrum ve hedef spektrum (Zaman adımı=0.02-0.01-0.002m).

Tablo 4.2: Plaxis 2D analiz özet sonuçları.

Dinamik zaman adımları	Toplam depl.	Ön Kazık			Arka Kazık			Tie-Rod		
	u	Yatay depl. (ux)	N	V	M	Yatay depl. (ux)	N	V	M	N,max
	m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	kN/m
0.02	2,090	18,19	-3358	1029	1860	11,77	-1190	661,6	565,3	2369,1
0.01	2,097	18,16	-3447	960,4	1876	11,53	-1223	627	588,1	2354,6
0.002	2,062	17,81	-3507	1058	1788	11,15	-1214	648	583,4	2383,6

4.2.2. Kayıt Özellikleri

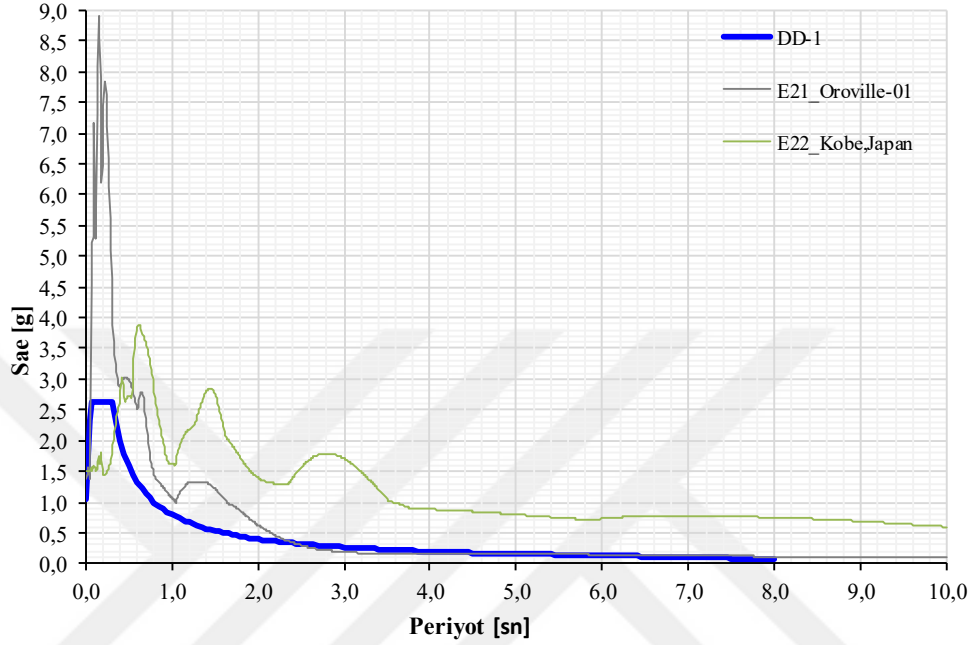
Bu bölümde analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının özelliklerinin analiz sonuçlarına etkisi irdelenecektir. Bölüm 2.2’de depremlerin seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir. Ancak bu konunun nümerik analizler yardımı ile detaylandırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak ölçeklendirme faktörü 4 değerinden daha büyük bir kayıt seçilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. İkinci olarak ise V_s hızı çalışmanın yapıldığı zemin yapısından farklı bir tipte deprem kaydı seçilmiştir. Bu kayıtların karakteristik özellikleri Tablo 4.3’te özetlenmiştir.

Tablo 4.3: Seçilen deprem kayıtlarının hedef PGA değerine göre ölçeklenmesi.

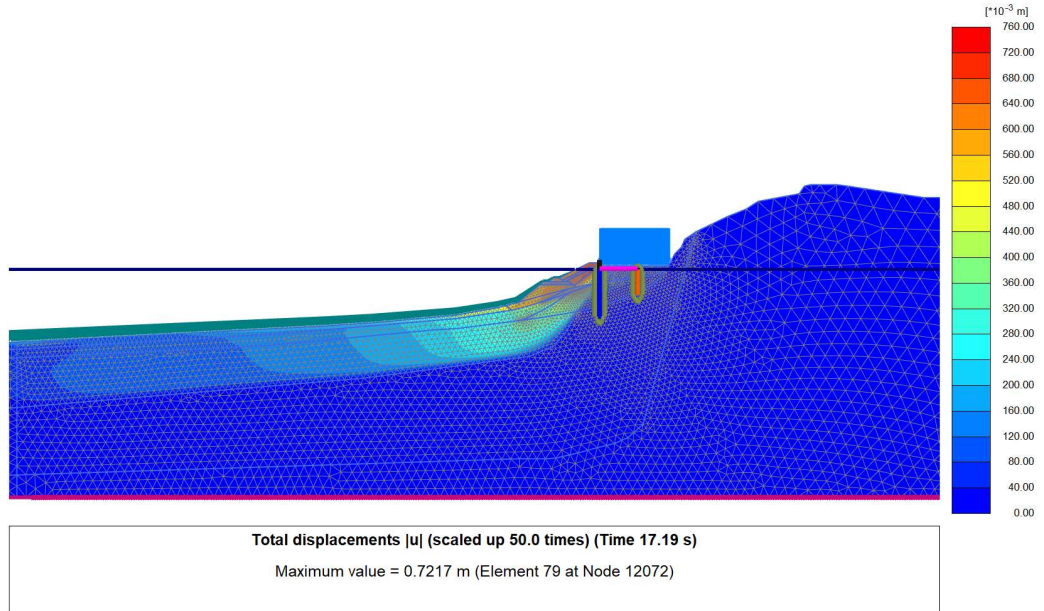
EQ No	Kayıt Numarası	Deprem İsmi	Yıl	Manyitüd	Fay Tipi	V_s (m/s)	PGA (g)	Hedef PGA	Ölçek Oranı
E21	106	Oroville.01	1975	5,89	N	680,4	0,088	0,869	9,853
E22	1120	Kobe, Japan	1995	6,90	SS	256	0,671	0,869	1,295

Bu kayıtlar kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Analizlerden elde edilen her iki deprem kaydına ait spektrum grafikleri Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Buna göre çalışmanın yapıldığı bölgedeki karakteristik özellikleri yansıtmayan kayıtlar ve ölçekleme faktörü yüksek olan kayıtlar spektrum grafikleri hedef spektruma oranla oldukça farklı bir görüntü çizmektedir.

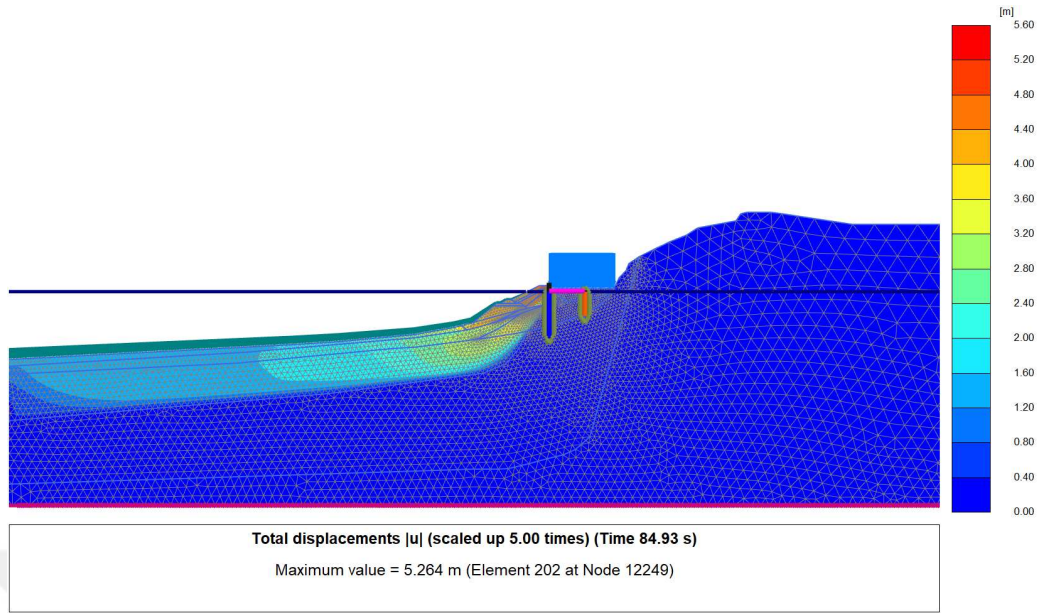
Bu durumda kayıtların seçilirken özellikle çalışmanın yapılacağı bölgedeki geçmiş depremlerin karakteristiklerine benzer olması ve ölçekleme faktörünün uygun olduğu kayıtların seçiliyor olmasının gerekliliği ortaya konmuştur.



Şekil 4.34: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre E21_Oroville-01 ve E22 Kobe, Japan depremlerine ait spektrum ve hedef spektrum.



Şekil 4.35: Toplam Deplasman- DD-1 deprem seviyesine göre E21_Oroville-01.



Şekil 4.36: Toplam Deplasman- DD-1 deprem seviyesine göre E22_Kobe, Japan

4.2.3. Ters Evrişim (Dekonvolüsyon)

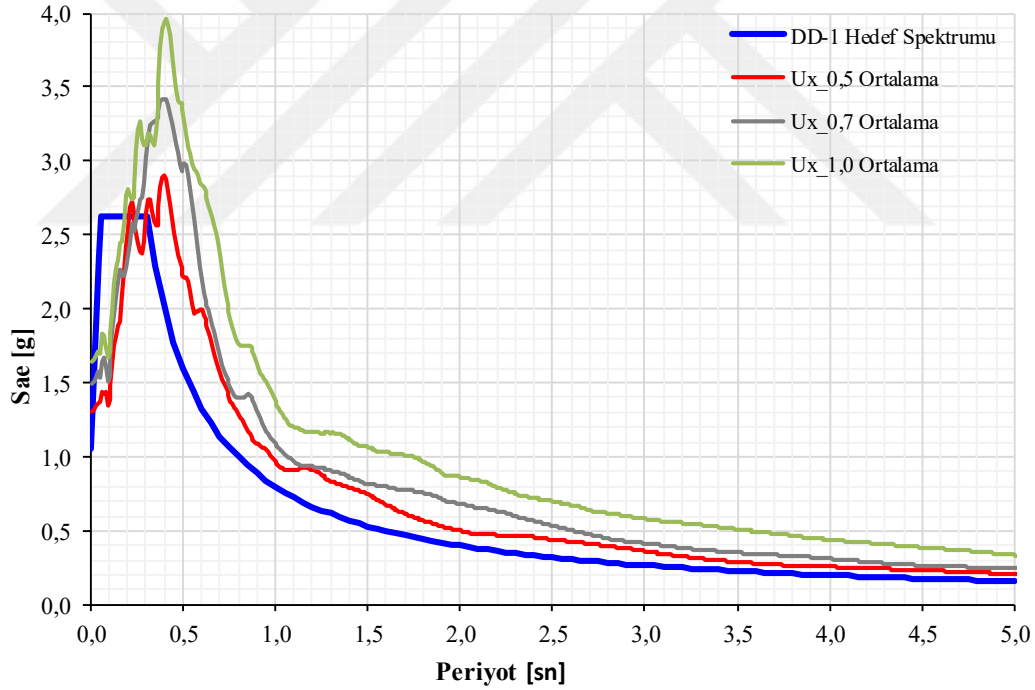
Kıyı ve liman yapılarının performansa göre tasarımı deprem kayıtlarının kullanılması esasına dayanmaktadır. Kayıtların seçimi ulusal ve uluslararası şartnamelerde belirtilmiştir. Kayıtların nümerik analizlere dâhil edilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken (nümerik model geometrisi, kayıtların uygun şekilde seçimi, spektrum dağılımı vb.) birçok unsur bulunmaktadır. Bunların içerisinde en önemli konulardan bir tanesi de ters evrişim (dekonvolüsyon) etkisidir.

Literatüre göre, eşdeğer doğrusal yaklaşım, doğrusal analizden yararlandığından, herhangi bir noktadaki bir tepki başka herhangi bir noktadaki tepki ile ilişkilendirilebilir. Bir başka deyişle, yüzey (outcrop) kayıtları, nümerik analizlerde model tabanından verilmeden önce, cihazın yüzeye yakın olmasından etkilenen dalga yayılımı ve bazen de buna eklenen zemin büyütme etkisini dikkate alacak şekilde dönüştürülmelidir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar analizlerinde kayıt “compliant base” olarak tanımlanmış sınırdan verilecekse ve yüzey kaydı ise yansıyan dalgalarının etkisi nedeniyle 0.5 katsayısı ile çarpıldıktan sonra kullanılması önerilmektedir.

Bu bölümde farklı tabakalanma koşullarında on bir kayıt verilerek ve zemin yüzeyinde elde edilen ivme spektrumları kontrol edilerek ters evrişim katsayısının nasıl değiştiği parametrik olarak incelenmiştir. Bu işlem yapılırken ters evrişim katsayısı ilk olarak 1.0 seçilmiş, daha sonra bu katsayı 0.7 olarak denenmiş ve son olarak da 0.5 katsayısı kullanılarak onbir kayıt üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

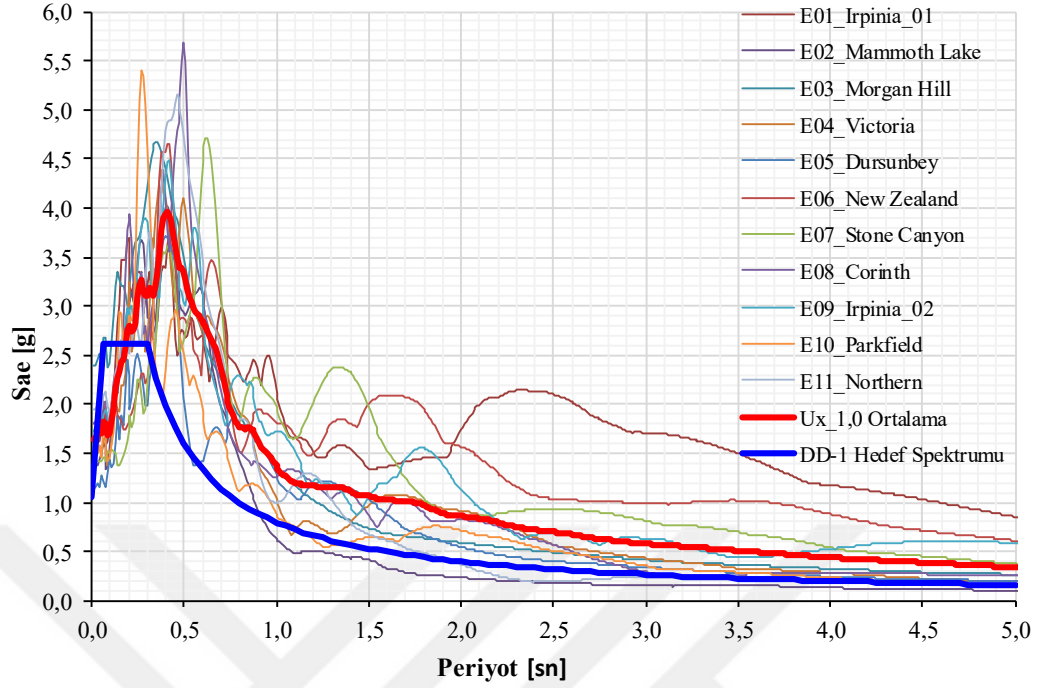
Yapı nümerik modelinde tabandan üç farklı ters evrişim katsayısı için on bir farklı deprem kaydı uygulanmış, kazıklı sistem ve çevresindeki deplasmanlar ile kazıklarda kesit tesirleri elde edilmiştir. Bununla beraber, sisteme etkiyen ivme spektrumları belirlenerek, şartnamelerde ortaya konan hedef spektrumlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar neticesinde ters evrişimin geoteknik tasarıma olan etkisinin yanı sıra, rıhtımın yapısal elemanlarının boyutlarına ve etkisi ortaya konmuştur.

Bu bağlamda analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.37) dekonvolüsyon katsayısı olarak seçilen 0.5 katsayısının kullanılması suretiyle elde edilen on bir kayıta ait ortalama çıktı spektrumunun hedef spektrumla oldukça uygun şekilde örtüştüğü görülmektedir. Diğer katsayılar 0.7 ve 1.0 değerleri ise büyüklükleri ile doğru orantılı olarak hedef spektrumuna oranla daha büyük spektrum grafiklerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

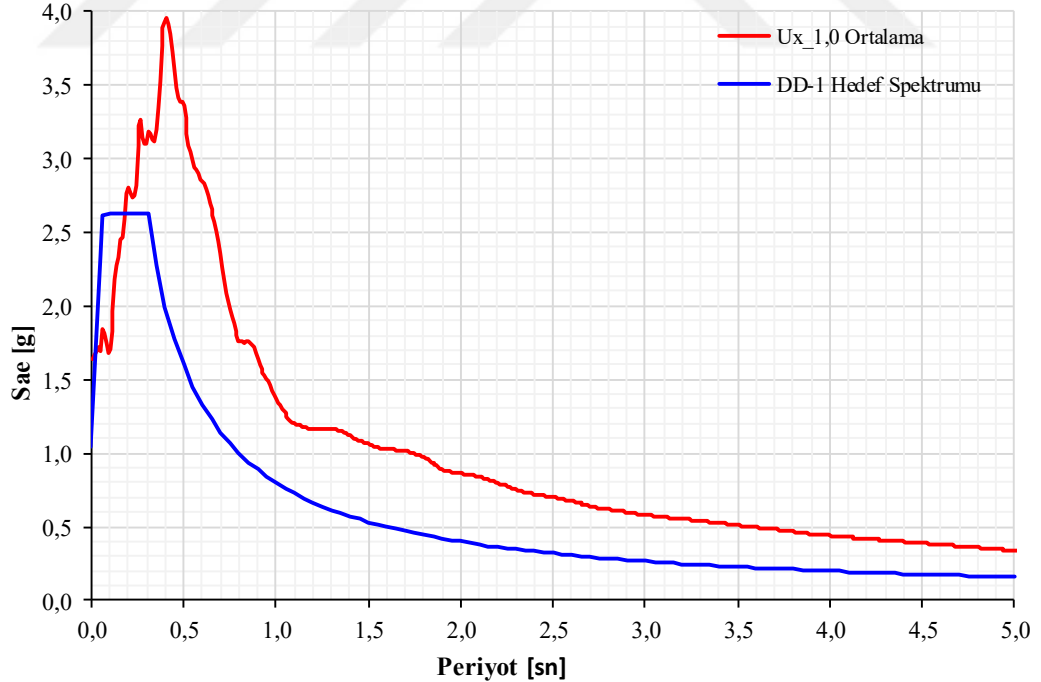


Şekil 4.37: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre hedef spektrum ve ortalama spektrumlar (Ters Evrişim katsayısı = 0.5-0.7-1.0).

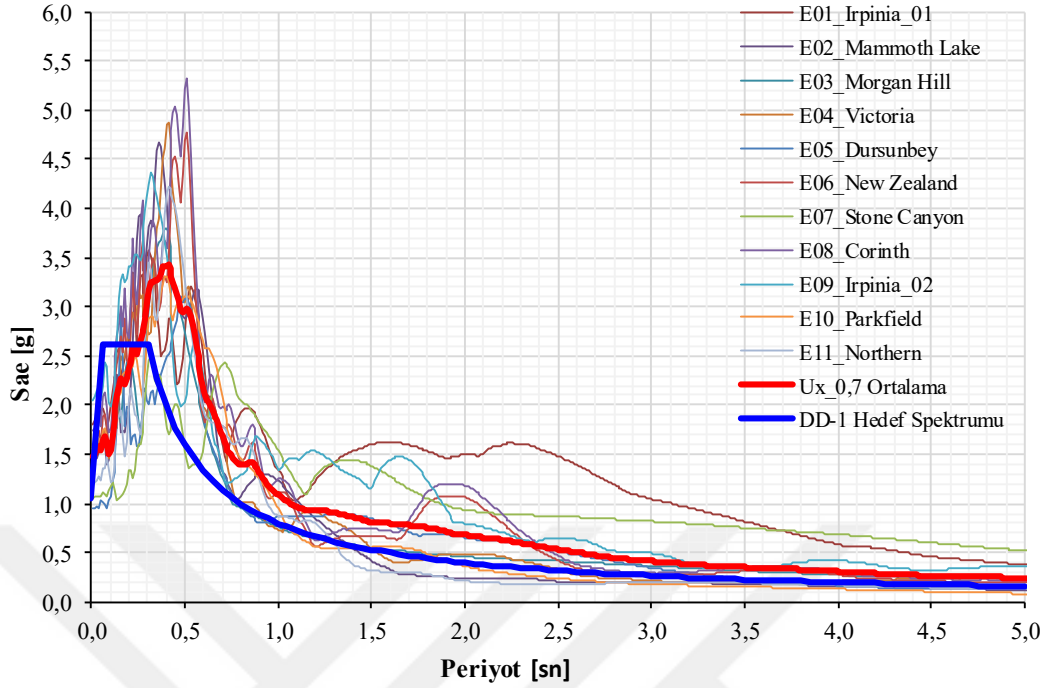
Benzer şekilde, elde edilen sonuçlar Şekil 4.38 ile 4.43 arasında her üç katsayı ile elde edilen çıktı spektrumlarının on bir kayıta ait özel sonuçları ile ortaya konmuştur. Bu şekillerde de 0.5 katsayısının üzerinde kullanılan dekonvolüsyon katsayıları ile ne şekilde yükseldiği gösterilmiştir.



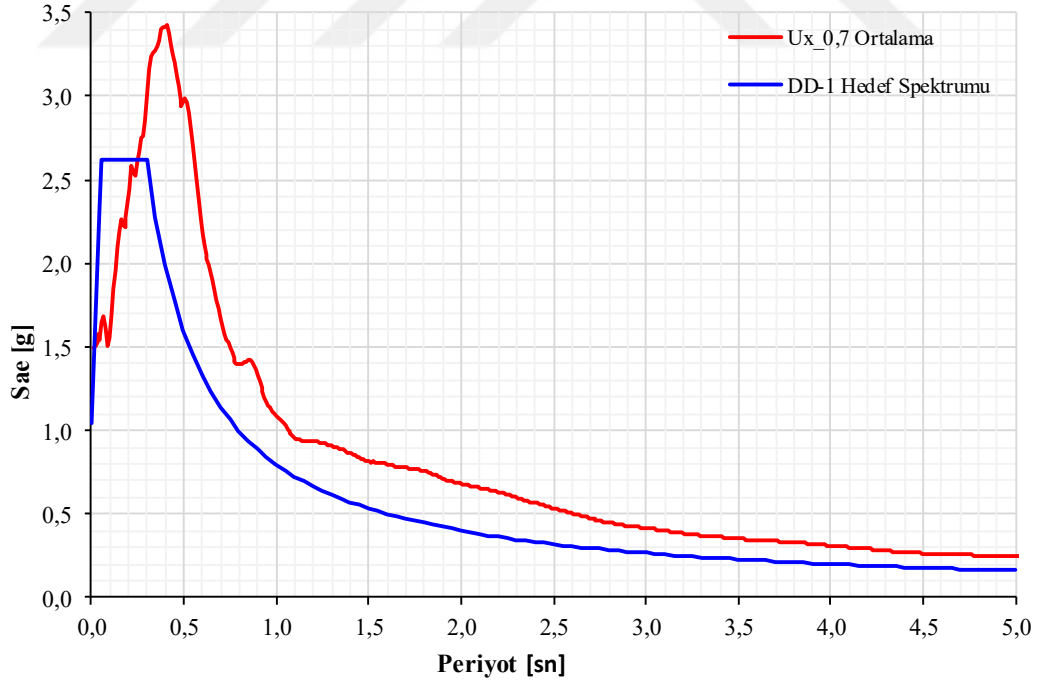
Şekil 4.38: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı=1.0).



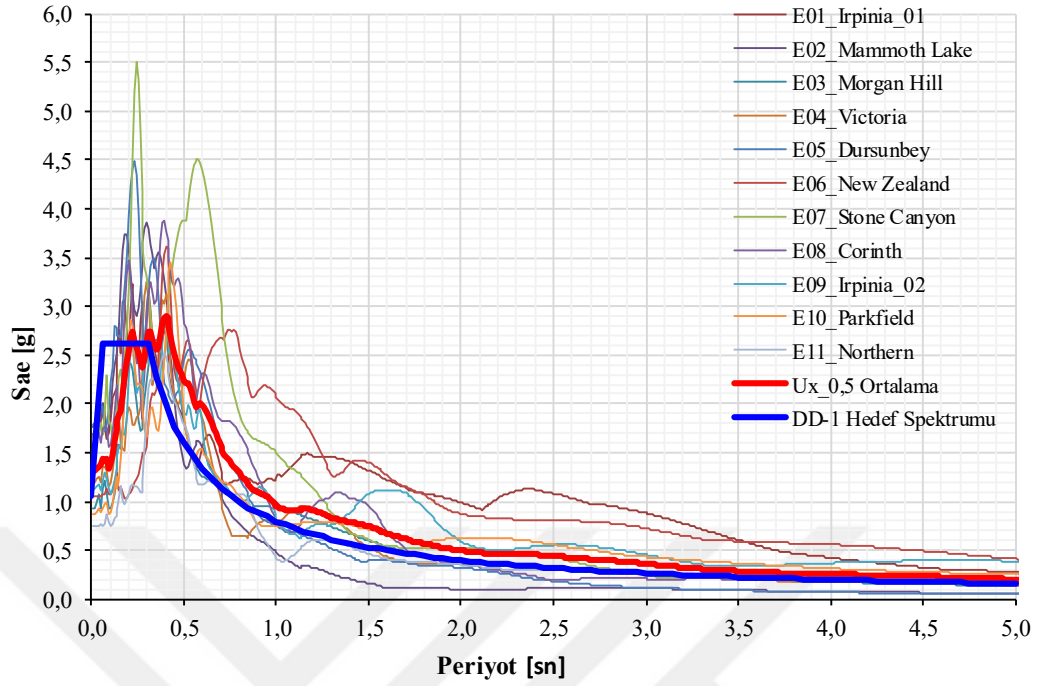
Şekil 4.39: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).



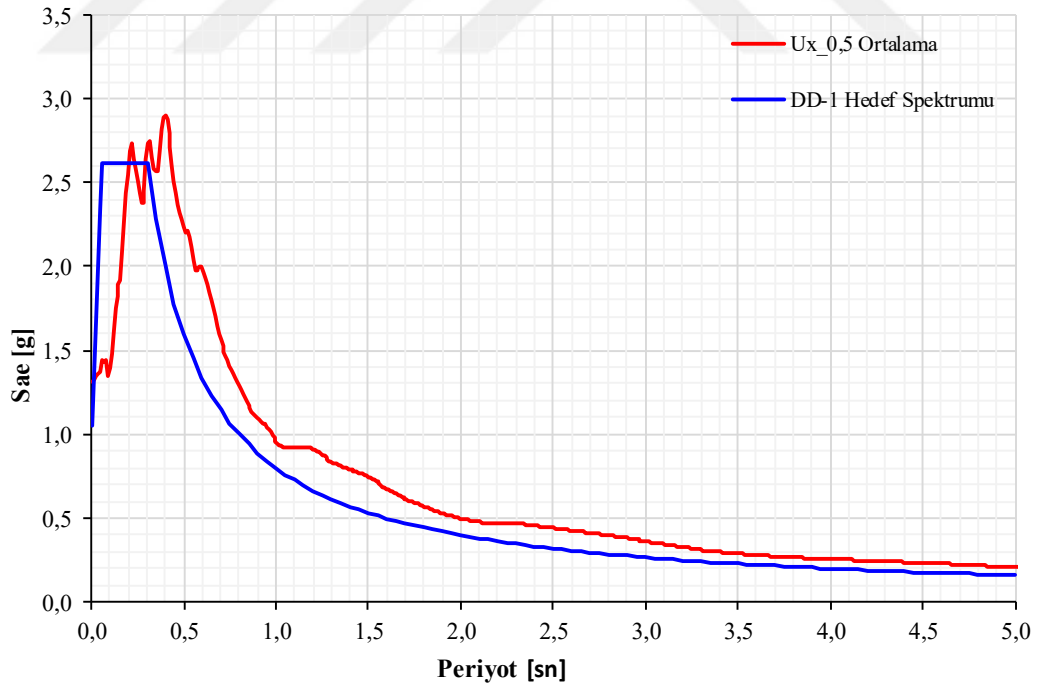
Şekil 4.40: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.7).



Şekil 4.41: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.7).



Şekil 4.42: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).

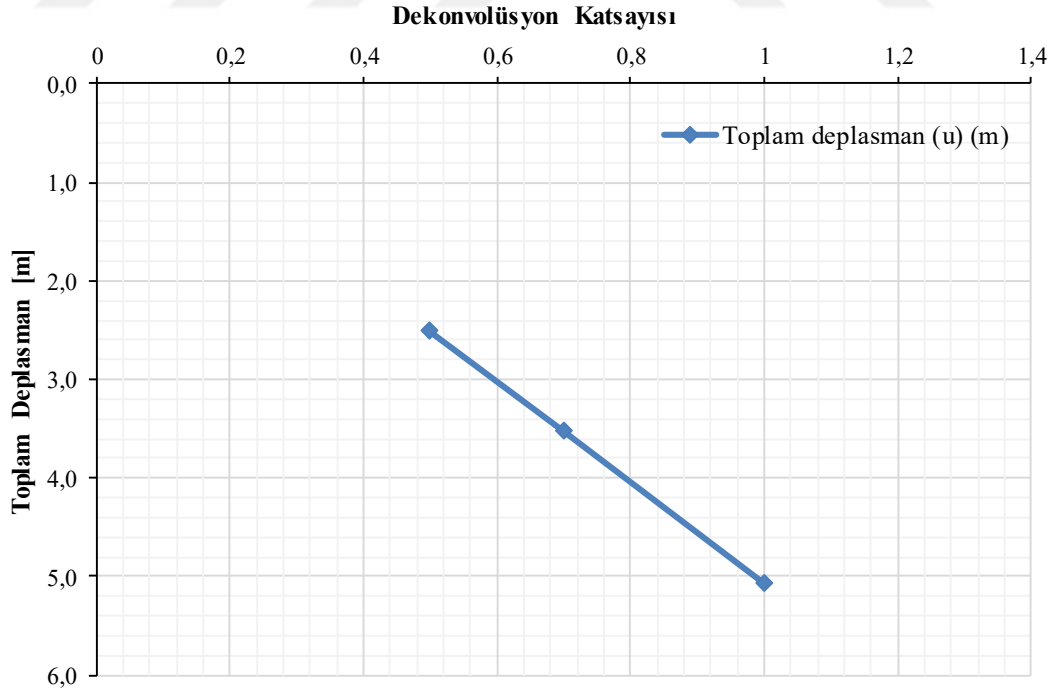


Şekil 4.43: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).

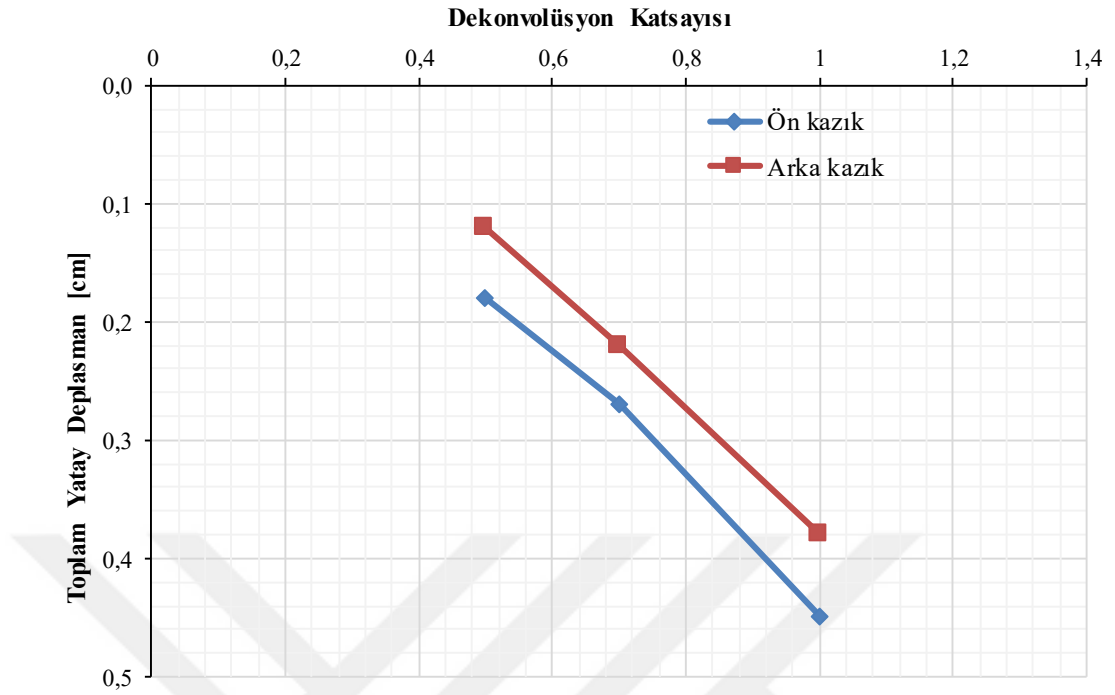
Tablo 4.4: Plaxis 2D analiz 11 kayıt ortalama özet sonuçları.

Dekonv. Katsayısı	Toplam depl.		Ön Kazık			Arka Kazık			Tie- Rod	
	u	Yatay depl.(ux)	N	V	M	Yatay depl. (ux)	N	V	M	N,max
	m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	cm	kN/m	kN/m	kNm/ m	kN/m
0,5	2,52	17,91	-3382	1013	1775	12,12	-1023	615	560	2138,8
0,7	3,53	27,35	-3535	1094	2012	22,11	-1338	770	718	2508,3
1,0	5,07	45,04	-2957	1178	2278	38,08	-1269	900	785	2800,3

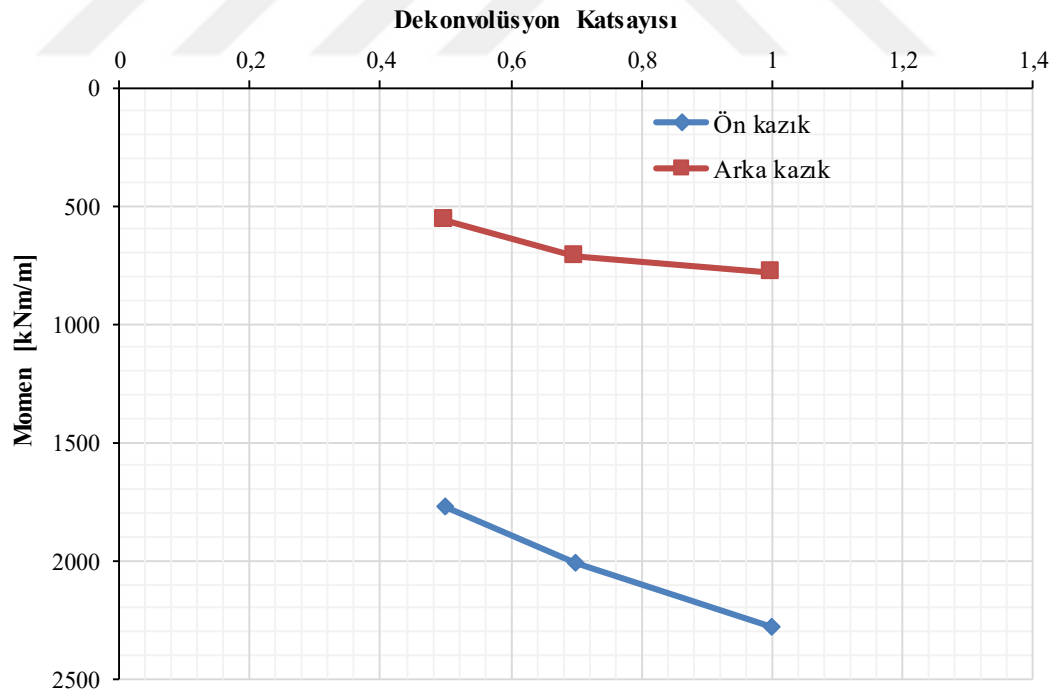
Bunlara ilave olarak, elde edilen sonuçlar deformasyon, kesit tesirleri açısından Tablo 4.4'te ve Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve 4.46'da gösterilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde 0.7 ve 1.0 katsayıları kullanıldığında elde edilen değerlerin hedef spektrumun oldukça üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlardan da analizler sırasında kullanılacak dekonvolüsyon katsayısının önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.44: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).



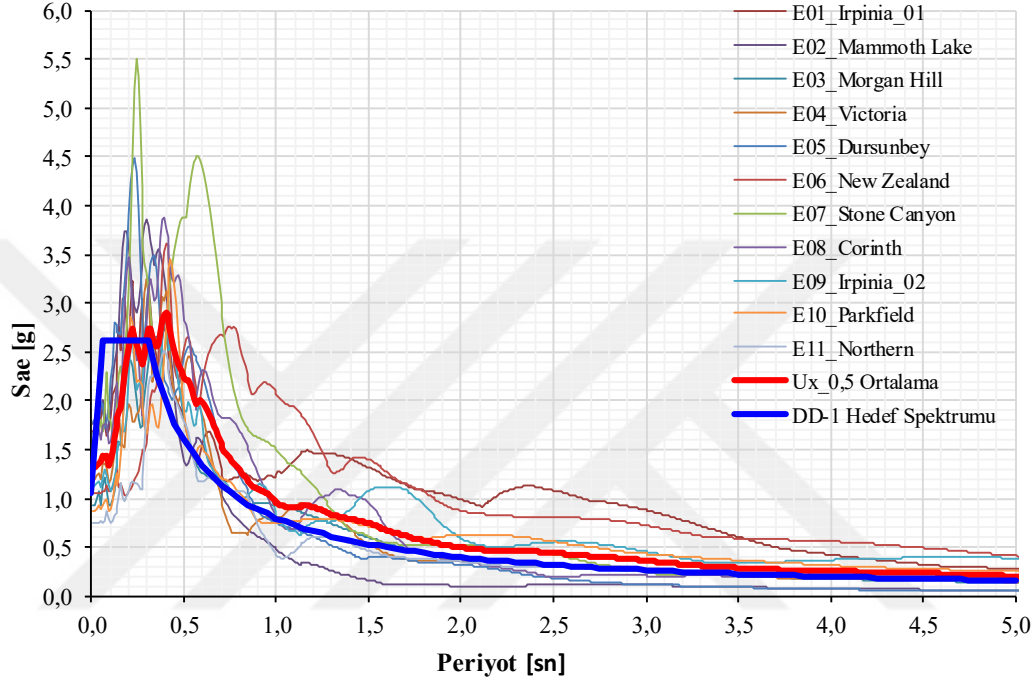
Şekil 4.45: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).



Şekil 4.46: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =1.0).

4.2.4. Spektrumlar ve Deformasyon Grafikleri

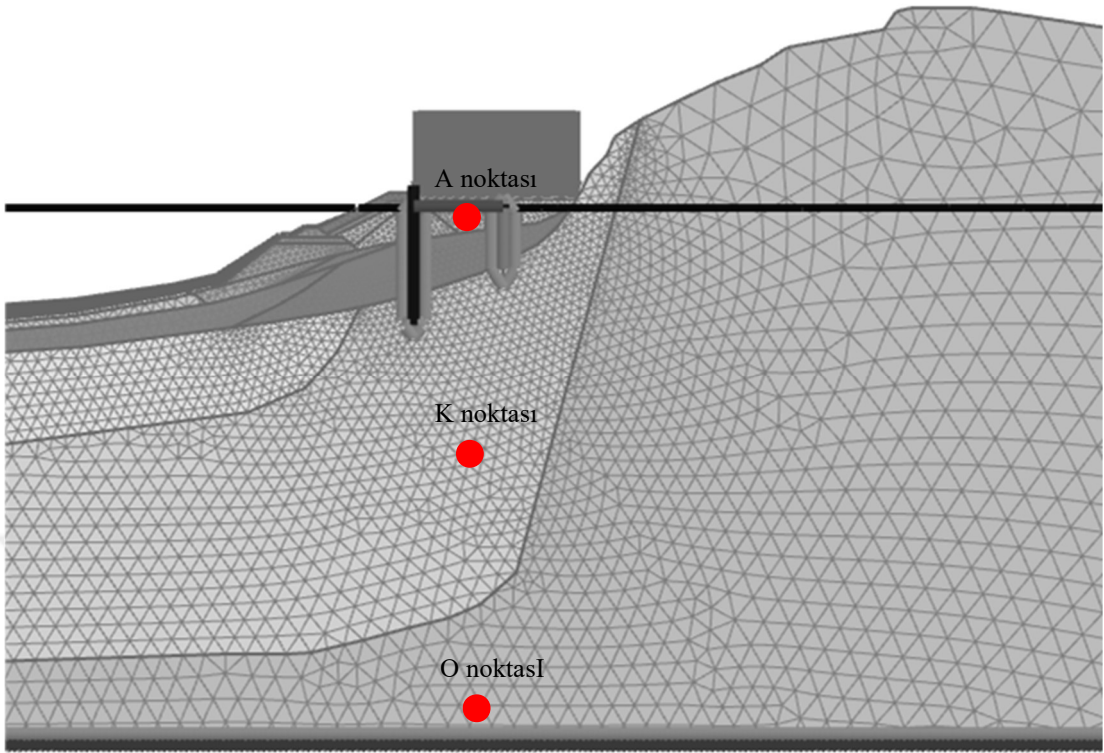
Bölüm 4.2.3'te analizlerde kullanılacak dekonvolüsyon katsayısının önemi ortaya konmuş ve yapılan değerlendirmelerden bu çalışma kapsamında dekonvolüsyon katsayısının 0.5 (Şekil 4.47) olarak kullanılacağı tespit edilmiştir.



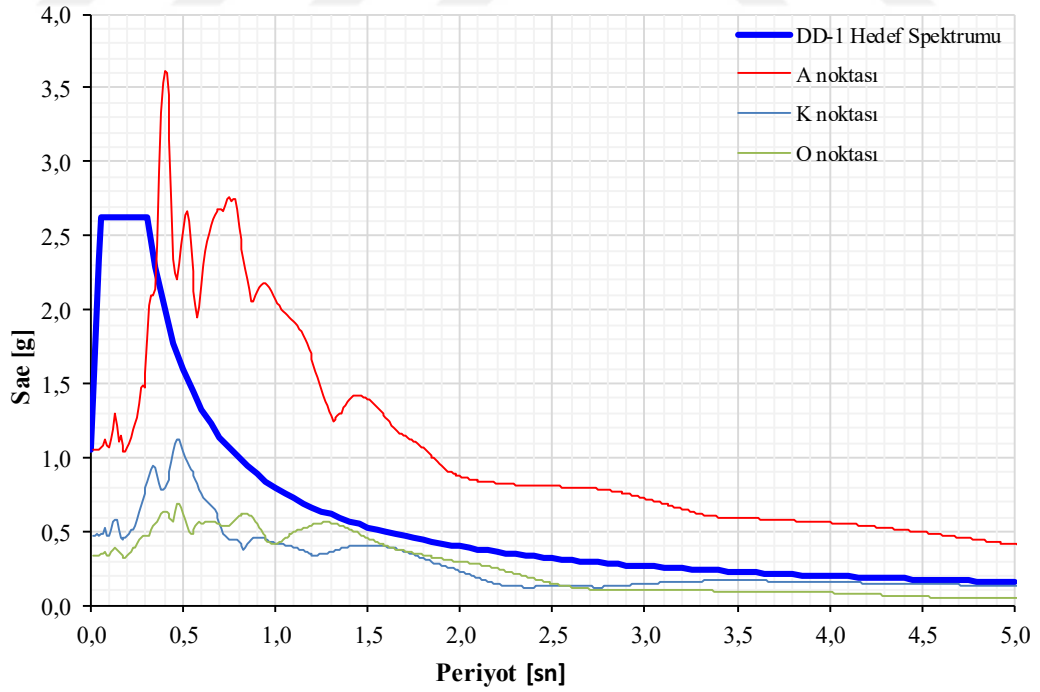
Şekil 4.47: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum (Ters Evrişim katsayısı =0.5).

Bu bölümde ise dinamik analizlerin uygunluğunun bir başka kontrol mekanizması spektrumların derinliğe bağlı davranışı ve analiz içerisinde bir noktanın deprem sırasındaki deformasyon davranışı irdelenecektir.

Şekil 4.48'da nümerik model içerisinde derinliğe bağlı olarak üç nokta seçilmiştir. Bu noktalar A, K ve O noktaları işaretlenmiş ve bu noktalara ait spektrum grafiklerinin dağılımı Şekil 4.49'da gösterilmiştir. Buna göre model tabanında seçilmiş olan O noktasına ait spektrum tabanda en küçük davranışa sahipken modelin ortasında yer alan K noktası ise belirli oranda büyümekte ve nihai olarak A noktasında ise hedef spektrum değerine ulaşmıştır. Bu durum modelin sağlıklı olarak çalıştığı ve uygun olduğunu göstermektedir.

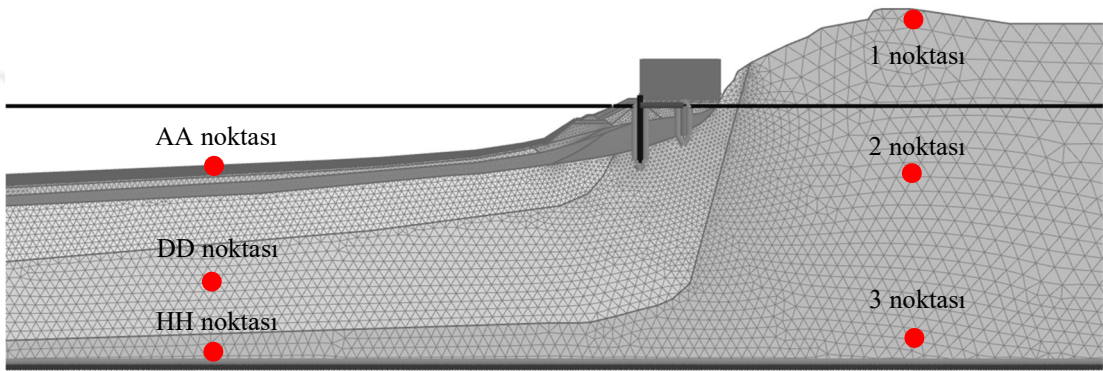


Şekil 4.48: Plaxis model geometrisi üzerinde spektrumları incelenen noktaların gösterimi (A noktası-K noktası-O noktası).

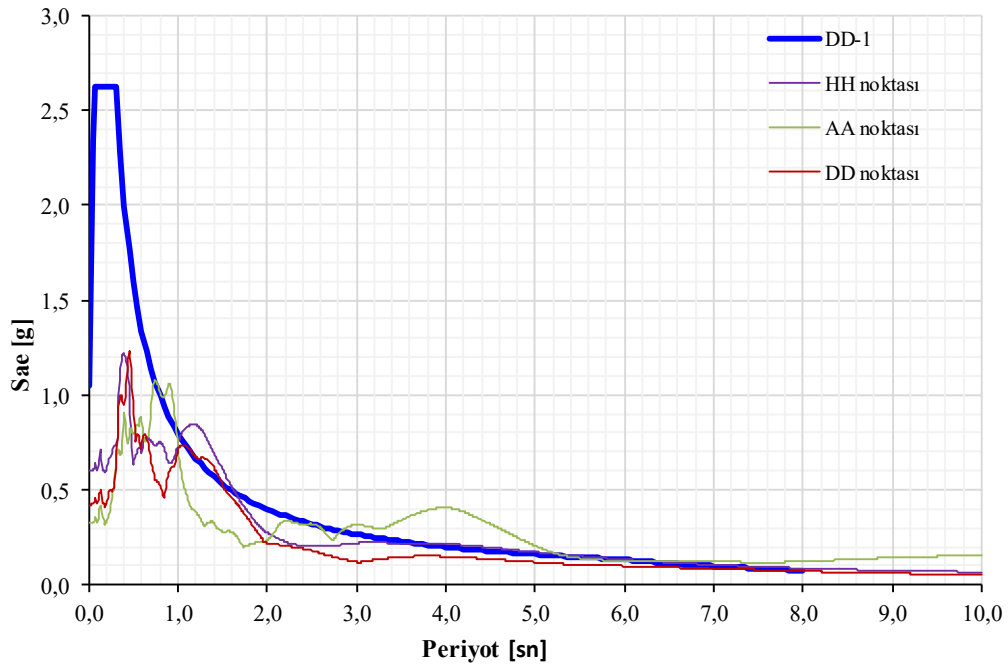


Şekil 4.49: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre farklı üç noktadan alınan tepki spektrumları (E06 New Zealand).

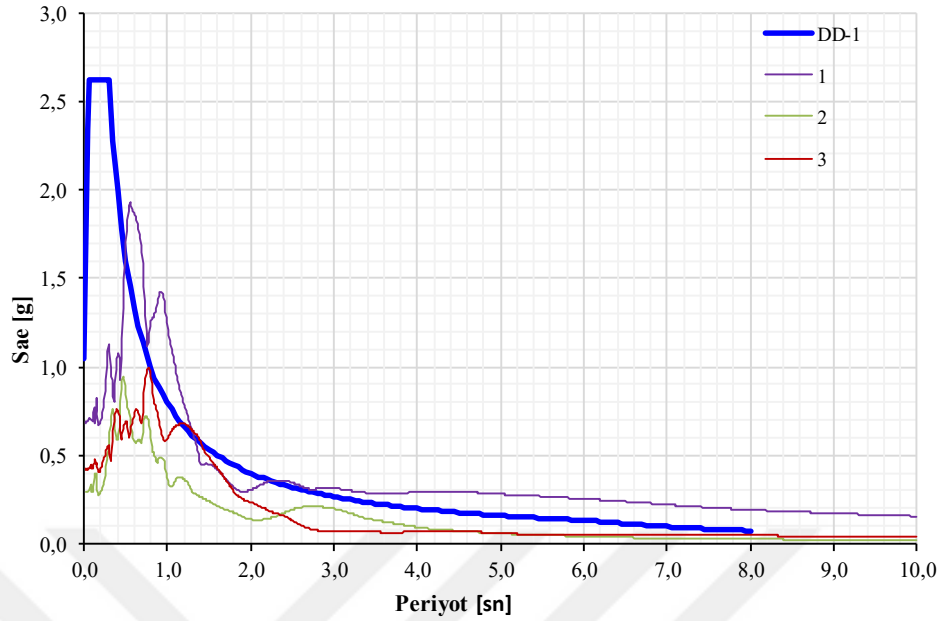
Şekil 4.50’da nümerik model içerisinde derinliğe bağlı olarak altı nokta seçilmiştir. Bu noktalar işaretlenmiş ve bu noktalara ait spektrum grafiklerinin dağılımı Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Her iki bölge de tepki spektrumlarında modelin orta bölgesinde elde edilen tepki spektrumlarına göre daha düşük seviyede bir dağılım elde edildiği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebi modelin kenar bölgelerine yaklaşıyor olması ve zemin koşullarının modelin solunda daha elverişsiz, modelin sağında ise daha elverişli parametrelere sahip olmasıdır. Hedef spektrumun oluşturulmasını sağlayacak zemin özelliklerinin rıhtım yapısının olduğu bölgede yani orta bölgede bulunuyor olmasıdır.



Şekil 4.50: Plaxis model geometrisi üzerinde spektrumları incelenen noktaların gösterimi.

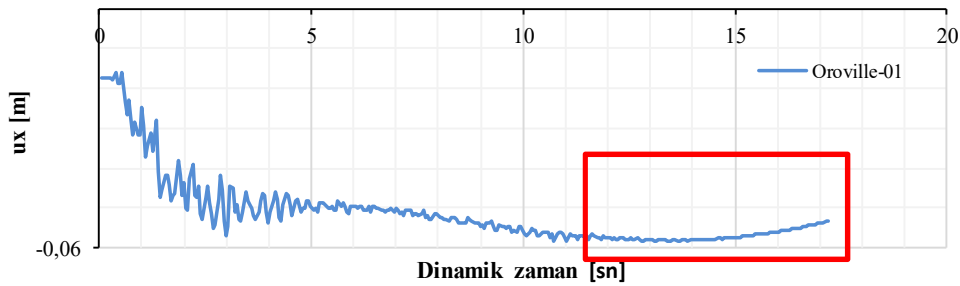


Şekil 4.51: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre yumuşak zemin bölgesindeki farklı üç noktadan alınan spektrumlar (E06 New Zealand).

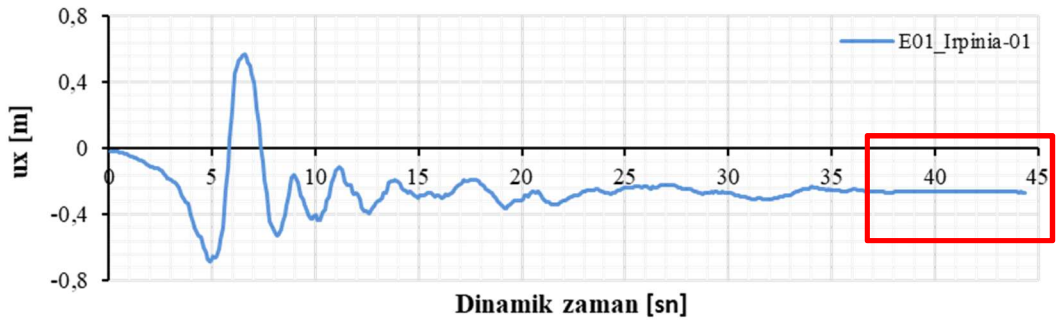


Şekil 4.52: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre kaya bölgesindeki farklı üç noktadan alınan spektrumlar (E06 New Zealand).

Deprem kayıtlarının nümerik modele uygulanmasından sonra bir diğer kontrol mekanizması da deplasmanların dinamik adımlar sonunda bir başka deyişle depremin sonuna gelindiğinde stabil hale gelmesi durumudur. Şekil 4.53'de Bölüm 4.2.2'de kriterlere uygun olmayan deprem örneği olarak verilen Oroville kayıtına ait deplasman ve zaman grafiği görülmektedir. Burada çerçeve içerisine alınmış olan grafiğin son bölgesinde hareketin stabil hale gelmediği ve salınıma devam ettiği görülmektedir. Bu durum modelin istenilen kriterlere uygun olmadığını göstermektedir. Buna karşın Şekil 4.54 ile 4.63 arasında gösterilen ve Bölüm 4.1'de uygun olarak türetilmiş on bir adet kayıtın nümerik analize uygulanması sonucu elde edilen deplasman ve zaman grafikleri incelendiğinde grafiklerin son bölgelerinde işaretlendiği üzere, model, deplasman açısından stabil hale geldiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla tasarım uygundur.



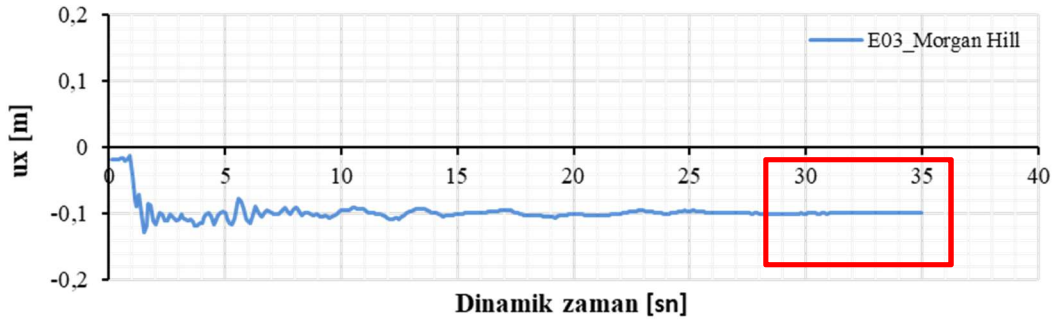
Şekil 4.53: Oroville-01 depremi deplasman-zaman grafiği.



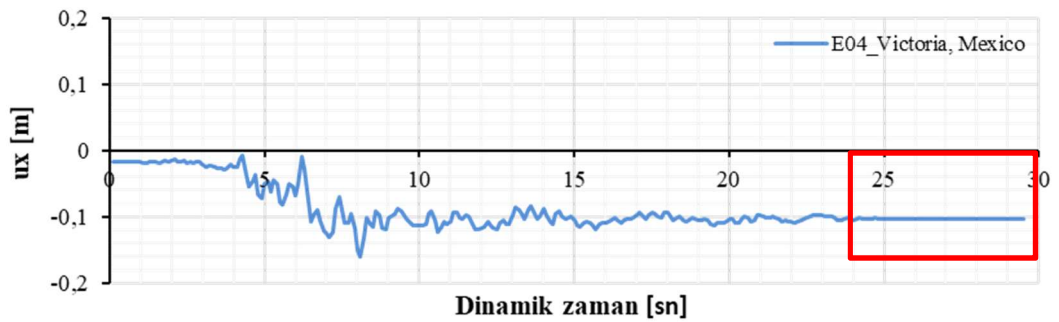
Şekil 4.54: E01_Irpinia, Italy-01 depremi deplasman-zaman grafiği.



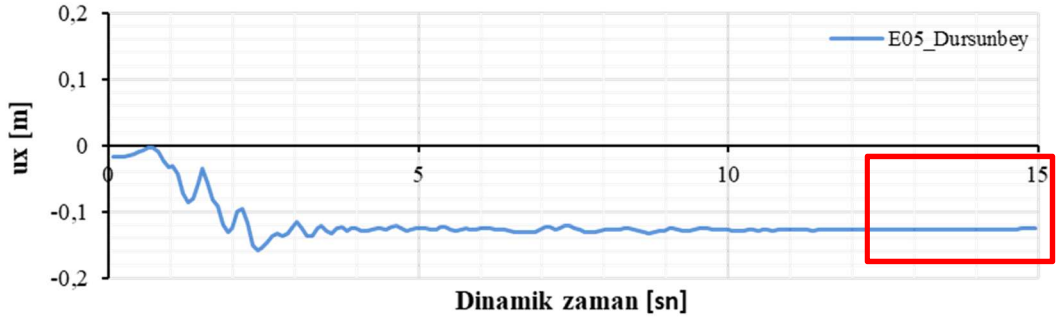
Şekil 4.55: E02_Mammoth Lake depremi deplasman-zaman grafiği.



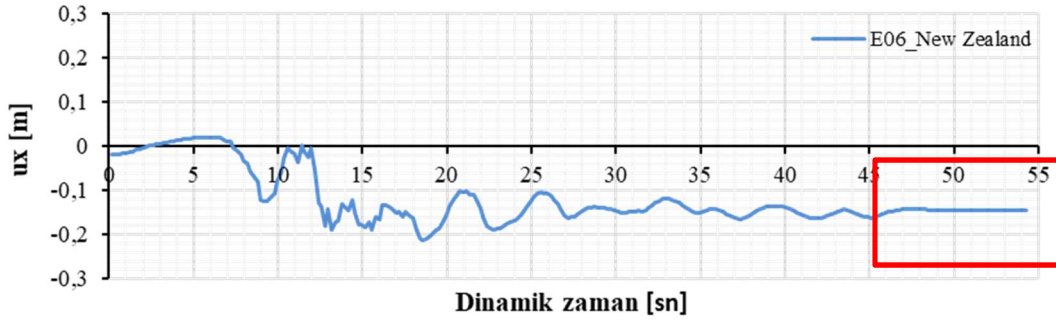
Şekil 4.56: E03_Morgan Hill depremi deplasman-zaman grafiği.



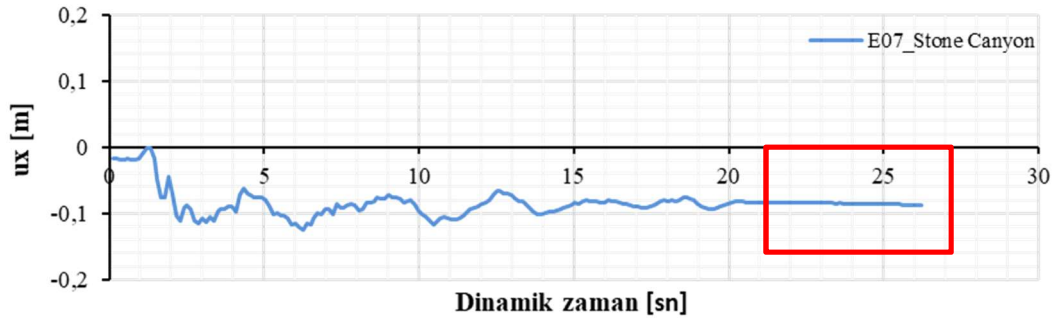
Şekil 4.57: E04_Victoria, Mexico depremi deplasman-zaman grafiği.



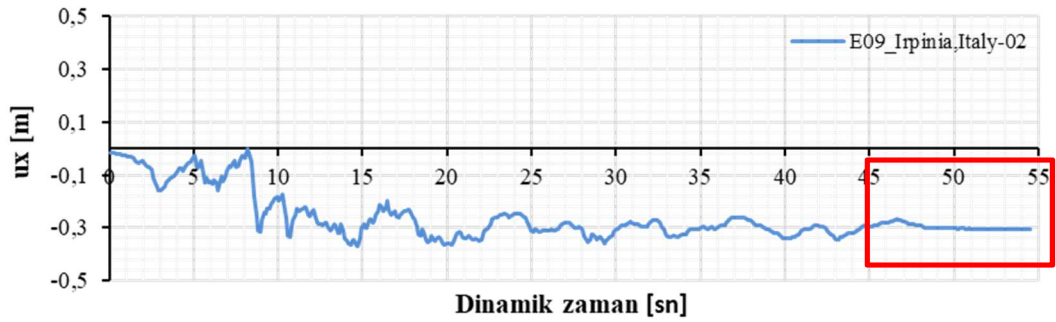
Şekil 4.58: E05_Dursunbey depremi deplasman-zaman grafiği.



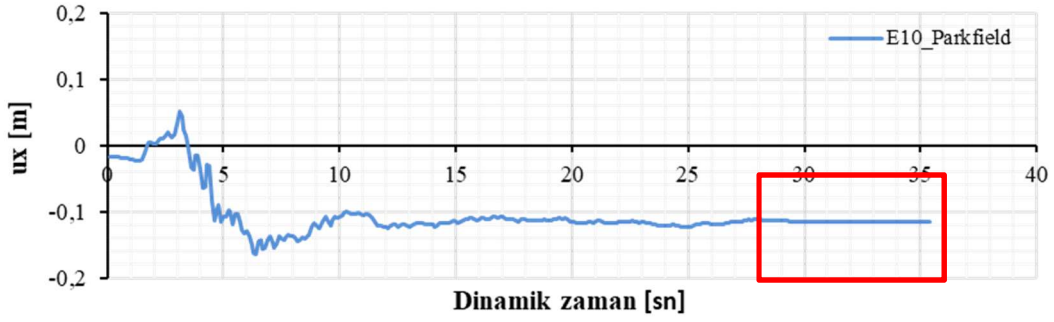
Şekil 4.59: E06_New Zealand depremi deplasman-zaman grafiği.



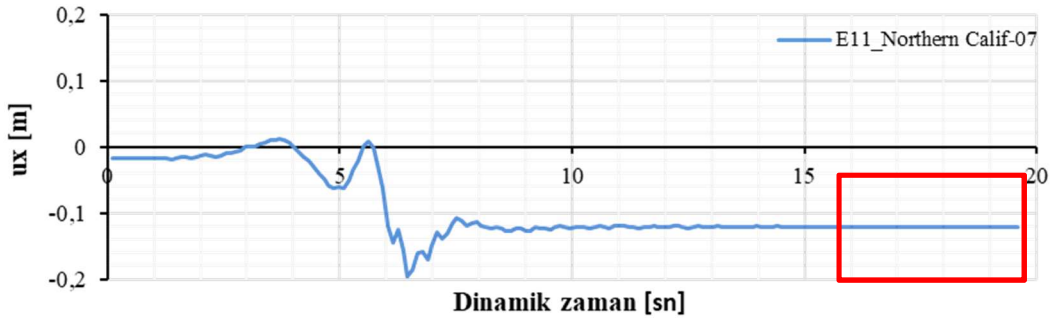
Şekil 4.60: E07_Stone Canyon depremi deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.61: E09_Irpinia, Italy-02 depremi deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.62: E10_Parkfield depremi deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.63: E11_Northern Calif-07 depremi deplasman-zaman grafiği.

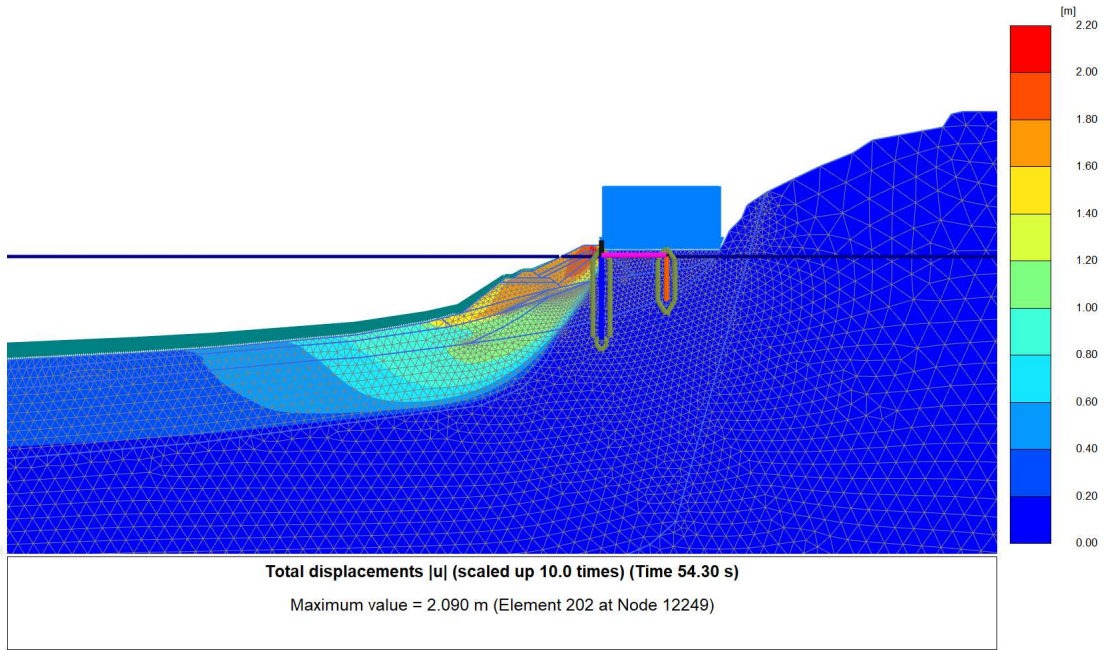
4.3. VAKA-1 KAYITLAR KULLANILARAK LİMAN VE KIYI YAPISININ PERFORMANSA BAĞLI TASARIMI

Önceki bölümlerde nümerik analizlerin temelini oluşturacak olan deprem kayıtlarının oluşturulması ve doğrusal olmayan zemin davranışına ait modelin kurulmasında sonuçlara etkisi olan önemli faktörler irdelenmiş ve analizlerin hangi esaslara dayanacağı ortaya konmuştur.

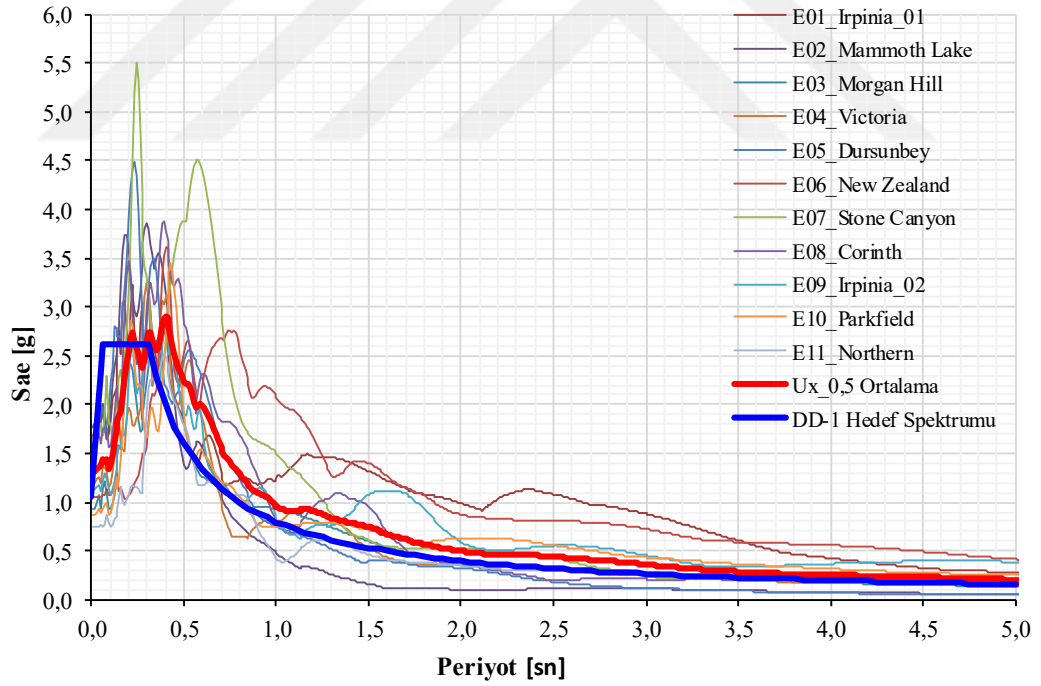
Bu bölümde ise tez içerisinde Vaka-1 olarak isimlendirilmiş liman ve rıhtım yapısının DLH şartnamesi kriterleri göz önünde bulundurularak doğrusal olmayan analizleri, on bir kayıt kullanmak suretiyle gerçekleştirilmiş ve tasarım tamamlanmıştır.

4.4.1. Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Zemin Davranış Analizleri

Şekil 4.65'te görüldüğü üzere analizler on bir kayıt üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.64'de ise toplam deformasyon açısından temsili olarak "E06_NewZealand" kaydına ait sonuca yer verilmiştir. Spektrum grafikleri incelendiğinde ortalama tepki spektrumunun hedef spektrumu değerine oldukça yakın bir formda olduğu görülmektedir. Bu analizlerde daha önce de detaylı olarak anlatıldığı üzere dekonvolüsyon katsayısı olarak 0.5 değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.64: Toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.65: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumu.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da statik ve dinamik analizler sonucunda elde edilen kesit tesirleri ve deformasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Dinamik analizler sonucunda elde edilen on bir kayıta ait değerlerin ortalamaları tasarıma esas değer olarak kabul edilmiştir. Bu değerler kazıkların

tasarımı ve çelik gergilerin tasarımı için kullanılmıştır. Elde edilen bu değerler Bölüm 3.2.1’de ifade edilen boyutlandırma için uygundur.

Tablo 4.5: Plaxis 2D statik analiz özet sonuçları.

	Top. depl.		Ön Kazık			Arka Kazık				Gergi
	u	u _x	N	V	M	u _x	N	V	M	N,max
	cm	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	kN
Analiz Sonuçları	7.9	2.02	-1386	125.4	182.2	0.97	-188	12.46	16.31	23.62
Tasarım Kuvvetleri	-	-	2079	188	273.3	-	282	18.69	24.46	35.43

Tablo 4.6: Plaxis 2D dinamik analiz özet sonuçları.

Deprem #	Toplam depl.		Ön Kazık			Arka Kazık				Gergi
	u	u _x	N	V	M	u _x	N	V	M	N,max
	m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	cm	kN/m	kN/m	kNm/m	kN
E01	6.39	30.39	-3653	979.7	1797	24.59	-1178	830.8	729.5	2411.5
E02	1.56	13.89	-3372	1106	1686	7.82	-878	498.1	494.7	2148.5
E03	0.98	12.28	-2837	840.8	1584	6.80	-806	485.3	402.6	1926.9
E04	2.438	13.5	-3184	1071	1648	8.06	-877	525.4	469.4	1996
E05	1.026	14.75	-3084	1115	1627	9.37	-1061	515.2	536	1747.7
E06	2.09	18.19	-3358	1029	1860	11.77	-1190	661.6	565.3	2369
E07	0.95	10.15	-3107	1071	1869	5,44	-781	402.8	457.2	1605.8
E08	4.18	21.22	-3872	1041	2057	14.92	-1171	724.1	736.8	2448.6
E09	5.73	33.26	-3741	1036	1788	27.05	-1280	886.1	655.4	2457.8
E10	1.41	14.66	-3225	956.9	1771	8.851	-983	589	534	2257.2
E11	1.0	14.75	-3770	899.4	1839	8.71	-1055	653.5	582	2157.9
Ort.	2.52	17.91	-3382	1013	1775	12.12	-1023	615.6	560.3	2138.8

Tablo 4.7: Plaxis 2D dinamik analiz özet sonuçları.

Deprem	Maksimum	Kesişme Noktası	Yükseklik	Plastik Deformasyon/ Yükseklik		Denize doğru rıhtım duvarının dönme açısı			
	u_x	u_x	h	%					
	m	m	m	Sonuç	Limit KH	Sonuç	Limit KH		
E01	0.3039	0.2626	8.9	0.46	<	1.5-5	0.26	<	3.5-5
E02	0.1389	0.0907	8.9	0.54	<	1.5-5	0.30	<	3.5-5
E03	0.1228	0.0782	8.9	0.50	<	1.5-5	0.28	<	3.5-5
E04	0.1350	0.0942	8.9	0.46	<	1.5-5	0.26	<	3.5-5
E05	0.1475	0.1069	8.9	0.45	<	1.5-5	0.26	<	3.5-5
E06	0.1819	0.1286	8.9	0.60	<	1.5-5	0.34	<	3.5-5
E07	0.1015	0.0689	8.9	0.36	<	1.5-5	0.21	<	3.5-5
E08	0.2122	0.1638	8.9	0.54	<	1.5-5	0.30	<	3.5-5
E09	0.3326	0.2900	8.9	0.48	<	1.5-5	0.27	<	3.5-5
E10	0.1466	0.1031	8.9	0.49	<	1.5-5	0.28	<	3.5-5
E11	0.1475	0.1019	8.9	0.51	<	1.5-5	0.29	<	3.5-5

Tablo 4.7’de elde edilen deformasyon sonuçları özetlenmiştir. DLH yönetmeliğine göre bu deformasyon değerleri için sınır koşulları ile on bir kayıt ile yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlardaki değerler karşılaştırılmıştır. On bir kayıt için bulunan deformasyon değerleri ve açılal değerler DLH şartnamesinin öngördüğü limit değerlerin altındadır. Bu nedenle tasarım uygundur.

Böylece hem yapısal açıdan hem de deformasyon açısından şartname ile uyumlu bir tasarım ortaya çıkartılmıştır.

4.4.2. Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Sıvılaşma Analizleri

Sıvılaşma, kohezyonsuz zeminlerde drenajsız şartlarda devirsel yükler altında aşırı boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmelerin azalması neticesinde zeminin sıvı davranışı göstermesi durumudur. Şiddetli depremler altında deniz tabanında yer alan suya doygun kohezyonsuz materyallerde görülebileceği için, genellikle deniz yapılarının çevresinde ve altında önemli bir rol oynar.

Bu tez kapsamında, NCEER yaklaşımına dayanan bir sıvılaşma analizi yapılmıştır. NCEER (Youd ve diğerleri, 2001) tarafından geliştirilen metodoloji düzeltilmiş SPT darbe sayısı hesabına dayanmaktadır. Dikkate alınan zemin tabakaları için devirsel direnç oranını (CRR) elde etmek için düzeltilmiş SPT darbe değerlerini kullanır. Hesaplanan CRR değerleri, beklenen tasarım deprem hareketinin özellikleri kullanılarak hesaplanan devirsel stres oranı ile karşılaştırılır. Sonuç olarak, CRR / CSR oranı, dikkate alınan zemin katmanının sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünü tanımlar. Nihai sonuçlar, sıvılaşma güvenlik sayısının derinlikle değişimidir. Gerekli parametreler aşağıdaki denklemlerde gösterildiği gibi hesaplanır.

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (4.2)$$

$$CRR = CRR_{M=7.5} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (4.3)$$

$$CRR_{M=7.5} = \frac{1}{34 (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4.4)$$

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \quad (4.5)$$

$$\alpha \begin{cases} = 0.0 & (FC \leq 5\%) \\ = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] & (5\% < FC < 35\%) \\ = 5.0 & (FC \geq 35\%) \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\beta \begin{cases} = 1.0 & (FC \leq 5\%) \\ = 0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000} & (5\% < FC < 35\%) \\ = 1.2 & (FC \geq 35\%) \end{cases} \quad (4.7)$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad M_w < 7.5$$

$$MSF = 1 \quad M_w = 7.5 \quad (4.8)$$

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.56} \quad M_w > 7.5$$

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{f-1} \quad (4.9)$$

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) (r_d) \quad (4.10)$$

$$r_d = 1 - 0,00765 \cdot z \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (4.11)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 \cdot z \quad 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (4.12)$$

Burada;

FSL = Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı

CRR = Devirsel direnç katsayısı

CSR = Devirsel kayma gerilmesi

rd = Doğrusal olmayan kütle kayma katsayısı

(N1)60 = Düzeltilmiş SPT değerleri

FC = İnce dane içeriği (%)

MSF = Manyitüd düzeltmesi

Mw = Manyitüd momenti

K σ = Jeolojik gerilme düzeltmesi

$\sigma'v$ = Düşey efektif gerilme

Pa = 100 kPa için referans gerilme

f = Göreceli sıklık düzeltme katsayısı

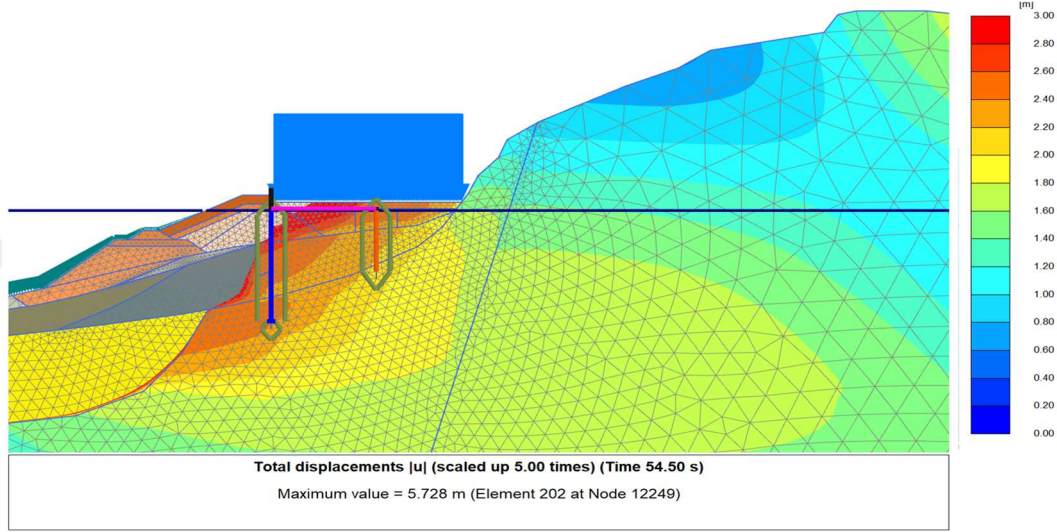
Dr = Göreceli sıklık

Tablo 4.8'de görüldüğü üzere inceleme alanında gerçekleştirilen üç adet sondaj için sıvılaşma hesabı yapılmıştır. Buna göre güvenlik sayısı 1 değerinden küçük olan seviyelerde sıvılaşma olduğu tespit edilmiştir. Her üç sondajda da özellikle ilk 7 m içerisinde potansiyel sıvılaşma tabakalarının olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırma için kazıkların arasında kalan bölgeye jet grout imalatı yapılması planlanmıştır.

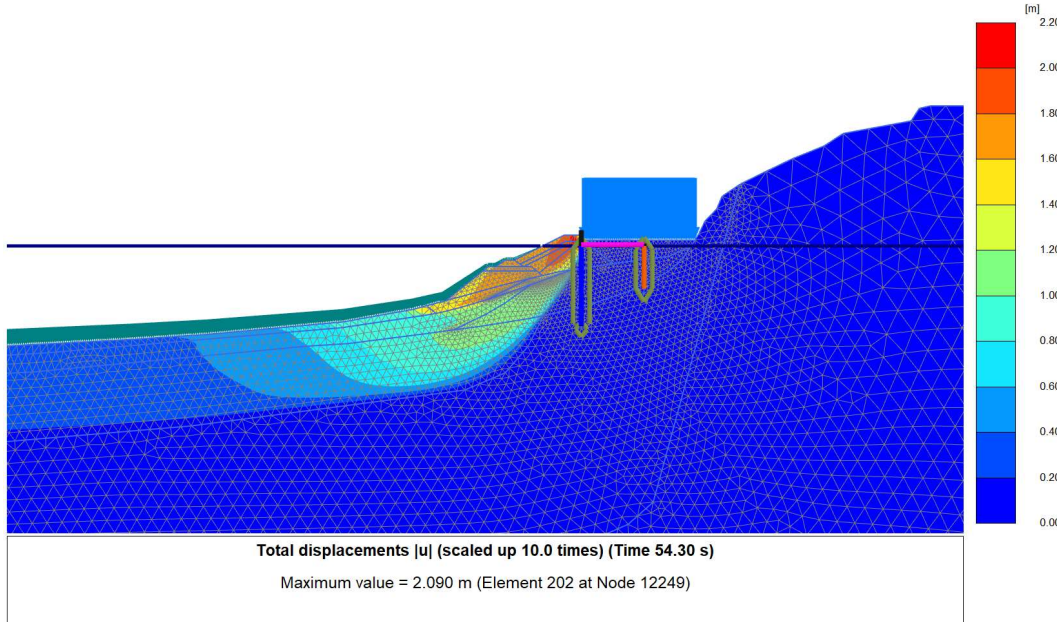
Tablo 4.8: Sıvılaşma Hesabı ile Elde Edilen Güvenlik Sayıları

Sondaj No	Numune No	Numune Derinliği z	SPT N	SPT N _{1,60}	Güvenlik Sayısı (NCEER)
		m			DD-1 Deprem Seviyesi için, 0,869g
SK-1	D1	1.0	22	36	> 1
	D2	2.0	20	34	> 1
	D3	3.0	2	3	0.10
	D4	4.0	3	4	0.11
	D5	5.0	13	17	0.18
	D6	6.0	19	22	0.25
	D7	7.0	25	27	0.33
SK-2	D1	1.0	2	3	0.08
	D2	2.0	4	7	0.18
	D3	3.0	4	7	0.17
	D4	4.0	14	24	0.39
	D5	5.0	17	26	0.45
	D6	6.5	17	22	0.39
	D7	8.0	24	28	> 1
	D8	9.5	50	53	> 1
	D9	11.0	46	45	> 1
SK-3	D1	1.0	6	10	0.15
	D2	2.0	7	12	0.17
	D3	3.0	6	10	0.16
	D4	4.0	29	47	> 1
	D5	5.0	26	37	> 1
	D6	6.5	24	30	> 1
	D7	8.0	31	35	> 1
	D8	9.5	36	38	> 1
	D9	11.0	50	50	> 1

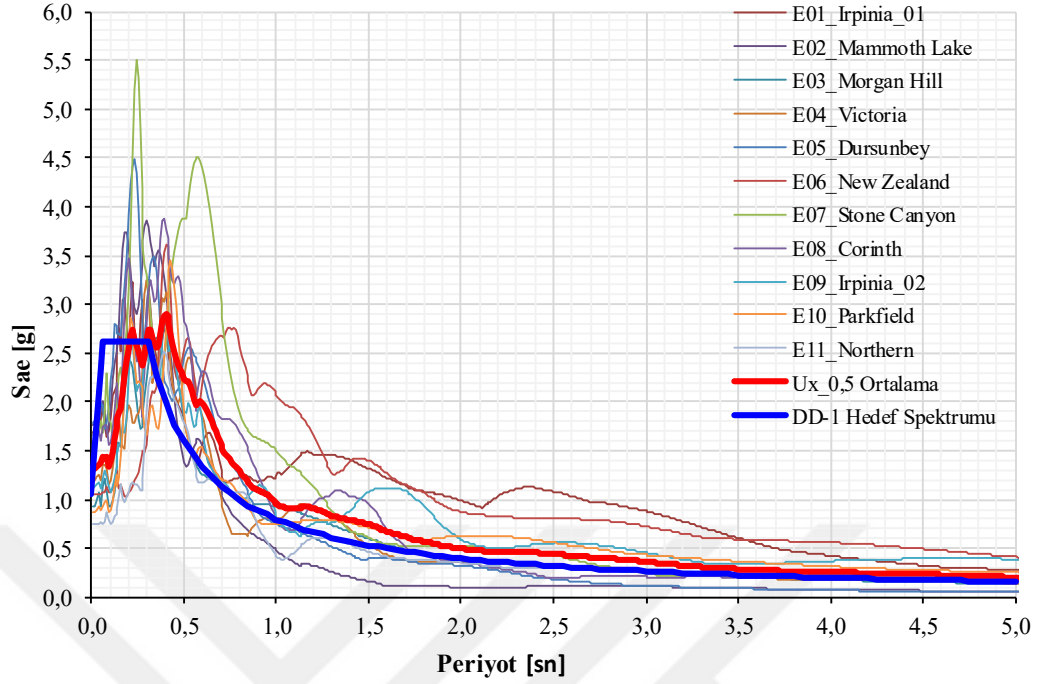
Yapılan jet grout imatlarının etkisini anlayabilmek için zemin ıslahı olmadan gerçekleştirilen nümerik analiz sonuçları Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Buna göre sıvılaşma nedeniyle hem kazıklarda hem de zemin içerisinde New Zealand kayıtu ile yaklaşık 3m civarında deformasyonlar oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı deformasyonlar zemin ıslahı sonrası 15-20cm mertebesine gerilemiş ve sıvılaşma problemi ortadan kaldırılmıştır (Şekil 4.67).



Şekil 4.66: Zemin Islahı olmadan önce toplam deplasman (DD-1 E06 _New Zealand Depremi).



Şekil 4.67: Zemin Islahı yapıldıktan sonra toplam deplasman (DD-1 E06 _New Zealand Depremi).



Şekil 4.68: Zemin ıslahı sonrası sıvılaşma oluşmadığını gösteren spektrum, hedef spektrum ve ortalama tepki spektrumu.

Benzer şekilde tepki spektrumları (Şekil 4.68) incelendiğinde zemin ıslahı sonrası spektrumların hedef spektrum ile oldukça yakın şekilde örtüştüğü görülmektedir. Bu durum da doğrusal olmayan analizler neticesinde zemin ıslahının olumlu sonuç verdiğini göstermektedir.

4.4. VAKA-2 KAYITLAR KULLANILARAK KAZI DESTEK YAPISININ PERFORMANSA BAĞLI TASARIMI

Önceki bölümde Vaka-1 başlığı ile kazıklı bir rıhtım yapısının DLH şartnamesi kriterleri göz önünde bulundurularak doğrusal olmayan analiz metodu ile tasarımı anlatılmıştır.

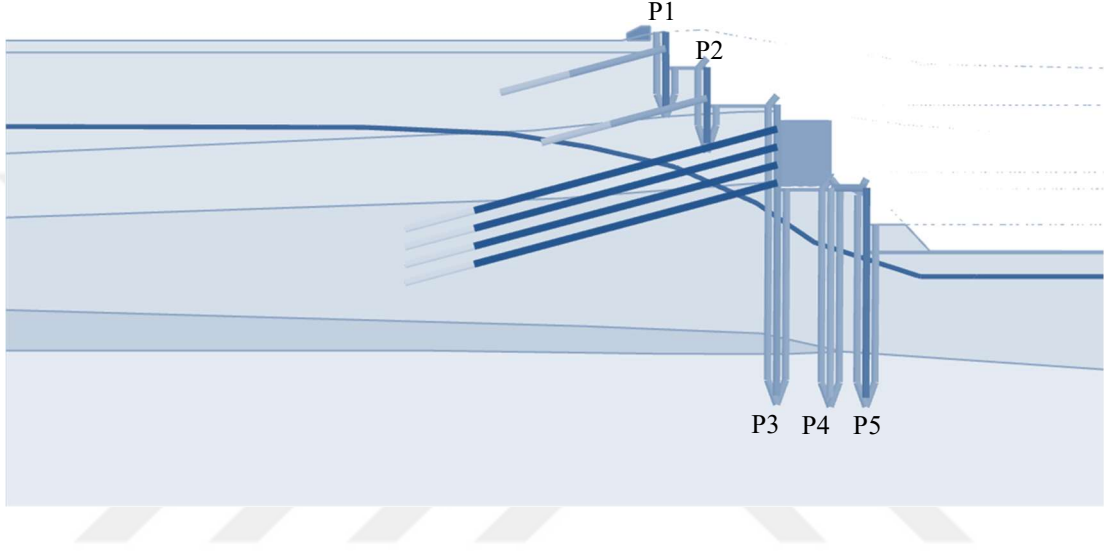
Bu bölümde ise tez içerisinde Vaka-2 olarak isimlendirilmiş kazı destek yapısının Eurocode şartnamesi kriterleri göz önünde bulundurularak, servis durumunu dikkate alan statik analiz (SLS), pseudo-statik analiz (ULS) ve on bir kayıt kullanmak suretiyle performansa bağlı dinamik analiz gerçekleştirilmiş ve tasarımı tamamlanmıştır. Uygulanan bu metodoloji aşağıda özetlenmiştir.

1. Statik Durum Tasarımı (SLS)
 - a) *Statik Deformasyon Analizi ve Tasarımı*
 - b) *Yapısal Elemanların Taşıma Kapasitesi*
 - c) *Statik Durum Stabilite Kontrolü*
2. Pseudo-Statik Analiz ve Tasarımı
 - a) *Yapısal Elemanların Taşıma Kapasitesi (Eurocode DA-2)*
 - b) *Pseudo-Statik Stabilite Kontrolü (Eurocode DA-3)*
3. Dinamik Analiz (DD-1 Deprem Seviyesi-11 Kayıt ile Çözüm)
 - a) *Deformasyon Analizi ve Tasarımı*
 - b) *Yapısal Elemanların Taşıma Kapasitesi*

Vaka-2 için Bölüm 3.2.2.'de tanımlanmış olan kritik kesit için yukarıda belirtilen analiz çeşitleri ve tahkikleri yapılmıştır. Bu bölümde elde edilen sonuçlar ve ilgili şartnameye uygunluk durumu ile ilgili deformasyon ve stabilite tahkikleri yapılmıştır.

4.4.1. Statik Analiz (SLS)

Bu bölümde kazı destek yapısı ilk olarak servis koşulları altında, statik analiz yapılarak tasarımın birinci adımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre, analizi yapılacak kazıklı ve ankrajlı kazı destek sistemi Şekil 4.69’da görüldüğü gibidir. Bu modelde detayları Bölüm 3.2.2’de açıklandığı üzere, beş adet kazık sırasından ve çok sıra ankrajdan oluşan bir kazı destek sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 4.69: Plaxis model geometrisi (Statik Analiz).

Nümerik analizler gerçekleştirilmiş ve Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de deformasyon görünümüne yer verilmiştir. Statik analizlerde Bölüm 3.2.2’de verilen kriterlere uygun olarak deformasyon açısından belirtilen limit değerlerin içerisinde kalınması hedeflenmiştir.

Bu bağlamda bakıldığında yatay deformasyon değerleri Tablo 4.9’da görüldüğü üzere dx/H (yatay deformasyon/açık kazı yüksekliği) oranı limit değer olan 0.0015 oranından daha küçük hesaplanmıştır. Deformasyon açısından oldukça optimize edilmiş bir tasarım olarak değerlendirilebilir.

Tablo 4.9: Deformasyona bağlı tasarım, düşey deformasyon kriteri.

Kesit	1,5*H	Statik Durum Düşey Def. (δ_y)	Tasarım Kriteri
	(m)	(mm)	(mm)
D	37.22	12.90	< 15.00

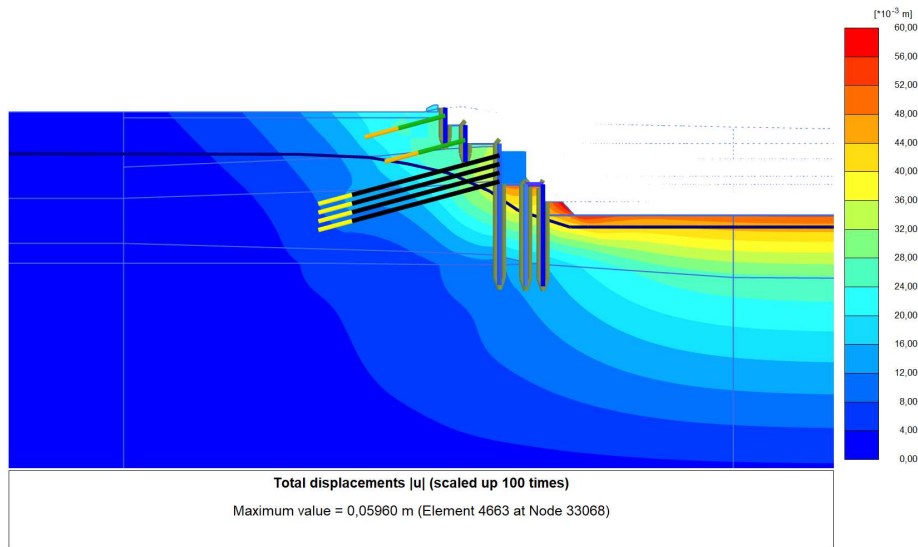
Tablo 4.10: Plaxis 2D analiz özet sonuçları ve deformasyon kontrolü.

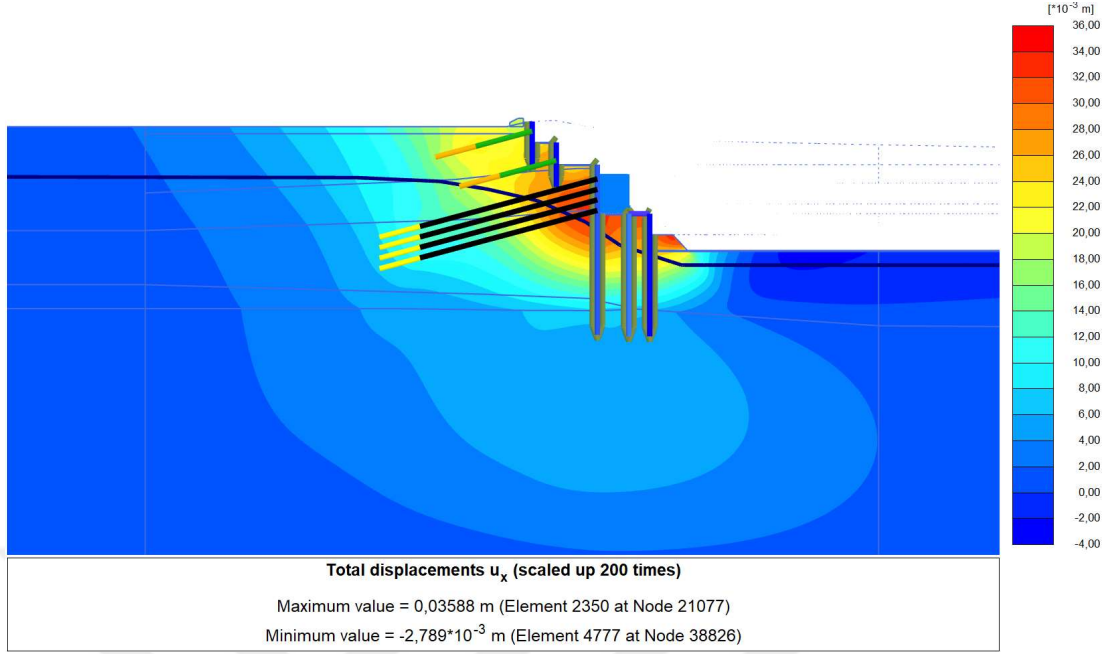
Kazık No	Boy (L)	Çap (D)	s	Toplam Deformasyon (u_x)	H	Hesap edilen oran	Tasarım Limiti
	(m)	(m)		(m)		(cm)	
P1	7.1	0.8	1.0	2.71		0.0011	
P2	7.5	0.8	1.0	2.84		0.0011	
P3	31.4	1.2	1.3	3.36	24.81	0.0014	< 0.0015
P4	23.2	1.2	2.8	3.29		0.0013	
P5	23.2	1.2	1.4	3.08		0.0012	

Tablo 4.11: Deformasyona bağlı tasarım, maksimum açısız dönme kriteri.

Kesit	Maks. δ_y		$1/1000 \cdot L_{\text{hesp.}}$	L	$1,5 \cdot H$
	(m)			(m)	(m)
D	0.0129	<	0.0335	33.55	37.22

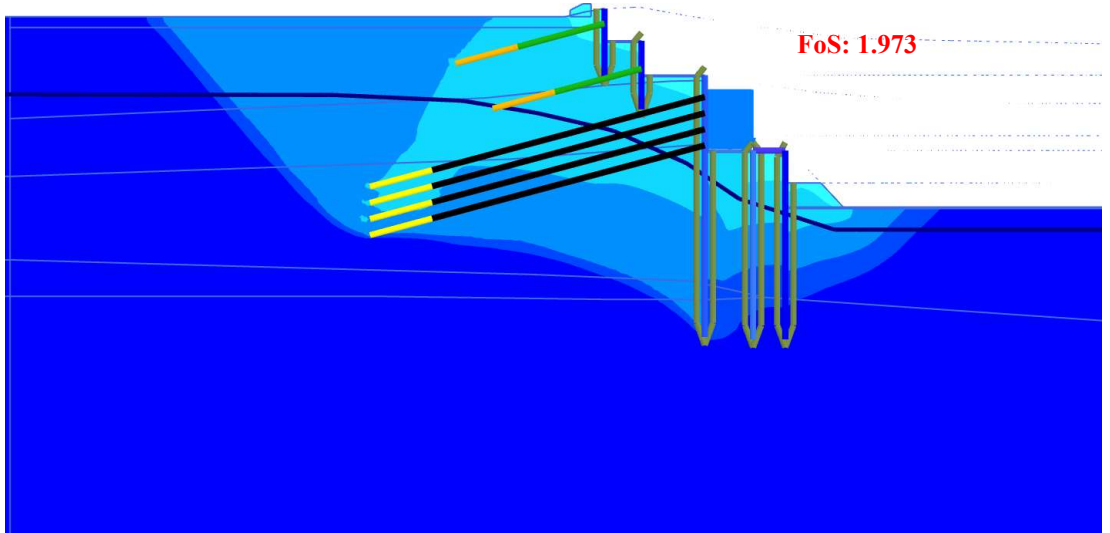
Zira elde edilen değerler limit değere çok yakındır. Bu durum da tasarımın deformasyon açısından optimize edildiğini göstermektedir. Ayrıca diğer deformasyon tahkikleri de Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da gösterildiği üzere sağlanmıştır. Sistem yatay ve düşey deformasyon açısından statik durumda uygundur. Statik durumda sistemde oluşan deformasyonlar Şekil 4.70 ve 4.71'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.70:** Toplam deplasman grafiği.



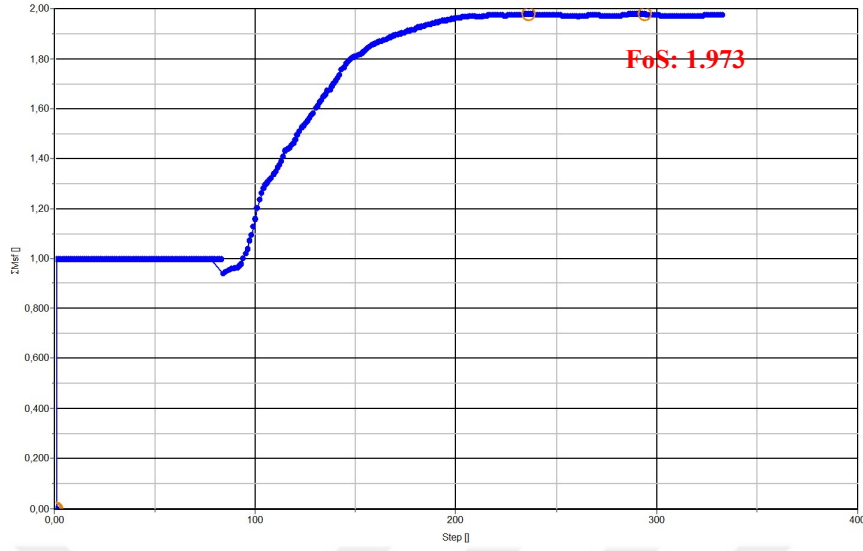
Şekil 4.71: Toplam yatay deplasman grafiği.

Deformasyon kriteri sağlandıktan sonra duraylılık analizi yapılmıştır. Elde edilen güvenlik sayısı (1.97) ve göçme mekanizması Şekil 4.72 ve 4.73’de gösterilmiştir. Hesap edilen güvenlik sayısı 1.5 limit değerinin üzerindedir. Dolayısıyla tasarım uygundur.



Şekil 4.72: Statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği.

Son olarak kazık ve ankraj üzerinde hesap edilen kesit tesirleri özetlenmiştir. Bu tabloda verilen tasarım kuvvetleri yapısal elemanların betonarme boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Bu hesaplar yapılırken Plaxis ile elde edilen kuvvetler yatay aralık ve 1.4 katsayısı ile çarpılarak tasarım kuvveti haline getirilmiştir. Bu hesaplama Bölüm 4.4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.73: Statik durum güvenlik analiz sonuç grafiği.

Tablo 4.12: Plaxis 2D ankraj kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.

Plaxis Analiz Özet Sonuçları			
Ankraj Numarası	Lt	s	N
	m	m	kN
A1	20	2.0	308
A2	20	2.0	307
A3	44	2.6	448
A4	44	2.6	453
A5	44	2.6	454
A6	44	2.6	450

Tablo 4.13: Plaxis 2D kazık kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.

Plaxis Analiz Özet Sonuçları			
Kazık Numarası	N	V	M
	kN/m	kN/m	kNm/m
P1	-77	102	100
P2	-99	86	111
P3	-751	196	662
P4	-143	223	471
P5	-324	233	695

Stabilite tahkiklerinde, elde edilen 1.81 güvenlik sayısı değeri 1.0 değerinden büyük olması nedeniyle tahkik sağlanmıştır ve tasarım uygundur.

Ayrıca DA-2 yaklaşımına göre yapılan yapısal hesaplamalarda da elde edilen kesit tesirleri Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de gösterilmiştir. Bu tabloda verilen tasarım kuvvetleri yapısal elemanların betonarme boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Bu hesaplar yapılırken Plaxis ile elde edilen kuvvetler yatay aralık ve 1.0 katsayısı ile çarpılarak tasarım kuvveti haline getirilmiştir. Bu hesaplama Bölüm 4.4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.14: Plaxis 2D ankraj kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.

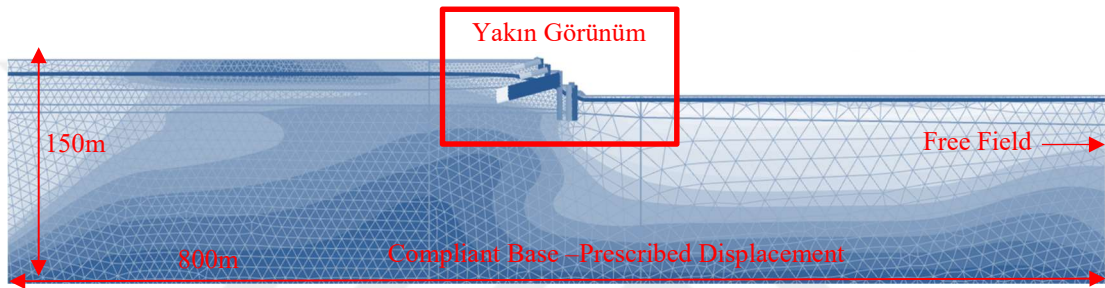
Plaxis Analiz Özet Sonuçları			
Ankraj Numarası	Lt	s	N
	m	m	kN
A1	20	2.0	309
A2	20	2.0	310
A3	44	2.6	453
A4	44	2.6	458
A5	44	2.6	459
A6	44	2.6	454

Tablo 4.15: Plaxis 2D kazık kesit tesirleri ve tasarım kuvvetleri.

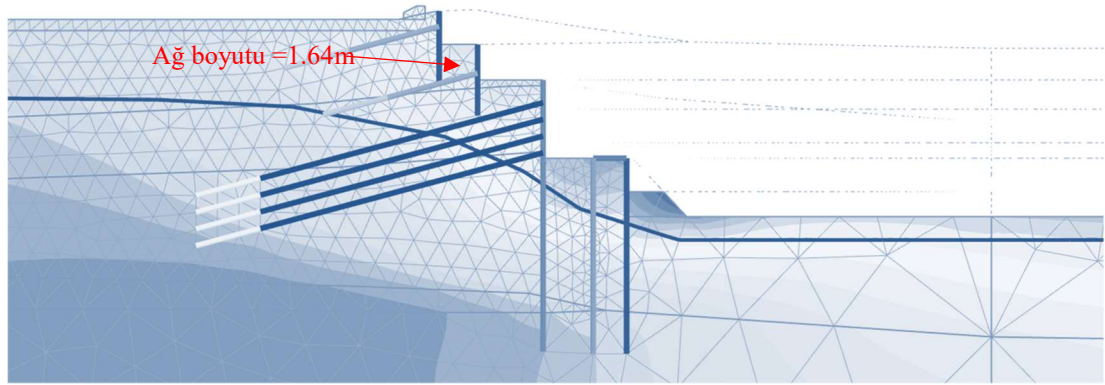
Plaxis Analiz Özet Sonuçları			
Kazık Numarası	N	V	M
	kN/m	kN/m	kNm/m
P1	83	102	100
P2	113	87	111
P3	751	196	665
P4	298	283	568
P5	324	268	742

4.4.3. Dinamik Analiz

Analizi yapılacak kazıklı ve ankrajlı kazı destek sistemi Şekil 4.64’te görüldüğü üzere 800m genişliğinde ve 150m yüksekliğinde bir model içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 4.76). Ağ boyutu olarak 1.64m seçilmiştir (Şekil 4.77). Model tabanı yani depremin uygulanacağı seviye “Compliant base” olarak seçilmiştir. Modelin kenarları “free field” model sınır koşulu olarak düzenlenmiştir. Nümerik modeli hazırlanan kazı destek sistemi yapısının, on bir kayıt kullanmak üzere doğrusal olmayan analizler metodu ile tasarımı gerçekleştirilmiştir.

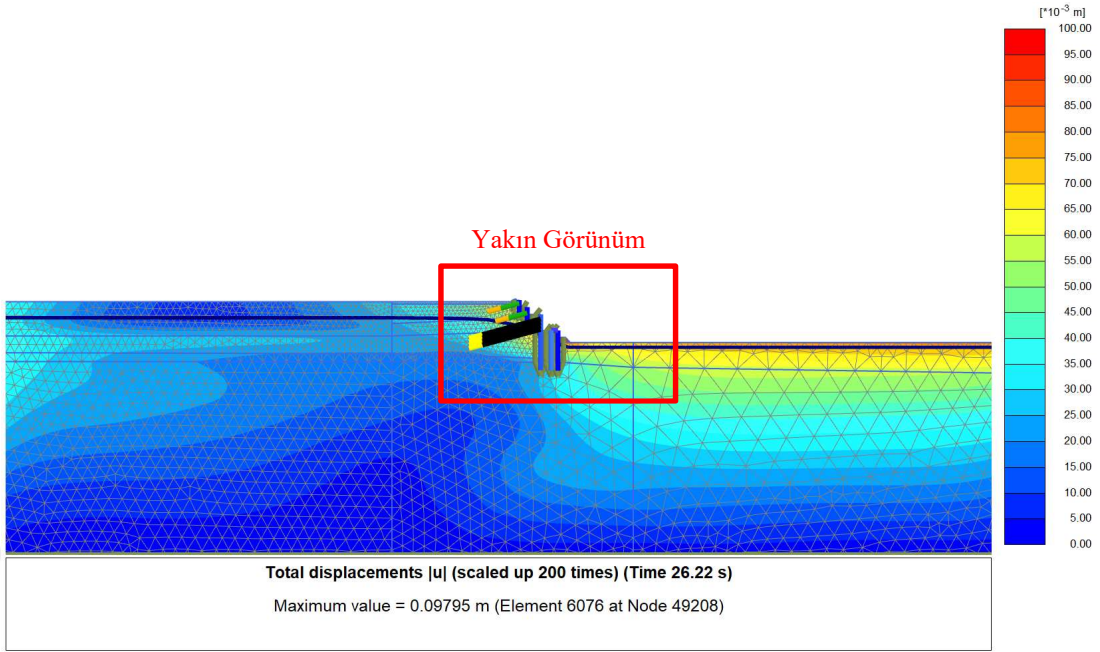


Şekil 4.76: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (Dinamik Analiz).

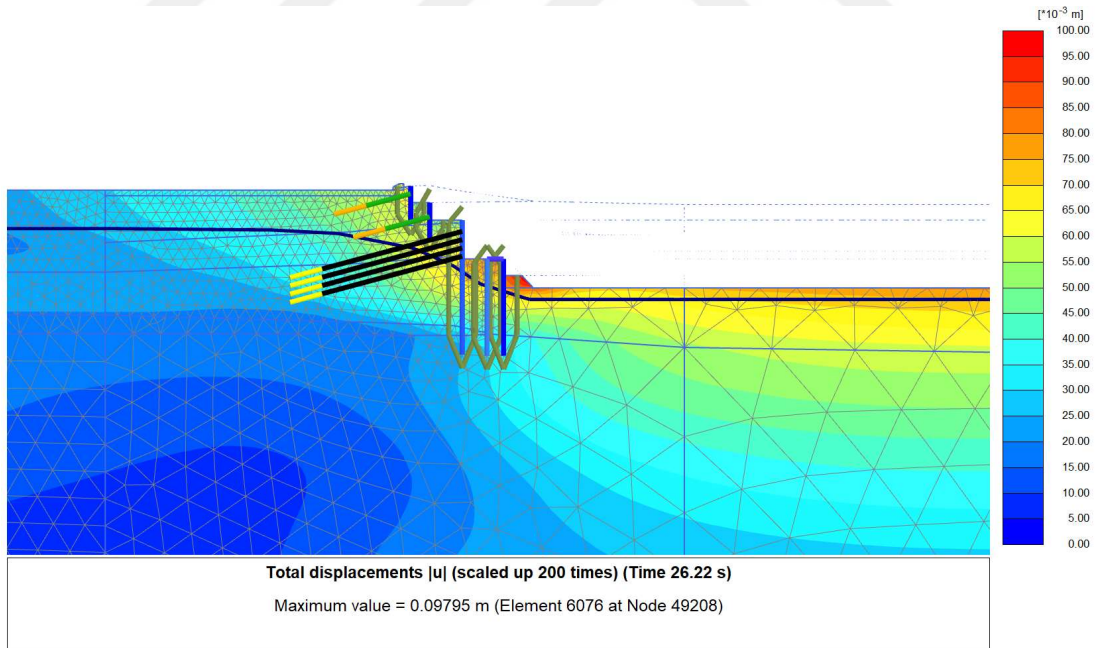


Şekil 4.77: Plaxis model geometrisi ve ağ görünümü (Yakın Görünüm).

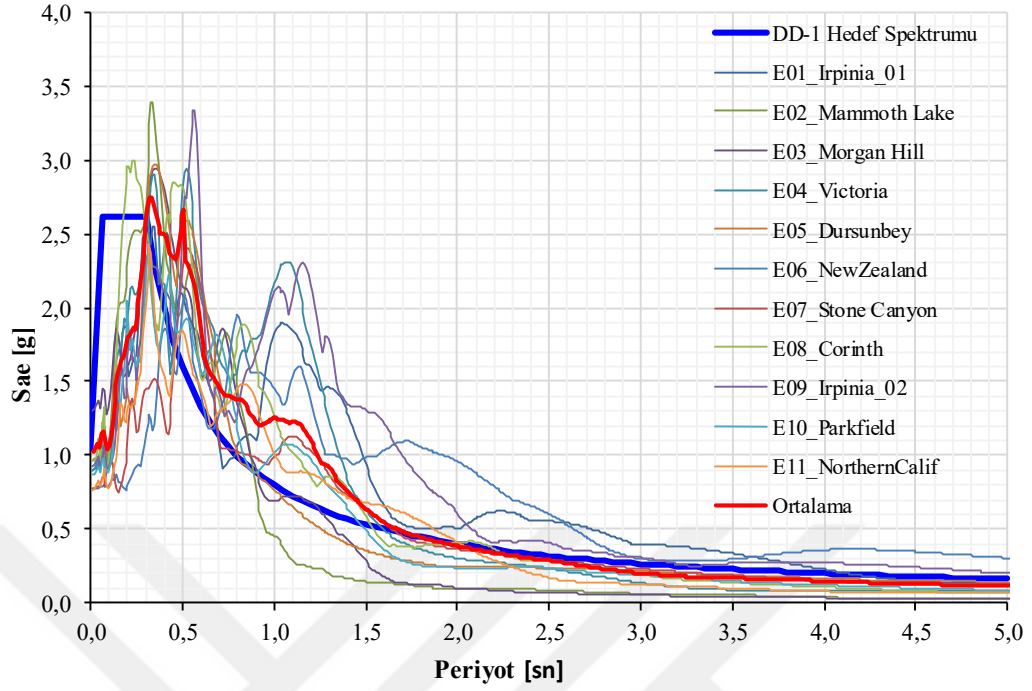
Şekil 4.78 ‘de ise toplam deformasyon açısından temsili olarak “E06_NewZealand” kayıtına ait sonuca yer verilmiştir. Spektrum grafikleri incelendiğinde ortalama tepki spektrumun hedef spektrumu değerine oldukça yakın bir formda olduğu görülmektedir (Şekil 4.80 ve Şekil 4.81). Bu analizlerde daha önce de detaylı olarak anlatıldığı üzere dekonvolüsyon katsayısı olarak 0.5 olarak seçilmemiştir. Bu modelde uygun değer 0.7 olarak belirlenmiştir.



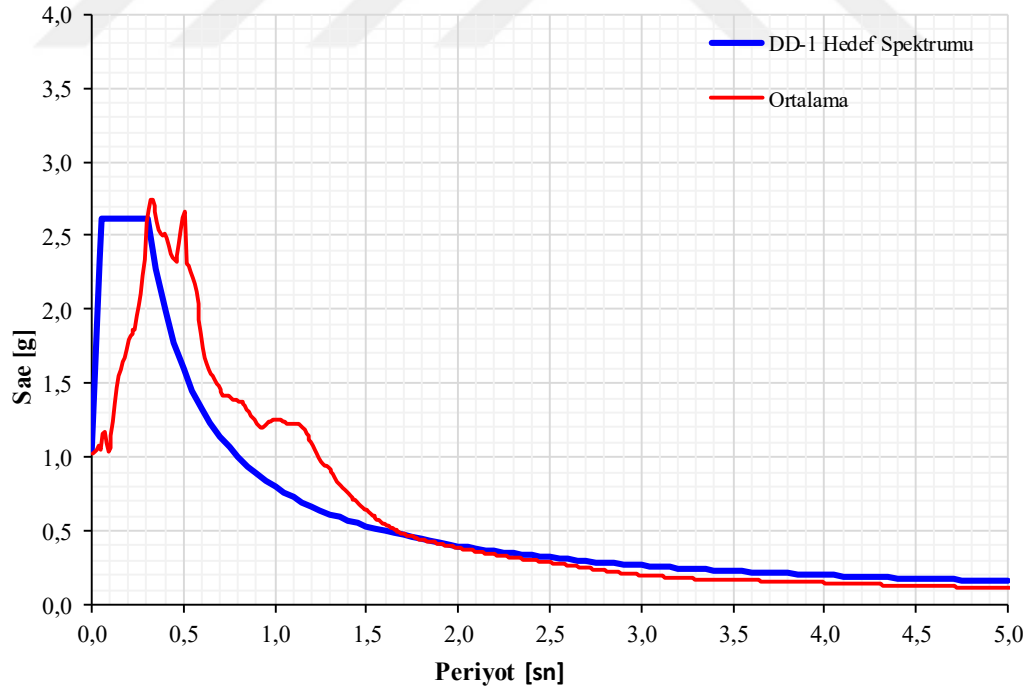
Şekil 4.78: Toplam deplasman (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.79: Toplam deplasman-Yakın görünüm (DD-1 E06_New Zealand Depremi).



Şekil 4.80: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait spektrum, hedef spektrum ve ortalama spektrum.



Şekil 4.81: DD-1 deprem seviyesine ve ZC tipi zemin sınıfına göre bütün depremlere ait hedef spektrum ve ortalama spektrum.

On bir kayıta ait elde edilen kazıkların üzerindeki kesit tesirleri ve deformasyon miktarları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Bu tabloda elde edilen tasarım kuvvetleri betonarme tasarım için kullanılmıştır. Bu hesaplar yapılırken Plaxis ile elde edilen kuvvetler yatay aralık ve 1.0 katsayısı ile çarpılarak tasarım kuvveti haline getirilmiştir. Bu hesaplama Bölüm 4.4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Plaxis 2D analiz özet sonuçları ve tasarım kuvvetleri.

Plaxis Ortalama Özet Sonuçlar				
Kazık Numarası	Yatay depl. (ux)	N	V	M
	cm	kN/m	kN/m	kNm/m
P1	13,19	-152,07	123,36	132,04
P2	14,11	-152,69	148,81	138,25
P3	15,97	-1111,70	631,82	2008,73
P4	16,50	1051,34	453,55	1156,82
P5	16,32	-867,75	548,90	1722

Aşağıda yer alan tablolarda ise tasarım kriterleri açısından elde edilen sonuçlar sorgulanmıştır. Buna göre elde edilen yatay ve düşey deformasyon değerleri deformasyon kriterlerini sağlamaktadır. Dolayısıyla tasarım uygundur.

Tablo 4.17: Plaxis 2D deformasyon tasarım kriteri (DD-1 seviyesi dinamik analizi).

Kazık No	Boy (L)	Çap (D)	s	Toplam Deformasyon (u _x)	H	Hesap edilen oran	Tasarım Limiti
	(m)	(m)		(m)		(cm)	
P1	7,1	0.8	1.0	13,19		0,0053	
P2	7,5	0.8	1.0	14,11		0,0057	
P3	31,4	1.2	1.3	15,97	24,81	0,0064	< 0,007
P4	23,2	1.2	2.8	16,50		0,0066	
P5	23,2	1.2	1.4	16,32		0,0066	

Tablo 4.18: Deformasyona bağlı tasarım, düşey deformasyon kriteri.

1,5*H	Statik Durum Düşey Def. (δ_y)	Tasarım Kriteri	Dinamik Durum Düşey Def. (δ_y)	Tasarım Kriteri
(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
37,22	12,90	< 15mm	48	< 50mm

Tablo 4.19: Deformasyona bağlı tasarım, maksimum açılal dönme kriteri (DD-1 Seviyesi Dinamik Analizi).

Maks. δ_y		$1/1000 * L_{hesp.}$	L	1,5*H
(m)			(m)	(m)
0,0129	<	0,0335	33,55	37,22

4.4.3. Yapısal Tasarım

Bu bölümde yapısal tasarıma esas olan tasarım kuvvetlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Buna göre kazık tasarımı için hesap edilen tasarım kuvvetleri her üç analiz neticesinde (statik, pseudo-statik ve dinamik analiz) elde edilen hesap değerlerinin faktör ile büyütülmüş halidir. Kazıkların tasarım kapasiteleri ile tasarım kuvvetleri karşılaştırıldığında tasarımın uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 4.20: Kazıklar Üzerindeki Tasarım Kesit Tesirleri

Kazık No	Boy (L)	Çap (D)	s	$N_{tasarım}$	$V_{tasarım}$	$M_{tasarım}$	$M_{kapasite}$
	(m)	(m)	(m)	kN	kN	kNm	
P1	7.1	0.8	1.0	152	142	140	< 900
P2	7.5	0.8	1.0	153	149	156	< 900
P3	31.4	1.2	1.3	1445	821	2611	< 3000
P4	23.2	1.2	2.8	559	1270	3239	< 3500
P5	23.2	1.2	1.4	1215	768	2411	< 3000

Benzer şekilde ankraj tasarım kuvvetleri de ankraj kuvvetleri ile karşılaştırılmıştır. Burada da her üç hesap yönteminden elde edilen kuvvetler faktörlendikten sonra hesap edilen tasarım kuvvetleri, kapasite değerlerin altında kalmaktadır. Dolayısıyla ankraj tasarımı uygundur.

Tablo 4.21: Kazıklar Üzerindeki Tasarım Kesit Tesirleri

Ankraj Numarası	Lt	s	N _{tasarım}	N _{kapasite}	
	m	m	kN	<	kN
A1	20	2.0	431	<	600
A2	20	2.0	430	<	600
A3	44	2.6	628	<	800
A4	44	2.6	634	<	800
A5	44	2.6	636	<	800
A6	44	2.6	630	<	800

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, kıyı ve liman yapılarının deprem yer hareketleri etkisi altında performansa bağlı tasarımına ait esaslar ortaya konmuştur. Performansa bağlı tasarımda kılavuz olarak kullanılan ulusal ve uluslararası şartnameler irdelenmiştir. Bu şartnamelerdeki tasarım esasları ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmalar içerisinde deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi süreci anlatılmış ve analizlerde kullanılmış olan on bir adet deprem yer hareketi tespit edilmiştir. Bu kayıtlar şartnamelerde yer verilen kriterler doğrultusunda ölçeklendirilmiştir.

Kıyı ve liman yapısı nümerik analizleri Plaxis 2D yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sırasında analiz sonuçlarına direkt etkisi olan bazı faktörler (geometrik faktörler, kayıt özellikleri, ters evrişim özelliği ve spektrumların davranışı) hassasiyet analizleri ile ortaya konmuştur. Bu faktörlerden özellikle ters evrişim katsayısının seçiminin analiz sonuçlarına oldukça etkisi olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu faktörler dikkate alınarak, iki vaka üzerinde kıyı ve liman yapıları tasarımı iki farklı sismik kod kullanılarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

İlk vaka (Vaka-1) kazıklı bir dolgu yapısı olup nümerik modelde yükleme durumunu temsil etmektedir. Burada yapılan hassasiyet analizlerinde seçilen dekonvolüsyon katsayısı 0.5 olarak tespit edilmiştir. Bu katsayı kullanılarak ve DLH şartnamesi dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

Vaka-1 ayrıca sıvılaşma açısından da irdelenmiştir. Dolgunun yapıldığı bölge sıvılaşma analizleri neticesinde sıvılaşma potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda dolgu altındaki bölgede jet-grout yöntemi ile zemin ıslahı uygulanmış ve doğrusal olmayan analizler yapılmak suretiyle sıvılaşma problemi ortadan kaldırılmıştır.

İkinci vakada (Vaka-2) ise Eurocode sismik şartnamesi kullanılmıştır. Bu vakada ankrajlı ve kazıklı bir kazı destek sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarım boşaltma durumunu ortaya koyan bir tasarım olup dekonvolüsyon katsayısı 0.7 olarak kullanılması uygun bulunmuştur.

Bu tez çalışmasının, genel olarak kıyı ve rıhtım yapılarında yapılacak performansa bağlı tasarımların, tasarım esaslarını ortaya koyan yol gösterici bir referans olacağı düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Wu, C. and Wen, Y., 2000, Earthquake Ground Motion Simulation and Reliability Implications, A report on a research project sponsored by the National Science Foundation. Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 630, University of Illinois at Urbana Champaign.
- Kalkan, E. ve A.K. Chopra, 2010, "Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structures", Earthquake Engineering Research Institute, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010, 113 p.
- Graizer V. ve Kalkan E., 2009, Prediction of Response Spectral Acceleration Ordinates based on PGA Attenuation, Earthquake Spectra, Vol. 25, No. 1, pp. 36 – 69.
- Özdemir, Z. ve Fahjan Y.M, 2007, Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.
- Kramer, S.L., 2003, Geoteknik Deprem Mühendisliği, Gazi Kitapevi, Amerika Birleşik Devletleri, ISBN: 975-8640-63-1
- Abrahamson N.A. [1992] "Non-stationary spectral matching," Seismological Research Letters, Vol. 63, No. 1, p. 30.
- Hancock J., Watson-Lamprey J., Abrahamson N.A., Bommer J.J., Markatis A., McCoy E., Mendis R. , 2006, "An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets." Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10 pp. 67–89.
- 2008, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Resmi Gazete No: 27092.
- Schanz, T., Vermeer, P., and Bonier, P., 1999, "Formulation and Verification of the Hardening Soil Model. In Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Balkema, Rotterdam
- Duncan, J. M. and Chang, C. Y., 1970, "Nonlinear Analysis of Stress And Strain in Soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, pp. 1629-1653.
- Bahadır, A.A. ve Onur, M.İ., 2017, "Derin Kazı Destek Sistemi Tasarımında Zemin Modeli: Bir Vaka Analizi", 7.Geoteknik Sempozyumu.
- Kuhlemeyer, R.L., Lysmer, J., 1973, Finite Element Method Accuracy For Wave Propagation Problems. Journal of Soil Mechanics And Foundation Devision, 99 (5): 421–427.
- 2015, NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-1050-1), Washington

- 2015, NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-1050-2), Washington
- 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- 1998, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, İngiltere.
- 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures, Tokyo.
- 2011, PLAXIS 2D Tutorial, Reference, Scientific ve Material Models Manual, Hollanda.
- 2018, Genel İlkeler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 1.2, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 2.
- 2018, Türkiye Deprem Haritaları, <https://tdth.afad.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi 1 Şubat 2019].
- 2018, Deprem Yer Hareketi Düzeyleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.2, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 7.
- 2018, Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.3., TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 8.
- 2018, Yerel Zemin Etki Katsayıları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.3.2, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 8.
- 2018, Yatay Elastik Tasarım Spektrumu, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.3.4, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 9-10.
- 2018, Deprem Kayıtlarının Seçimi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.5.1, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 11-12.
- 2018, Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 2.5.2, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 12.
- 2018, Bina Önem Katsayıları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 3.1.2, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 15.
- 2018, Bina Performans Düzeyleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 3.4, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 17.

- 2018, Bina Performans Hedefleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Bölüm 3.4, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 18.
- 2008, Genel Yaklaşım: Performansa Göre Tasarım, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 1.1.2, Resmi Gazete No: 27092, 1.
- 2008, Deprem Etkisinin Tanımlanması, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 1.2, Resmi Gazete No: 27092, 1-2.
- 2008, Deprem Tasarım Spektrumları, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 1.2.2, Resmi Gazete No: 27092, 2-3.
- 2008, Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 1.2.4, Resmi Gazete No: 27092, 4.
- 2008, Kıyı ve Liman Yapıları İçin Tanımlanan Performans Düzeyleri, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 2.1.3, Resmi Gazete No: 27092, 11-12.
- 2008, Tasarım ve Değerlendirme Yöntemleri, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 2.1.3, Resmi Gazete No: 27092, 12-13.
- 2008, Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT), Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Bölüm 2.2.3, Resmi Gazete No: 27092, 17-18.
- 2001, Port Structures, Seismic Design Guidelines for Port Structures, Bölüm 2.4, Tokyo, 14.
- 2001, Performance-Based Methodology, Seismic Design Guidelines for Port Structures, Bölüm 3.1, Tokyo, 24-25.
- 2001, Sheet Pile Quay Walls, Seismic Design Guidelines for Port Structures, Bölüm 4.2, Tokyo, 35-36.
- 2001, Quay Walls With Cranes, Seismic Design Guidelines for Port Structures, Bölüm 4.5, Tokyo, 46
- Youd, T.L. et al., 2001, "Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 127 (10), 817–833p.
- PLAXIS 2D Tutorial, Material Models Manual, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Bora Arslan
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	16.10.1982
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0532 232 6363
E-Posta Adresi	b.arslan@arsgeo.com
Web Adresi	www.arsgeo.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2005

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
Öztoprak, S., 2016, Çoklu Heyelanların Olduğu Sahalarda Heyelan Hızı Ayarlama Esaslı Yeni Bir Geoteknik Geoteknik Projelendirme Anlayışı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, 13-14 Ekim 2016 Erzurum	
Anbarcı, M. 2012, The Construction Management Assessment Of A Railway Embankment Improvement By Geogrid And Jetgrout Technics, 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 October 2012 Middle East Technical University, Ankara	
Arslan, B., 2005, Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemleri ile Ankastre Fore Kazık İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Karşılaştırılması, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005, 17-19 Kasım 2005, İstanbul	