



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARMARA BÖLGESİ İÇİN DEPREM YER HAREKETLERİNİN SİMÜLASYONU

Jeoloji Müh. N.Özge ZÜLFİKAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Programı

Danışman

Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK

II. Danışman

Dr. A. Can ZÜLFİKAR

Eylül, 2013

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARMARA BÖLGESİ İÇİN DEPREM YER HAREKETLERİNİN SİMÜLASYONU

Jeoloji Müh. N. Özge ZÜLFİKAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Programı

Danışman

Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK

II. Danışman

Dr. A. Can ZÜLFİKAR

Eylül, 2013

İSTANBUL

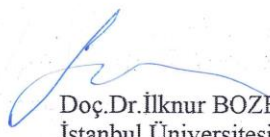
Bu çalışma 10/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç.Dr. Sadık ÖZTOPRAK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr. Feyza ÇİNİCİOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof.Dr. Ali PINAR
Boğaziçi Üniversitesi
Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enst.


Doç.Dr. İlknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç.Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin
XXXXXXXXXX numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr.Sadık ÖZTOPRAK'a en içten dileklerimle teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında ikinci danışmanım olarak atanan Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde uzman araştırmacı olarak görev yapan sayın hocam Dr.Can ZÜLFİKAR'a göstermiş olduğu ilgiden ve yardımlarından ötürü teşekkürü borç bilirim. Sismoloji konusunda sıklıkla yardımına başvurduğum sayın hocam Prof.Dr. Ali PINAR'a teşekkür eder, en içten dileklerimi sunarım.

Değerli hocalarımla yanı sıra, lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında maddi ve manevi desteklerini üzerimden esirgemeyen, bana her konuda yardımcı olan, zor zamanlarımda en büyük dayanağım olan sevgili annem, babam ve kardeşime derinden minnettarım. Anne, babam ve ikinci yarım kardeşim hayatta her zaman en ön sıradaki destekçilerim olmuşlardır. Göstermiş oldukları ilgiden ötürü kendilerine çok teşekkür ederim. En stresli ve yoğun olduğum dönemlerde yanımda olan ve bana moral veren Kandilli Rasathanesi Deprem Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği Bölümündeki çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmak isterim. Zeynep arkadaşşıma tezime yaptığır yardımlardan ötürü ayrıca teşekkür etmek isterim. Birçok konuda fikir alışverişinde bulunarak tezime katkıda bulunmuşlar ve bana bu zorlu süreçte yardımcı olmuşlardır. Lise ve üniversite yıllarımdan beri yanımda olup, iyi ve kötü zamanlarımda bana destek olan ve bu zorlu süreçte moral veren sevgili arkadaşları Ezgi ve Nazlı'ya çok teşekkür ederim.

Tüm yakınlarıma göstermiş oldukları sevgi ve saygıdan ötürü bir kez daha minnettarım, akademik anlamda kazandığım her başarımın arkasında onların payı olduğunu belirtmek isterim. Sayın hocalarımla, sevgili ailem ve dostlarımla hayat boyu bu yardımlarınızı unutmayacağım.

Saygı ve Sevgilerimle

Eylül, 2013

Jeoloji Müh N. Özge ZÜLFİKAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. PERFORMANSA DAYALI TASARIM.....	5
2.1.1. Sismik Kodlar ve Tasarım İvme Spektrumu	7
2.1.1.1. NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)- FEMA 450 (2003).....	8
2.1.1.2. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik- Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007)-DBYBHY.....	12
2.1.1.3. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008).....	14
2.1.1.4. ASCE Standartları (2007) 7.05	15
2.1.1.5. International Building Code - IBC (2006).....	15
2.1.1.6 Eurocode 8 (1998).....	15

2.1.2. Tasarımda İvme-Zaman Kayıt Seçimi ve Spektruma Kayıt Ölçekleme	17
2.2. SENTETİK KAYIT ÜRETİMİ.....	21
2.2.1. Gerçek Kayıtların Ölçeklenmesi.....	21
2.2.2. Deprem Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri İle Kayıt Üretimi	24
2.2.2.1 Düşük Frekanslı Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri.....	24
2.2.2.2 Yüksek Frekanslı Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri.....	25
2.3. YÜKSEK FREKANSLI YER HAREKETİ SİMÜLASYON YÖNTEMLERİ ..	29
2.3.1. Stokastik Nokta Kaynak Simülasyon Yöntemi-SMSIM	30
2.3.2. Stokastik Sonlu-Fay Simülasyon Yöntemi, FINSIM	40
2.3.3. Stokastik Sonlu Fay Simülasyon Yöntemi, EXSIM.....	44
3. MALZEME VE YÖNTEM	47
3.1. GİRİŞ	47
3.2. TEKİRDAĞ BÖLGESİNİN TEHLİKE TEPKİ SPEKTRUMU	48
3.3. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ.....	50
3.3.1 PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı.....	52
3.4. SİMÜLE EDİLMİŞ DEPREM YER HAREKETLERİ.....	56
3.4.1. Mw5.0 Manyitüdlü 25.07.2011 Marmara Denizi Depremi.....	56
3.4.2. D1 Tehlike Seviyeli Mw6.8 Manyitüdlü Simülasyon	68
3.4.3. D2 Tehlike Seviyeli Mw7.5 Manyitüdlü Simülasyon	73
3.5. GERÇEK VE SİMÜLATİF YER HAREKETİ İVME KAYITLARININ TEPKİ SPEKTRUMUNA ÖLÇEKLENMESİ	78
3.5.1. D1 Tehlike Seviyeli Tepki Spektrumuna Ölçeklenmiş Gerçek ve Simülatif Kayıtlar	79
3.5.2. D2 Tehlike Seviyeli Tepki Spektrumuna Ölçeklenmiş Gerçek ve Simülatif Kayıtlar	97
3.6. PLAXIS ^{2D} YAZILIMI İLE DİNAMİK ANALİZ.....	114

3.7. FLAC ^{3D} YAZILIMI İLE DİNAMİK ANALİZİ	118
3.8. KAYITLARIN TASARIMA ETKİSİNİ İNCELEMELİK İÇİN SEÇİLEN GEOTEKNİK PROBLEMLER.....	126
3.8.1. Liman Kazıkları	126
3.8.2. Gömülü Boru Modeli.....	133
4. BULGULAR	138
4.1. GERÇEK VE SİMULE EDİLMİŞ KAYITLARIN LİMAN KAZIKLARINDA DEPLASMAN VE KESİT TESİRLERİNE ETKİSİ.....	138
4.2. GERÇEK VE SİMULE EDİLMİŞ KAYITLARIN GÖMÜLÜ BORULARDA DEPLASMANA ETKİSİ	163
4.3. KAYIT SEÇİMİNİN TASARIMA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI	169
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	188
KAYNAKLAR	191
ÖZGEÇMİŞ.....	194

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Performansa dayalı tasarımı gerçekleştirmek için kullanılan araçlar	7
Şekil 2.2: Üniform tehlike tepki spektrumu	9
Şekil 2.3: Dizayn Spektral Tepki İvmesi Spektrumu	12
Şekil 2.4: Tasarım İvme Spektrumu	14
Şekil 2.5: Elastik tepki spektrumunun sadeleştirilmiş şekli-EN 1998-1	17
Şekil 2.6: Spektral eşleştirme modülü kullanıcıyı bu arayüzle karşılamakta ve hedef spektrum bu arayüz vasıtasıyla seçilmektedir.....	22
Şekil 2.7: Tepki spektrumu editörü ile hedef tepki spektrumu oluşturulmaktadır.	23
Şekil 2.8: Veri tabanından seçilen kayıtlar ve ölçekleme katsayıları puanları	23
Şekil 2.9: Hedef spektrum ve ölçeklenen kayıt.	24
Şekil 2.10: Orta ve doğu Kuzey Amerika'da kullanılan geometrik yayılma fonksiyonu, Atkinson ve Boore (1995) ve Frankel ve diğ.(1996)'den alıntıdır.	33
Şekil 2.11: Aki (Aki, 1980, Cormier, 1982'den özetlenmiş)'nin gözlemsel ters kayma-dalgası Q modeli.	33
Şekil 2.12: $Q(f)$ modeli: log-log ölçekte üç segmentten oluşmaktadır. Segmentler önceki şekildeki $Q(f)$ fonksiyonunun idealize edilmiş halidir. Şekilde, Q fonksiyonu kısa periyod için geçerli olan $Q = 680f^{0.38}$ modeli ile tanımlanmıştır (Şekil 2.2'deki veri seti, s1 uzun-periyodu tanımlamak için yeterli değildir).	34
Şekil 2.13: Doğu Kuzey Amerika'daki depremlerde gözlemlenen süre (kaynak süresinin çıkarılmış hali). Veri seti, Atkinson (1993) ve Atkinson ve Boore (1995) tarafından stokastik simülasyon yöntemlerinde yörünge-bağımlı süreyi belirlemek için kullanılmıştır. Üç parçalı çizgisel model Atkinson ve Boore (1995)'un doğu Kuzey Amerika'nın yer hareketi simülasyonlarında kullanılan süre fonksiyonudur,.	35
Şekil 2.14: Stokastik yöntem yer hareketi simülasyon yöntemi aşamaları.	38
Şekil 2.15: Gürültüyü şekillendirmek için kullanılan kutu ve eksponansiyel pencereler ile yapılan zaman alanı simülasyon dalga formlarının karşılaştırılması.	39
Şekil 3.1: Çalışma alanı Tekirdağ-Asyaport ve güncellenmiş fay segment modeli.	48
Şekil 3.2: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumu.	50
Şekil 3.3: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumu.	50
Şekil 3.4: PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) kuvvetli yer hareketi veri tabanı web sayfası, Ölçeklenmiş veya Ölçeklenmemiş kayıt seçimi.....	53
Şekil 3.5: Ölçeklenmemiş kayıt seçiminde arama seçenekleri; Deprem ismi, NGA no, yer hareketini kaydeden istasyonun ismi.	54
Şekil 3.6: Seçilen depreme ve istasyon adına göre listenen kayıtlar.	54
Şekil 3.7: 25.07.2011 tarihli Mw5.0 manyitüdlü Marmara Denizi depremi	57
Şekil 3.8: Doğrultu atımlı Marmara Denizi depremi fayının şematik gösterimi	57
Şekil 3.9: Kaynaktan sahaya olan uzaklık çeşitleri.	58
Şekil 3.10: Fay düzleminin boyutları- $RlxRw$, birim altfay boyutları- rw_xrl	59
Şekil 3.11: Ansal ve Akıncı (2009) tarafından Marmara Bölgesi için önerilen anelastik azalım modeli.....	60
Şekil 3.12: Simülasyonda kullanılan kaynak-süre modeli,.....	61
Şekil 3.13:Uyumsuzluk modeline göre farklı stres düşümü değerlerine göre yapılan simülasyonlar ile istasyon kayıtları arasındaki hata oranı.....	63

Şekil 3.14: Castro ve diğ, 2008 tarafından önerilen uyumsuzluk modeline göre farklı yer kabuğu dalga hızı değerlerine göre yapılan simülasyonlar ile istasyon kayıtları arasındaki hata oranı.....	63
Şekil 3.15: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R57 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	65
Şekil 3.16: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R43 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	65
Şekil 3.17: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R15 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	66
Şekil 3.18: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R95 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	66
Şekil 3.19: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R12 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	67
Şekil 3.20: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R90 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	67
Şekil 3.21: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R02 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.....	68
Şekil 3.22: Mw6.8 büyüklüğündeki senaryo deprem, fay ve fay kırılma çeşitleri.....	69
Şekil 3.23: Mw6.8 d1-s1 kayıt numaralı Senaryo-1'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	71
Şekil 3.24: Mw6.8 d1-s2 kayıt numaralı Senaryo-2'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	71
Şekil 3.25: Mw6.8 d1-s3 kayıt numaralı Senaryo-3'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	71
Şekil 3.26: Mw6.8 d1-s4 kayıt numaralı Senaryo-4'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	72
Şekil 3.27: Mw6.8 d1-s5 kayıt numaralı Senaryo-5'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	72
Şekil 3.28: Mw6.8 d1-s6 kayıt numaralı Senaryo-6'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	72
Şekil 3.29: Mw6.8 d1-s7 kayıt numaralı Senaryo-7'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	73
Şekil 3.30: Mw6.8 d1-s8 kayıt numaralı Senaryo-8'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	73
Şekil 3.31: Mw7.5 büyüklüğündeki senaryo depreme ait fay ve kırılma çeşitleri.....	74
Şekil 3.32: Mw7.5 d2-s1 kayıt numaralı Senaryo-1'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	76
Şekil 3.33: Mw7.5 d2-s2 kayıt numaralı Senaryo-2'ye ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	76

Şekil 3.34: Mw7.5 d2-s3 kayıt numaralı Senaryo-3'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	76
Şekil 3.35: Mw7.5 d2-s4 kayıt numaralı Senaryo-4'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	77
Şekil 3.36: Mw7.5 d2-s5 kayıt numaralı Senaryo-5'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	77
Şekil 3.37: Mw7.5 d2-s6 kayıt numaralı Senaryo-6'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	77
Şekil 3.38: Mw7.5 d2-s7 kayıt numaralı Senaryo-7'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	78
Şekil 3.39: Mw7.5 d2-s8 kayıt numaralı Senaryo-8'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.....	78
Şekil 3.40: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait gerçek ivme kaydı.	80
Şekil 3.41: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	80
Şekil 3.42: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	81
Şekil 3.43: NGA-879 no'lu Landers depremine ait gerçek ivme kaydı.	81
Şekil 3.44: NGA-879 no'lu Landers depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	81
Şekil 3.45: NGA-879 no'lu Landers depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	81
Şekil 3.46: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	82
Şekil 3.47: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	82
Şekil 3.48: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	82
Şekil 3.49: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	82
Şekil 3.50: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	82
Şekil 3.51: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	83
Şekil 3.52: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.	83
Şekil 3.53: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	83
Şekil 3.54: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	83
Şekil 3.55: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.	84
Şekil 3.56: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	84
Şekil 3.57: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	84
Şekil 3.58: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait gerçek ivme kaydı.	84
Şekil 3.59: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	84
Şekil 3.60: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	85
Şekil 3.61: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	85
Şekil 3.62: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	85
Şekil 3.63: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	85
Şekil 3.64: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	86
Şekil 3.65: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	86
Şekil 3.66: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	86
Şekil 3.67: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait gerçek ivme kaydı.	86
Şekil 3.68: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	86
Şekil 3.69: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	87
Şekil 3.70: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait gerçek ivme kaydı.	87
Şekil 3.71: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	87
Şekil 3.72: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	87
Şekil 3.73: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	87
Şekil 3.74: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	88
Şekil 3.75: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	88
Şekil 3.76: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	88

Şekil 3.77: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.....	88
Şekil 3.78: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	88
Şekil 3.79: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	89
Şekil 3.80: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	89
Şekil 3.81: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	89
Şekil 3.82: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait gerçek ivme kaydı.	89
Şekil 3.83: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	89
Şekil 3.84: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	90
Şekil 3.85: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	90
Şekil 3.86: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	90
Şekil 3.87: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	90
Şekil 3.88: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait gerçek ivme kaydı.	91
Şekil 3.89: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	91
Şekil 3.90: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	91
Şekil 3.91: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	91
Şekil 3.92: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	91
Şekil 3.93: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	92
Şekil 3.94: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	92
Şekil 3.95: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	92
Şekil 3.96: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	93
Şekil 3.97: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	93
Şekil 3.98: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	93
Şekil 3.99: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	93
Şekil 3.100: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	94
Şekil 3.101: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	94
Şekil 3.102: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	94
Şekil 3.103: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	94
Şekil 3.104: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	94
Şekil 3.105: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	95
Şekil 3.106: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	95
Şekil 3.107: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	95
Şekil 3.108: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	95
Şekil 3.109: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	96
Şekil 3.110: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	96
Şekil 3.111: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	96
Şekil 3.112: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	96
Şekil 3.113: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	96
Şekil 3.114: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	97
Şekil 3.115: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait gerçek ivme kaydı.	98
Şekil 3.116: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	98
Şekil 3.117: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	98
Şekil 3.118: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.	99
Şekil 3.119: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	99
Şekil 3.120: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	99
Şekil 3.121: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	99
Şekil 3.122: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	99
Şekil 3.123: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	100
Şekil 3.124: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	100

Şekil 3.125: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	100
Şekil 3.126: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	100
Şekil 3.127: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.	101
Şekil 3.128: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	101
Şekil 3.129: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	101
Şekil 3.130: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.	101
Şekil 3.131: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	101
Şekil 3.132: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	102
Şekil 3.133: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait gerçek ivme kaydı.	102
Şekil 3.134: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	102
Şekil 3.135: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	102
Şekil 3.136: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	103
Şekil 3.137: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	103
Şekil 3.138: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	103
Şekil 3.139: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.	103
Şekil 3.140: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	103
Şekil 3.141: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	104
Şekil 3.142: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait gerçek ivme kaydı.	104
Şekil 3.143: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	104
Şekil 3.144: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	104
Şekil 3.145: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait gerçek ivme kaydı.	105
Şekil 3.146: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	105
Şekil 3.147: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	105
Şekil 3.148: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	105
Şekil 3.149: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	105
Şekil 3.150: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	106
Şekil 3.151: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	106
Şekil 3.152: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	106
Şekil 3.153: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	106
Şekil 3.154: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	107
Şekil 3.155: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	107
Şekil 3.156: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	107
Şekil 3.157: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait gerçek ivme kaydı.	107
Şekil 3.158: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	107
Şekil 3.159: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	108
Şekil 3.160: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.	108
Şekil 3.161: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	108
Şekil 3.162: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	108
Şekil 3.163: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait gerçek ivme kaydı.	109
Şekil 3.164: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	109
Şekil 3.165: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	109
Şekil 3.166: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	109
Şekil 3.167: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	109
Şekil 3.168: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	110
Şekil 3.169: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	110

Şekil 3.170: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	110
Şekil 3.171: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	110
Şekil 3.172: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	111
Şekil 3.173: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	111
Şekil 3.174: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	111
Şekil 3.175: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	111
Şekil 3.176: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	111
Şekil 3.177: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	112
Şekil 3.178: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	112
Şekil 3.179: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	112
Şekil 3.180: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	112
Şekil 3.181: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	113
Şekil 3.182: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	113
Şekil 3.183: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	113
Şekil 3.184: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	113
Şekil 3.185: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	113
Şekil 3.186: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	114
Şekil 3.187: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.	114
Şekil 3.188: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.	114
Şekil 3.189: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.	114
Şekil 3.190: Mohr-Coulomb akma kriteri	124
Şekil 3.191: Dinamik analiz için kullanılan serbest alan sınır şartları.....	125
Şekil 3.192: Asya Port limanı, dolgu yapım aşaması.	126
Şekil 3.193: Çalışma alanında yer alan zemin kesitleri şeması	127
Şekil 3.194: GH zemin kesiti [JG=Jet-Grout kolonları, RS=Kaya surşarjı, c=çelik kablo].	128
Şekil 3.195: GH' zemin kesitinin PLAXIS modeli	129
Şekil 3.196: Analizde kullanılan dolgu, kompozit zemin ve jet-grout kolonlarının parametreleri	131
Şekil 3.197: Doğal kum zemine ait parametreler.	132
Şekil 3.198: Free-Field Sınır Koşullarını Gösteren Modelin Geometrisi	134
Şekil 3.199: Kum için geliştirilen Modulus azalım eğrisi.	136
Şekil 3.200: 13 metre uzunluğundaki silindirik borunun eksenel konumu	136
Şekil 3.201: Zemin sınıfını tanımlayan tabakalar ve üç boyutlu modelin geometrisi.	137
Şekil 3.202: Dinamik analiz sonrasında boru çevresinde ve gömülü bulunduğu zemin kütlesinde meydana gelen deplasman vektörleri.	137
Şekil 4.1: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deplasman kontürleri (D1-r7 kaydı).	139
Şekil 4.2: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deplasman kontürleri (D2-r7 kaydı)	139
Şekil 4.3: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deforme olmuş mesh (D2-r7 kaydı) (5 kat abartılarak çizdirilmiştir).	140
Şekil 4.4: GH' zemin profil kesitinde yer alan tüp şekilli çelik ön kazıkların deplasman ve kesit tesiri kuvvetleri (D2-r7).	140
Şekil 4.5: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek ve simule edilmiş kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 7.0 cm'dir.	141
Şekil 4.6: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 8.5 cm'dir.	142
Şekil 4.7: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 5.0 cm'dir.	142
Şekil 4.8: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen simule edilmiş kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 8.4 cm'dir.	143
Şekil 4.9: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen maksimum deplasman veren 7 adet gerçek ve simule edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 11.2 cm'dir.	144

Şekil 4.10: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen minimum deplasman veren 10 adet gerçek ve simule edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 10.4 cm'dir.	145
Şekil 4.11: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen minimum deplasman veren 7 adet gerçek ve simule edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 3.1 cm'dir.	146
Şekil 4.12: Max Mw manyitüdlü kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	147
Şekil 4.13: Max Rjb mesafeli kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	147
Şekil 4.14: Max RMS değerli kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	148
Şekil 4.15: Max ölçekleme katsayısına (SF) sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	148
Şekil 4.16: Max ölçeklenmiş PGA değerine sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	149
Şekil 4.17: Max Vs değerine sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7'li ve 10'lu gerçek kayıt paketleri.	149
Şekil 4.18: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre tüm kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 247 Mpa'dır.	151
Şekil 4.19: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre sadece gerçek kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 233Mpa'dır.	152
Şekil 4.20: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre filtrelenmemiş simule edilen kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 261 Mpa'dır.	153
Şekil 4.21: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilen tüm kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 257 Mpa'dır.	154
Şekil 4.22: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet max Mw'lü kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 250 Mpa'dır.	155
Şekil 4.23: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet min Mw'lü kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 255 Mpa'dır.	156
Şekil 4.24: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet max ölçeklenmiş PGA'li kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 256 Mpa'dır.	157
Şekil 4.25: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet min ölçeklenmiş PGA'li kayıtların güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 240 Mpa'dır.	158
Şekil 4.26: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek ve simule edilmiş kayıtların dizayn momenti D3 donatı tipi için 5073 kNm'dir.	159
Şekil 4.27: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtların dizayn momenti D2 donatı tipi için 4646 kNm'dir.	160
Şekil 4.28: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilmiş kayıtların dizayn momenti D4 donatı tipi için 5375 kNm'dir.	161
Şekil 4.29: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre filtrelenmemiş simule edilmiş kayıtların dizayn momenti D4 donatı tipi için 5293 kNm'dir.	162
Şekil 4.30: D1 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile kayıtların ölçeklenmiş PGA değerleri arasındaki ilişki.	166
Şekil 4.31: D1 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile kayıtların ölçeklenme puanları arasındaki ilişki. Kayıt hedef tepki spektrumuna ne kadar uyumluysa ölçekleme puanı o kadar yüksektir.	166
Şekil 4.32: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının alındığı zemin kayma dalga hızı-Vs30 arasındaki ilişki. Simule edilmiş kayıtlar anakayada yani 760 m/sn'de alınmıştır.	167

Şekil 4.33: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının RMS (root mean square) değerleri arasındaki ilişki.....	167
Şekil 4.34: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının Mw-moment manyitüd değerleri arasındaki ilişki.....	168
Şekil 4.35: D1-r11 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.....	168
Şekil 4.36: D1-r4 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.....	168
Şekil 4.37: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların Mw-moment manyitüdüne göre değişimi.	172
Şekil 4.38: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların ölçeklenmiş-PGA değerlerine göre değişimi.....	172
Şekil 4.39: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların ölçekleme faktörüne göre değişimi.....	172
Şekil 4.40: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların Rjb mesafelerine göre değişimi.	173
Şekil 4.41: D1-r16 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.....	174
Şekil 4.42: D1-r15 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.....	174
Şekil 4.43: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	175
Şekil 4.44: D2 tehlike seviyesine göre simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	176
Şekil 4.45: D2 tehlike seviyesine göre karışık kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	177
Şekil 4.46: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	178
Şekil 4.47: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.....	179
Şekil 4.48: D2 seviyesi arka betonarme kazıkların tasarımında kullanılan donatı-moment kapasitesi dağılımı.	179
Şekil 4.49: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	182
Şekil 4.50: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	183
Şekil 4.51: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	184
Şekil 4.52: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.....	185
Şekil 4.53: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen betonarme arka kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.....	186
Şekil 4.54: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen betonarme arka kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.....	187

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: NEHRP B/C sınırı için olasılıksal deprem tehlike analiz sonuçları.	49
Tablo 3.2: PEER kuvvetli yer hareketi veritabanından D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtları	55
Tablo 3.3: PEER kuvvetli yer hareketi veritabanından D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtları	55
Tablo 3.4: 25.07.2011 Marmara Denizi depremine ait bilgiler	57
Tablo 3.5: KRDAE-gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi istasyonları ve istasyonların fay düzleminin yüzey projeksiyonuna olan en kısa mesafesi-Rjb	61
Tablo 3.6: Mw5.0 Marmara Denizi depremi simülasyonunda kullanılan parametreler.....	64
Tablo 3.7: Mw6.8 büyüklüğündeki senaryo depreme ait parametreler.....	68
Tablo 3.8: Mw6.8 büyüklüğünde üretilen senaryo depremler	70
Tablo 3.9: Mw7.5 büyüklüğündeki senaryo depreme ait parametreler.....	74
Tablo 3.10: Mw7.5 büyüklüğünde üretilen senaryo depremler ve değişen parametreler	75
Tablo 3.11: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.	79
Tablo 3.12: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için üretilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.	80
Tablo 3.13: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları	97
Tablo 3.14: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için üretilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.	98
Tablo 3.15: PLAXIS zemin profilinde tanımlanan zemin tabakaları ve kullanılan PLAXIS zemin modeli	130
Tablo 3.16: Nümerik Modelde Kullanılan Zemin Sınıfı Özellikleri.....	134
Tablo 4.1: Gerçek ve simule edilmiş kayıtlarla hazırlanan paketler ve deplasman değerli, maksimum deplasman 9.8 cm'dir.	150
Tablo 4.3: D1 tehlike seviyesi gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleri sonucuna göre gömülü borudaki ortalama deplasman değerleri ve standart sapmaları	163
Tablo 4.4: D2 tehlike seviyesi gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleri sonucuna göre gömülü borudaki ortalama deplasman değerleri ve standart sapmaları	164
Tablo 4.5: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarının kayıt paketleriyle ilişkisi	165
Tablo 4.6: Tasarımda esas alınan kazık çapı ve et kalınlığına göre güvenlik gerilmesi ve kazık tipi 169	
Tablo 4.7: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.	170
Tablo 4.8: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simülatif kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.	171
Tablo 4.9: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre karışık kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.	171
Tablo 4.10: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri	180

Tablo 4.11: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilmiş kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri.	180
Tablo 4.12: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilmiş kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri	181
Tablo 5.1: D2 tehlike seviyeli ön çelik kazık analizi, farklı kayıt paketleriyle değişen kazık tipleri	188
Tablo 5.2: D2 tehlike seviyeli arka betonarme kazık analizi, farklı kayıt paketleriyle değişen donatı tipleri.....	189

SEMBOL LİSTESİ

A(T)	: Spektral ivme katsayısı
A₀	: Etkin yer ivmesi katsayısı
D	: Sönümleme oranı
g	: Yer çekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
M_w	: Moment manyitüd
Sa	: Spektral ivme
S(T)	: Spektrum katsayısı
T₀	: Salınım periyodu
T_A	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
T_B	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
Z1	: Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan 1. no'lu yerel zemin sınıfı
Z2	: Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan 2. no'lu yerel zemin sınıfı
Z3	: Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan 3. no'lu yerel zemin sınıfı
Z4	: Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan 4. no'lu yerel zemin sınıfı
D1	: Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki 1 no'lu deprem tehlike seviyesi
D2	: Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki 1 no'lu deprem tehlike seviyesi
Vs	: Kayma dalga hızı
N_{spt}	: SPT vuruş sayısı
Cu	: Uç direnci
Δσ	: Stres düşümü
R	: Hiposentral uzaklık
κ₀	: Kappa faktörü
Δl	: Alt fay uzunluğu
Δw	: Alt fay genişliği
pga	: En büyük yer ivmesi
Rjb	: Joyner Boore mesafesi-fay yüzeyine olan en kısa mesafe
RMS	: Root mean square
pgv	: En büyük yer hızı
SF	: Scale factor-ölçekleme katsayısı
φ	: içsel sürtünme açısı
γ	: Birim hacim ağırlık

ÖZET

MARMARA BÖLGESİ İÇİN DEPREM YER HAREKETLERİNİN SİMÜLASYONU

Türkiye sismik açıdan oldukça aktif bir coğrafya üzerinde olup deprem riskiyle sürekli karşı karşıya kalmaktadır. Gerek Kuzey Anadolu Fay hattı (KAF) gerekse de Doğu Anadolu Fay hattı (DAF), aktif sismisiteye sahip olup sıklıkla deprem üretmektedirler. Bilinen ve tecrübe edilen deprem riskine rağmen, son yıllarda meydana gelen büyük manyitüdlü 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli, 1999 Düzce ve 2011 Van depremlerinde can ve mal kaybı oldukça yüksek oranlarda gözlemlenmiştir. Depreme bağlı can ve mal kaybını en aza indirmek ve mühendislik açısından güvenli ve maliyeti uygun yapılar tasarlamak için son yıllarda deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, nümerik analiz yöntemleri kullanılarak modellenen yapılarda meydana gelen hasarı tespit ederek, hasarı ve riski göz önünde bulundurarak uygun maliyetle, hasar limitlerine göre belirlenen güvenli tasarımın yapılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda deprem riski göz önünde bulundurulduğunda kuvvetli yer hareketi kayıtlarının mevcut olmadığı veya yetersiz kaldığı afet riski yüksek olan bölgelerde, sentetik yer hareketi üretim yöntemleri, depremden bölgesel olarak etkilenebilecek bölgelerin belirlenmesinde ve performansa dayalı tasarımda büyük önem kazanmıştır. Sentetik yer hareketi üretim yöntemleri gerçek kuvvetli yer hareketi kayıtlarının bölgeye özel olarak belirlenmiş tasarım spektrumuna ölçeklenmesini ve kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemlerini kapsamaktadır. Fakat bu konudaki en büyük problem performansa dayalı tasarım kriteri için gereken deprem ivme kayıtlarının seçimi aşamasında tasarım şartnamelerinde verilen önerilerinde yetersiz kalması ve yalnızca üst yapılara yönelik bilgi içermesidir. Mevcut çalışmalar incelendiğinde yalnızca üst yapılar için deprem ivme kaydı seçimi ve sentetik kayıt üretiminin anlatıldığı görülmektedir. Literatürdeki bu eksikliği gidermek adına, tez kapsamında çalışma bölgesi olarak belirlenen Tekirdağ yöresinde iki adet geoteknik problem seçilerek, sentetik kayıt üretimi ve seçiminin geoteknik tasarıma etkisi çalışılmıştır. Sentetik kayıt üretimi, gerçek ivme kayıtlarının Tekirdağ yöresi için belirlenen tasarım spektrumuna ölçeklenmesi ve yüksek frekanslı kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemi kullanılarak üretilen simülatif ivme kayıtlarının aynı şekilde tasarım spektrumuna ölçeklenmesi ile üretilmiştir. Üretilen sentetik kayıtlar çelik ve betonarma liman kazıkları ve gömülü çelik boruların dinamik analizinde kullanılmış, deplasman ve kesit tesirlerine etkisi tartışılmıştır.

SUMMARY

SIMULATION OF GROUND MOTIONS OF EARTHQUAKE FOR MARMARA REGION

Turkey is located on a highly seismically active region that exposed frequently to earthquake risk. Both North Anatolian Fault (NAF) zone and East Anatolian Fault (EAF) zone have active seismicity and frequently produce earthquakes. Despite the well-known and experienced earthquake risk, it is observed that large magnitude earthquakes that occurred in recent years such as 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli, 1999 Düzce and 2011 Van Earthquakes caused heavy devastation and serious loss of life and property. In order to minimize the earthquake induced loss of life and property and design cost-effective structures, the concept of Performance-Based Design has been recently developed in earthquake engineering. This concept aims of achieving the most safe and cost-effective design taking into account the damage and the risk by determining the damage of a modeled structure using numerical analysis methods. In this context, when the earthquake risk is considered, because of the absence or inadequate strong motion records in highly disaster risk areas, synthetic ground motion generation methods gained great importance in terms of the determination of the regions affected by the earthquake and performance-based design. Synthetic ground motion generation method includes the scaling of real strong motion records to site-specific design spectrum and strong motion simulation methods. But the most challenging problem in this issue occurs at the stage of selecting earthquake acceleration records for performance based design criteria, because the design guidelines have incapable suggestion and contain information for only upper structures. When the current studies reviewed, it is observed that the selection of earthquake acceleration records for only upper structures is described in terms of generation of synthetic records. In order to overcome this deficiency in the literature, two geotechnical problems are selected in Tekirdağ study region and the effect of syntetic record generation and selection on geotechnical design is studied. Synthetic records are generated by scaling real recorded accelerograms with determiend design spectrum for Tekirdağ region and by scaling the same way of simulative acceleration records generated by using high frequency strong ground motion simulation method. The generated synthetic records are used in the analysis of steel and reinforced concrete quay wall piles and buried steel pipeline, and its effect on displacement and sectional force is discussed.

1. GİRİŞ

Sismolojik açıdan dünya dinamik bir mekanizmaya sahip olup, sismik açıdan aktif ve pasif bölgelerden oluşmaktadır. Türkiye aktif sismik bir bölge üzerinde bulunmakta olup, tektonik gelişimini halen sürdürmektedir. Dünya'nın en önemli ve uzun aktif faylarından biri olan sol doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı günümüzde büyük manyitüdlü depremler oluşturmaya devam etmektedir. Son olarak 1999 Kocaeli ve 1999 Düzce depremleri bu hat üzerinde meydana gelmiş, binlerce can kaybı ve çok yüksek oranda mal kaybına sebebiyet vermiştir. Son yıllarda Türkiye'de ve dünyada meydana gelen bu ve buna benzer büyüklükteki depremlerde aynı yıkıcı etkinin tecrübe edilmesi deprem mühendisliği topluluğunda yapısal tasarımda farklı bir yaklaşımın gelişmesinde rol oynamıştır. Bu şekilde ortaya çıkan 'Performansa dayalı tasarım' kavramı nümerik analizlerle maksimum ve minimum hasarı belirlemeyi ve buna göre en uygun tasarımı oluşturmayı hedeflemiştir. Bu sayede yapılar üzerindeki mevcut risk öngörülerek buna göre önlem alınması sağlanmıştır. Özellikle nüfus yoğunluğu yüksek olan şehirlerde deprem risk senaryolarına göre, kentsel dönüşüm projeleri planlanmış ve yüksek maliyetli baraj, nükleer santral, liman vb. mühendislik yapılarında performansa dayalı dizayn kriteri göz önünde bulundurularak tasarım yapılmış ve yapılmaktadır.

Performansa dayalı tasarım için teknik dizayn kriterlerine ve deprem spektrum grafiğine ihtiyaç duyulmaktadır; bu kriterler çeşitli tasarım şartnamelerinde verilmiş olup çeşitli yapısal elemanların sismik dizaynı için belirlenen güvenlik gerilmesi, dizayn momenti ve şekil değiştirme oranları sunulmaktadır. Deprem spektrum grafiği ise deprem etkisine maruz kalan yapının farklı periyotlarda oluşan titreşimlerden elde edilen davranışının (ivme, hız veya yerdeğiştirme) maksimumunu gösteren eğridir. Gerçek bir deprem kaydında farklı periyotlarda birçok harmonik titreşim mevcuttur. Her harmonik titreşim yapı üzerinde farklı dinamik davranışların oluşmasına sebep olur. Deprem spektrum grafiği deprem hareketinin meydana getirdiği bütün harmonik titreşimler nedeniyle oluşacak maksimum tepkileri içermekte ve binaların sismik analizinde kullanılmaktadır. Deprem spektrum grafiği belirli bir depremin ivme spektrumuna göre veya büyük depremler incelenerek genelleştirilmiş bir ivme spektrumuna göre çizilir.

Yapıların sismik analizinde maruz kalabileceği tehlike, birçok deprem incelenerek genelleştirilmiş bir ivme spektrumuna ölçeklenen gerçek veya simülatif deprem ivme kayıtları ile belirlenebilmektedir. Deprem spektrumuna ölçeklenerek üretilen bu sentetik kayıtlar daha sonra yapısal analizlerde kullanılmakta ve yapının tecrübe edebileceği maksimum deplasman, güvenlik gerilmesi ve moment değerleri belirlenebilmektedir.

Tasarım şartnameleri incelendiğinde yapısal analizde kullanılacak kayıtların seçimi konusunda çok kısıtlı bilgi verilmekte ve neden-sonuç ilişkisi irdelenmemektedir. Şartnamelerdeki bu durum üst yapı çalışan araştırmacıları kayıt seçimi konusunda incelemeye sevk etmiştir dolayısıyla üst yapı açısından bakıldığında seçim kriterlerinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma bulunmakla beraber geoteknik yapılar için böyle bir çalışma söz konusu değildir. Literatürdeki bu eksiklikten ötürü geoteknik yapıların tasarımında öznel karar verme söz konusudur. Bu tez kapsamında sentetik kayıtların geoteknik yapılara etkisi, kayıt seçiminde önemli olan kriterler, manyitüd, kaynağa uzaklık, ölçekleme faktörü gibi özelliklerin deplasman ve kesit tesirleri üzerindeki etkisi ve kayıt seçimi ile dizayn değişimi çalışılmış ve tartışılmıştır.

Çalışma kapsamında ilk olarak performansa dayalı tasarımın adımlarından biri olan sismik kodlar ve tasarım ivme spektrumları incelenmiştir. Bölüm 2.1 dahilinde NEHRP (2003), DBYBHY (2007), Kıyı ve liman yapıları, demiryolları, hava meydanları inşaatlarına ilişkin deprem teknik yönetmeliği (2008), ASCE Standartları (2007), IBC (2006) ve Eurocode 8 (1998) anlatılmıştır. Bu teknik yönetmelik ve standartlarda belirtilen ivme-zaman kayıt seçimi ve spektruma kayıt ölçekleme adımları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2.2’de sentetik kayıt üretimine değinilmiştir; bu kapsamda kayıt ölçekleme ve kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemleri anlatılmıştır. Özellikle sismik açıdan aktif olan fakat kuvvetli yer hareketi kayıtlarının yetersiz kaldığı bölgelerde, performansa dayalı tasarım kriteri için kuvvetli yer hareketi kayıtlarının elde edilmesi ve deprem ivme kaydı seçimi ileride meydana gelebilecek bir depreme karşı önlem alınması bakımından büyük önem arz etmektedir. Risk ve performans analizlerinde kullanılan, bölgeye özel kuvvetli yer hareketi kayıtları çoğu zaman sayı ve büyüklük bakımından yetersiz kalmakta veya bölgeye ait hiç kayıt bulunmamaktadır. Bu durumda sentetik yer hareketi kaydı üretme gereksinimi doğmaktadır. Literatürde sentetik yer hareketi

üretmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında, dalga hareketini fiziksel olarak modelleyen yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır; kaynak tipine göre fay veya nokta kaynak olarak modellemek mümkündür. Yer hareketlerinin düşük frekanslı kısımları deterministik yöntemlerle, yüksek frekanslı kısımları ise stokastik yöntemlerle modellenmektedir. Gerçek yer hareketleri ise tüm frekansları içeren geniş-bantlı hareketlerdir. Mühendislik yapılarını en çok ilgilendiren frekans bantlarında (1 Hz civarında) düşük ve yüksek frekanslı sentetik yer hareketleri, uygun filtreler kullanılarak birleştirilmektedir. Bu şekilde elde edilen simule edilmiş deprem kayıtları ASCE şartnamesinde (2007) de belirtildiği gibi, gerçek kayıtların yetersiz kaldığı bölgelerde performansa dayalı yapısal analizlerde kullanılabilir.

Bölüm 3'te ise çalışma alanı olarak seçilen Batı Marmara bölgesinde yer alan sismik açıdan yüksek aktiviteye sahip Tekirdağ yöresine ait tehlike tepki spektrumu verilmekte ve Tekirdağ yöresinde seçilen geoteknik problemler için kayıt üretimi aşamaları anlatılmaktadır. İlk olarak PEER deprem ivme kaydı veritabanından seçilen gerçek yer hareketi ivme kayıtları Tekirdağ yöresi için belirlenmiş D1 ve D2 seviyeli tehlike tepki spektrumlarına ölçeklenmiştir. Sonrasında ise D1 ve D2 tehlike seviyeli simülatif kayıtlar üretmek için ilk olarak 2011 yılında Marmara Denizi'nin Tekirdağ açıklarında meydana gelen Mw5.0 büyüklüğündeki gerçek bir deprem verifiye edilerek Marmara bölgesine özel yörünge ve kaynak parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler doğrulandıktan sonra D1 tehlike seviyeli Mw6.8 büyüklüğünde ve D2 tehlike seviyeli Mw7.5 büyüklüğünde iki adet senaryo deprem simule edilmiştir. Simule edilen bu ivme kayıtları da D1 ve D2 seviyeli tehlike tepki spektrumuna ölçeklendikten sonra üretilen tüm sentetik kayıtlar Tekirdağ yöresinde biri liman kazıkları diğeri gömülü boru olmak üzere iki adet geoteknik problemin dinamik analizinde kullanılmıştır.

Ölçeklenmiş 34 gerçek (D1+D2) ve 48 simülatif (D1+D2) kayıt kullanılarak yapılan çelik ve betonarme kazık ve çelik gömülü boru analiz sonuçları 4.Bölüm'de verilmektedir. Liman kazıkları ön (çelik) ve arka (betonarme) olmak üzere iki tipte modellenmiştir. D1 tehlike seviyesinde kazıklarda yalnızca deplasman sonuçları incelenirken D2 seviyesinde ön ve arka kazıklar için kesit tesirleri incelenmiştir. Buna karşın gömülü boruda ise sadece deplasmanlar incelenmiştir. Liman kazıklarında D2 tehlike seviyesine göre ölçeklenen kayıtların tasarıma etkisi kazık tipi ve donatı tipine

bağlı olarak incelenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen deplasman ve kesit tesiri değerlerinin, deprem manyitüdü-Mw, istasyon kaydının kaynağa uzaklığı-Rjb, kaydın alındığı zemin koşulu-Vs, ölçekleme faktörü ve ölçeklenmiş PGA ile bir ilişkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Deprem şartnamelerinde ve standartlarında belirtilen kayıt seçimi bölümündeki, kayıt sayısına ve özelliklerine dair koşullara ek olarak yeni öneriler sunulmuştur. 7 kayda ek olarak 10 ve 14'lü paketler oluşturulmuş ve tasarımı nasıl etkilediği tartışılmıştır. Buna ek olarak kayıt seçiminde en büyük etkenin kaydın frekans içeriği ve genlik spektrumunun hangi frekans aralığında yoğunlaşmış olduğu sonucuna varılmıştır.

Son bölüm olan tartışma ve sonuçta, geoteknik yapıların performansa dayalı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken faktörler, kayıt seçiminde hangi kayıtların ve kaç kaydın seçilmesi gerektiği hususuna dair öneriler sunulmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

Sismik açıdan aktif bölgelerde tehlike değerlendirmesi çalışmalarında ve yapı tasarımında kullanılmak üzere gerekli olan ivme-zaman kayıtlarının yetersiz olduğu bölgelerde yer hareketi simülasyon yöntemlerine büyük gereksinim duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan yer hareketi simülasyon yöntemlerine, tehlike tepki spektrumlarına ve geoteknik tasarımda kullanılan yazılımlara kaynak teşkil eden çalışmalar bu bölümde sunulmuştur.

2.1. PERFORMANSA DAYALI TASARIM

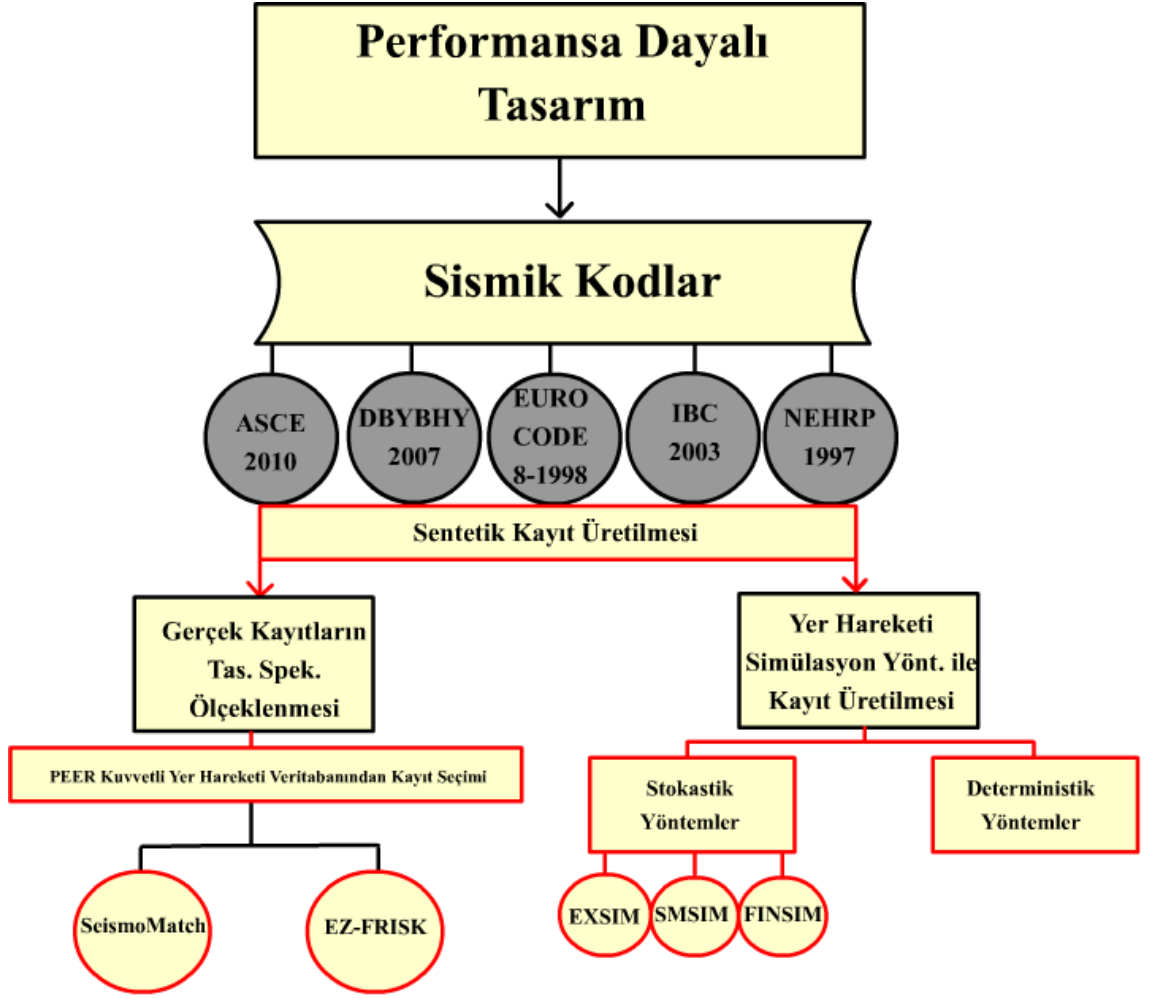
Performansa göre tasarım, deprem etkileri altında temel ilke olarak *performansı* esas alır. Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar, sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. *Kabul edilebilir hasar limitleri*, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen *performans hedefleri* ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde nonlinear deformasyonlara karşılık geldiğinden performansa göre tasarım yaklaşımı doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yöntemleri ve *şekil değiştirmeye (deformasyona) göre tasarım* kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, geleneksel *dayanıma göre tasarım* ilkesi çerçevesinde doğrusal (linear) analiz yöntemleri de kullanılmaktadır.

Buna karşın, deprem mühendisliği topluluğunda, binaların koda dayalı dizaynı ve sismik performans değerlendirmesinde, nonlinear tepki-zaman analizi kullanılarak, nasıl uygun bir deprem yer hareketi seçileceği ve ölçeklendirileceği konusunda ortak bir görüş bulunmamaktadır. Nonlinear tepki-zaman analizi amacıyla profesyonel anlamda yer hareketi seçiminde ve ölçeklendirmesinde dikkatli olunmalıdır.

Tepki-Zaman Analizi şu nedenlerle yapılmaktadır: Özellikle sismik izolatör veya enerji yayma aygıtları ile donatılmış yeni binalar tasarlarırken; Mevcut binalara, ASCE/SEI 41-

06'da belirtildiği gibi sismik iyileştirmeler yapılırken (ASCE, 2007); Yeni binalara, uygun olmayan çerçeve tasarımı yaparken; Yeni ve mevcut binaların performanslarını değerlendirirken.

Tepki-zaman analizlerinde üç (veya daha fazla) veya yedi (veya daha fazla) set yer hareketi kullanımı, 1980'ler ve 1990'lardaki sismik izolasyon dizaynı için yazılan kurallara dayandırılabilir. Eğer üç set analiz yapılıyorsa, bileşen kontrolü için üç pik tepkinin maksimum değeri kullanılır. Eğer yedi set analiz yapılıyorsa, bileşen kontrolü için yedi pik tepkinin ortalama değeri kullanılır. Kesin dil, 4,5,6,8 ve daha fazla yer hareketi setinin kullanılmasına izin verse de, üç veya yedi set yer hareketinin kullanılmasından daha fazla pratik avantaj sağlamamaktadır. Ayrıca bu kuralların teknik bir dayanağı da bulunmamaktadır. Ortalama tepkiyi yüksek derecede güvenilirlikle tahmin etmek için minimum sayıda analiz, ölçeklenmiş hareketin hedef spektral şekle iyi uyumunun bir fonksiyonudur. Huang ve diğ (2008b), spektral şekli göz ardı ederek, gerekli sayıda yer hareketi seti oluşturmak için kullanılabilecek bir eşitlik geliştirmiştir. Yüksek güvenilirlik ve doğrulukla ortalama tepkiyi tahmin etmek için, yedi kayıt setinden daha fazlasına ihtiyaç vardır.



Şekil 2.1: Performansa dayalı tasarımı gerçekleştirmek için kullanılan araçlar

2.1.1. Sismik Kodlar ve Tasarım İvme Spektrumu

Sismik bina kodlarının asıl amacı, herhangi bir lokasyondaki sismik güçleri belirlemekle beraber güvenli ve ekonomik bir tasarım için uniform bir yöntem sağlamaktır. Dünya çapında her ülkenin kendi geliştirdiği sismik dizayn kodları bulunmakla beraber, otoritelerce kabul edilen enternasyonal sismik kodlar da bulunmaktadır. Bazı kodlar bir deprem sırasında gelişen tehlikeyi azaltarak can kaybı önlemeye yönelik bazıları ise hem can hem mal kaybı önlemeye yönelik olarak geliştirilmişlerdir. A.B.D’de ilk etapta üç farklı kod geliştirilmiş ve bunlardan batı Amerika için geliştirilen UBC (Uniform Building Code-1997) ve diğer iki kod birleştirilerek IBC (International Building Code-2000)’nin temelini oluşturmuştur. İlk olarak 1985 yılında düzenlenen NEHRP kriterlerinin 1994 ve 1997 versiyonları ASCE 7’nin 1995 ve 1998 versiyonlarında sismik dizayn kriterlerinin temelini oluşturmuştur. ASCE 7-05-2005 ise 2003 NEHRP kriterlerine dayanmaktadır. NEHRP Kriterleri

aslında sismik bir kod olmamasına rağmen kodların geliştirilmesinde rol oynaması için düzenlenmiş olan hükümleri içermektedir. Avrupa’da ise Avrupa Birliği çerçevesinde kabul edilen yapısal dizayn standartlarına uygun olarak ilk olarak 1990 yılında yayınlanan Eurocode standartları yıllar içerisinde gelişim göstermiş ve 1998 yılında sismik dizayn için temel oluşturan Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance standartları ortaya çıkmıştır. Yine 1998 yılında Türkiye’de sismik dizayn şartnamesi güncellenmiş ve *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik* yayınlanmıştır (DBYBHY). 2007 yılında güncellenen sismik kodda NEHRP’den farklı bir elastik dizayn spektrumu geliştirilmiştir. 2008 yılında ise *Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği* yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte ise dizayn tepki spektrumu NEHRP’e göre hesaplanmaktadır. Genel anlamda tüm sismik dizayn şartnameleri incelendiğinde hepsinin temeli NEHRP düzenlemelerinin olduğu görülmektedir. Gerek ASCE 7, Eurocode 8, IBC (2003) gerekse de DLH kodlarının sismik koşullar kısımlarında (zemin sınıflamaları ve tasarım ivme spektrumu bölümleri) NEHRP düzenlemeleri istenmektedir.

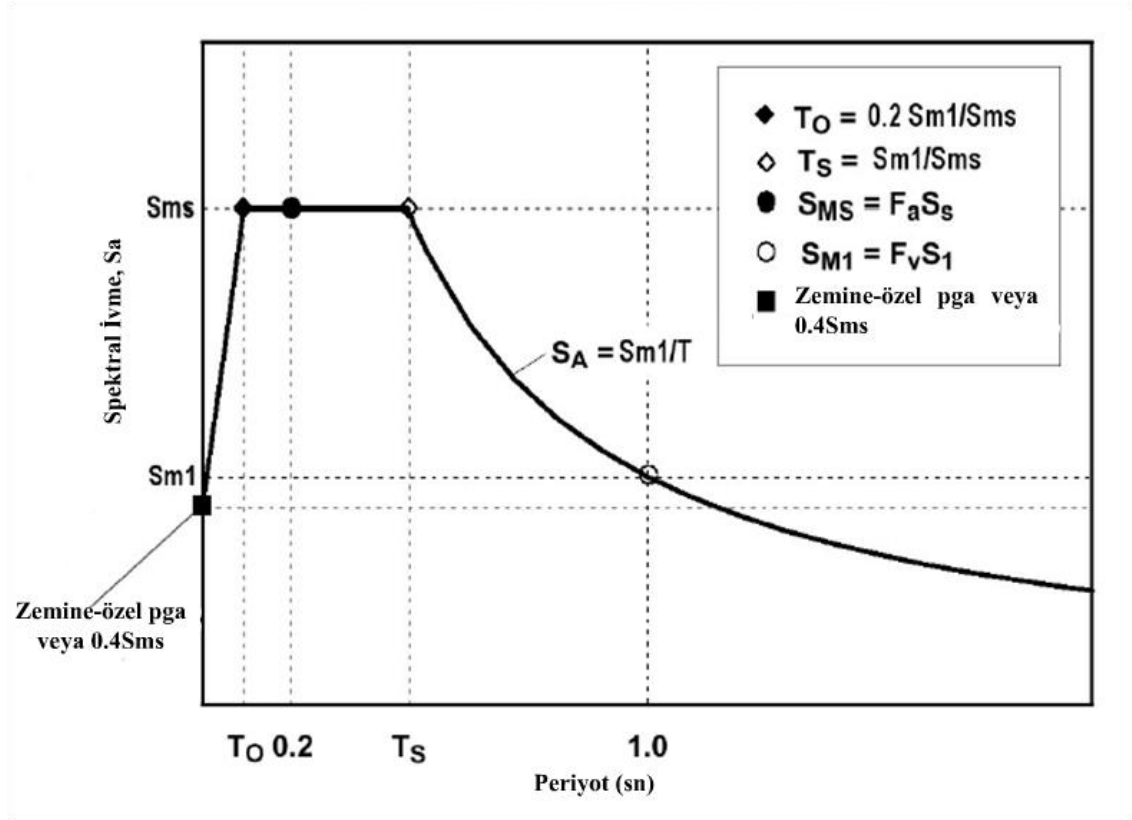
2.1.1.1. NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)-FEMA 450 (2003)

FEMA (Federal Emergency Management Agency) departmanının hedeflerinden biri deprem tehlikesini işaret eden bölgelerde hasar ve yaralanma riskini en aza indirmek ve bina tasarımlarını mevcut riske göre planlamaktır. NEHRP-Recommended Provisions for Seismic Regulation of New Buildings and Other Structures düzenlemeleri, FEMA’nın sponsorluğu ile geliştirilmiş A.B.D’deki yapıların sismik güvenliğini geliştirmeye yönelik koşulları içermektedir.

NEHRP (2003) şartnamesi hükümleri kapsamında davranış spektrumları, probabilistik deprem tehlikesi analizi ile hesaplanan, kısa periyot ($0.2 s_n$, S_s) ve uzun periyot ($1 s_n$, S_1) spektral ivme haritaları aracılığıyla elde edilmektedir. Bu şekilde bulunan iki spektral ivme değeri, yönetmelik tarafından tanımlanan *Eş Olasılıklı Davranış Spektrumunun* çiziminde kullanılmaktadır.

Bu şartnamede kullanıldığı şekli ile spektral ivme parametreleri yer çekimi ivmesi g cinsinden spektral ivmelere karşılık gelen katsayılarıdır. Yapılar üzerindeki etkiyi değerlendiren “Tek tip (Uniform) Tehlike Tepki Spektrumu” zemin-bağımlı kısa

periyodlu (S_{ms}) ve orta-periyodlu (S_{m1}) spektral ivmelerle temsil edilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2: Üniform tehlike tepki spektrumu (NEHRP, 2003)

Gözönüne alınan aşılma olasılığına tekabül eden zemine göre düzeltilmiş (zemin-bağımlı) spektral ivme parametreleri S_{MS} ve S_{M1} aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.1)$$

S_s ve S_1 'in zemine göre düzeltilmesi için Tablo 2.1 ve 2.2'den faydalanılmaktadır. Tablolarda görülen F zemin sınıfı için sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılması uygun görülmektedir. S_s ve S_1 'in ara değerleri için ise lineer interpolasyon yapılmaktadır. İvme Spektrumu'nda esas alınan zemin sınıfları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

A sınıfı: Sert kaya, kayma dalga hızı, $\bar{v}_s > 1500$ m/sn

B sınıfı: Kaya, ($760 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 1500 \text{ m/sn}$)

C sınıfı: Çok sıkı zeminler ve yumuşak kaya, ($360 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 760 \text{ m/sn}$)

D sınıfı: Katı zeminler, ($180 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 360 \text{ m/sn}$)

E sınıfı: $\bar{v}_s \leq 180 \text{ m/sn}$ olan zemin profilinde 3 metreden kalın yumuşak kil bulunan zeminler.

F sınıfı: Sahaya özel değerlendirme gerektiren zeminler

Zemin profilinin tanımlanmasında kullanılan parametreler (Ortalama kayma dalga hızı- $\bar{v}_s$), en üst 30 m için hesaplanır.

Tablo 2.1: Kısa periyod zemin katsayısı F_a

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 2.2: 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v

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

Dizayn ivme parametreleri S_{DS} ve S_{D1} ise eşitlik 2.2 ve 2.3 ile belirlenmektedir.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.2)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.3)$$

Dizayn tepki spektrumu eğrisi şu şekilde belirlenmektedir (Şekil 2.3);

T_0 'dan küçük periyodlar için, dizayn spektral tepki ivmesi, S_a , Eşitlik 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) \quad (T_0 \leq T) \quad (2.4)$$

T_0 'a eşit veya büyük periyodlar için ve T_s 'den küçük veya eşit periyodlar için dizayn spektral tepki ivmesi, S_a , S_{DS} 'ye eşit alınmalıdır.

$$S_a(T) = S_{DS} \quad (T_0 \leq T \leq T_s) \quad (2.5)$$

T_s 'den büyük periyodlar için, ve T_L 'ye eşit veya küçük periyodlar için, dizayn spektral tepki ivmesi, S_a , Eşitlik 2.6'te verilmiştir.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L) \quad (2.6)$$

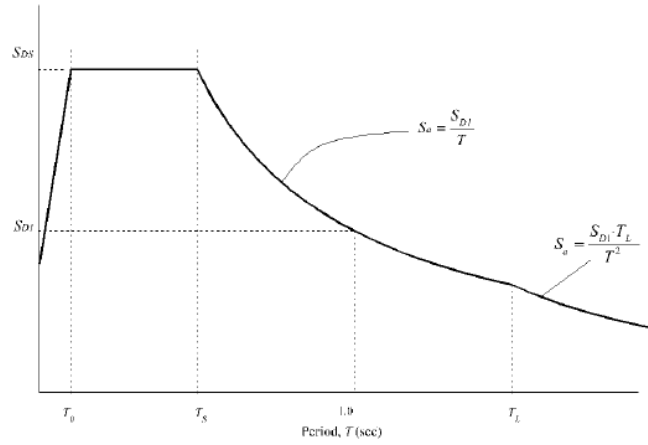
T_L 'den büyük periyodlar için, S_a Eşitlik 2.7'teki gibi verilmiştir.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.7)$$

S_{DS} , kısa periyodlardaki dizayn spektral tepki ivmesi, S_{D1} , 1-sn periyoddaki dizayn spektral tepki ivmesi ve T , yapının baskın periyodunu (sn) temsil etmektedir. $T_0 = 0.2(S_{D1}/S_{DS})$, $T_s = S_{D1}/S_{DS}$ ve T_L ise uzun-periyod geçiş periyodudur.

Uzun period bölgesine geçiş periyodu $T_L = 12$ s alınmaktadır. Spektrum köşe periyotları T_0 ve T_s ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_0 = 0.2 T_s \quad (2.8)$$



Şekil 2.3: Dizayn Spektral Tepki İvmesi Spektrumu

2.1.1.2. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007)-DBYBHY

DBHBHY'e göre herhangi bir deprem bölgesinde ve herhangi bir zemin üzerine yapılacak bir binanın tasarımı için kullanılacak tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir diğer bir deyişle tasarıma esas deprem, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 (dönüş periyodu 475 yıl) olan yer hareketidir. Bu hareketi göstermek için yerel zemin sınıflarına bağlı olarak % 5 sönüm oranındaki spektrum katsayıları, $S(T)$, tanımlanmıştır. Yerel zemin sınıflarının tasarım spektrumu üzerinde yarattığı farklılık spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B) sayesinde yansıtılmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde, tanımlanan dört zemin sınıfına karşı gelen karakteristik periyotlar verilmiştir. Ayrıca Türkiye dört farklı deprem bölgesine ayrılmıştır. Buna göre birinci derece deprem bölgesinde etkin yer ivmesi katsayısı $A_0 = 0.4$ alınırken ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgeleri için verilen değerler Tablo 2.3'te verilmiştir. Analizlerde kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı, $A(T)$; yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı, $S(T)$, bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 , ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı, I , çarpılarak bulunur.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, denklem (2.9) ile verilmistir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (2.9)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \cdot g \quad (2.10)$$

Denklem (2.9)'te yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0 , Tablo 2.3'te tanımlanmıştır.

Tablo 2.3: Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Denklem (2.11)'de yer alan Spektrum Katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.4).

$$S(T) = 1 + 1.5 (T/T_A) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.11)$$

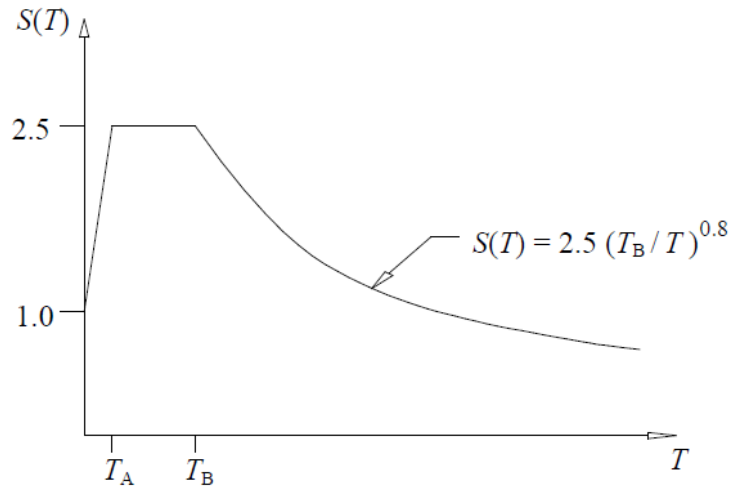
$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.12)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B/T)^{0.8} \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.13)$$

Denklem (2.10)'daki Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , Yerel Zemin Sınıfları'na bağlı olarak Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Zemin Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90



Şekil 2.4: Tasarım İvme Spektrumu (DBYBHY, 2007)

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

Bu yönetmeliğin amacı, Türkiye’de yeni yapılacak, büyütülecek, değiştirilecek kıyı-liman, demiryolu ve hava meydanı yapılarının depreme dayanıklı tasarımı ve bu tür mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli kuralları ve minimum koşulları düzenlemektir. Yönetmelikteki esaslar kapsamında öncelikle yapıların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri tanımlanmıştır.

(D1) Deprem Düzeyi, esaslar kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme 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 karşılık gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

(D2) Deprem Düzeyi, esaslar kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme 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) Deprem Düzeyi, esaslar kapsamındaki 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.

(D1), (D2) ve (D3) Deprem Düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1} (Zemin sınıfına göre düzeltilmiş) Tablo 2.1 ve 2.2'deki F_a ve F_v değerlerine göre Eşitlik 2.1 ile hesaplanmaktadır. Dizayn tepki spektrumu ise NEHRP düzenlemelerine göre oluşturulmaktadır.

2.1.1.4. ASCE Standartları (2007) 7.05

ASCE standartları, bina kodu düzenlemelerine konu olan binaların ve diğer yapıların dizaynı için minimum yük koşullarını içermektedir. Standartların, Sismik Dizayn Kriterleri isimli 11. Bölümünde, haritalanmış ivme parametreleri olarak verilen S_s ve S_1 'in 0.2 ve 1.0 sn spektral tepki ivmelerinden belirlenmesi gerektiği yer almaktadır. Kısa periyodlar (S_{MS}) için ve 1 sn'deki (S_{M1}) Zemin Sınıfı etkilerine göre düzeltilmiş maksimum deprem spektral tepki ivmeleri eşitlik 2.1 ile hesaplanmaktadır. Eşitlikteki S_s , kısa periyoddaki haritalanmış maksimum deprem spektral tepki ivmesi, S_1 ise 1 sn periyoddaki haritalanmış maksimum deprem spektral tepki ivmesini temsil etmektedir. Zemin katsayıları F_a ve F_v , Tablo 2.1 ve 2.1'de verilmiştir.

Kısa periyoddaki S_{DS} ve 1 sn periyoddaki S_{D1} dizayn deprem spektral tepki ivmesi parametreleri, Eşitlik 2.2 ve 2.3 ile belirlenmelidir.

2.1.1.5. International Building Code - IBC (2006)

IBC öngören ve performans-bağılı koşulları kullanarak bina sistemleri için minimum düzenlemeleri içermektedir. Kodun içerdiği yapısal dizayn yük standartları, ASCE 7 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures)'nin 2002 versiyonuna dayanmaktadır. Detaylı olarak incelemek gerekirse, ortalama kayma dalga hızına göre zemin sınıflaması, kısa ve uzun periyoddaki zemin katsayıları ve tasarım ivme tepki spektrumu parametreleri ASCE 7-05 ile aynı şekilde hesaplanmaktadır.

2.1.1.6 Eurocode 8 (1998)

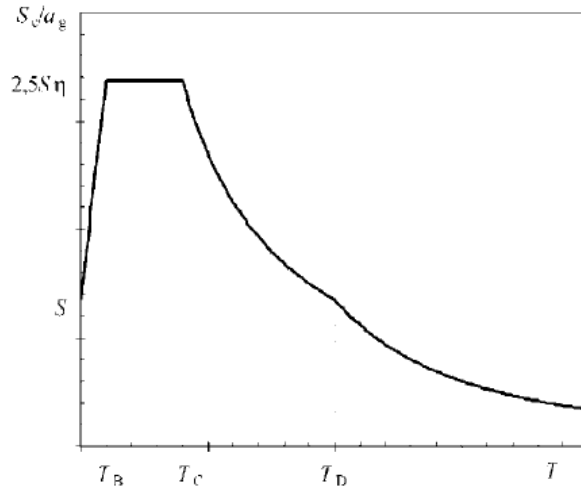
Eurocode 8 paketi (EN 1998) depreme karşı dayanım için yapıların tasarımını ele alır ve bu standartları sismik bölgelerdeki binaların ve mühendislik yapılarının dizaynı ve inşaatı için uygular. Sismik kod, genel yapıları kapsamaktadır, nükleer enerji santralleri, büyük barajlar ve açıkdeniz yapıları kapsamı dışında kalmaktadır. Amacı can kaybını engellemek ve hasarı sınırlandırmaktır. Temel gereksinimler olarak iki seviyeli sismik dizayn istenmektedir; Yıkım istenmeyen tasarım ve sınırlı hasar veren tasarım. Bu iki

performans düzeyi iki farklı sismik hareket seviyesine göre kontrol edilmelidir; bunlar 475 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen 50 yılda 10% aşma olasılıklı dizayn sismik hareketi ve 95 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen 10 yılda 10% aşma olasılıklı sınırlı hasar veren sismik hareket seviyesidir. Deprem dalgalarını etkileyen ve modifiye eden en önemli parametrelerden biri de zemin koşullarıdır, bu bakımdan zemin koşulları iyi analiz edilmeli ve buna bağlı olarak gerekli önlemler alınmalıdır. Eurocode 8 kapsamında zemin özelliklerini belirlemeye yönelik beş farklı zemin profili tanımlanmıştır (Tablo 2.5). Bu zemin sınıfları probabilistik deprem tehlikesi analizi ile hesaplanan, kısa periyot (0.2 sn , S_s) ve uzun periyot (1 sn , S_1) spektral ivmelerinin düzeltilmesi için kullanılmaktadır.

Tablo 2.5: Eurocode 8 kapsamında tanımlanan beş farklı zemin sınıfı

Zemin Tipi	Stratigrafik profil	Parametreler		
		$V_{s,30} \text{ (m/sn)}$	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			

EN1998-1'de tanımlanan yer hareketi elastik yer ivmesi tepki spektrumu, S_e ile anlatılmaktadır. Yatay elastik tepki spektrumunun basit şekli a_g ile normalize edilmiştir (Şekil 2.5). Basit spektral şekil dört farklı parçadan oluşmaktadır; çok düşük period bölümü (pik yer ivmesinden sabit ivme bölümüne kadar), sabit ivme, sabit hız ve sabit deplasman. Bu bölümler üç 'köşe' periyodu ile ayrılmıştır: T_B , T_C ve T_D . Eurocode 8 dizayn tepki spektrumu aynı şekilde NEHRP düzenlemelerine göre oluşturulmaktadır.



Şekil 2.5: Elastik tepki spektrumunun sadeleştirilmiş şekli-EN 1998-1.

2.1.2. Tasarımda İvme-Zaman Kayıt Seçimi ve Spektruma Kayıt Ölçekleme

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).

Geleneksel olarak, yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabı “Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Mod Birleştirme Yöntemi” ile yapılmaktadır. Son dönemlerde yapısal analizde ve teknolojide sağlanan gelişmelerle birlikte, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesinde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bunların ölçeklenmesidir. Deprem kayıtlarının elde edilebileceği üç farklı kaynaktan

bahsetmek mümkündür: yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumunu uyumlu kayıtlar (örneğin Abrahamson tarafından geliştirilen RSPMATCH programı ile, 1992), kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar (örneğin Boore tarafından geliştirilen SMSIM programı yardımı ile) ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir. Belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek kuvvetli yer hareketi kaydının seçilebilmesi için kullanılan kriterler jeolojik ve sismolojik şartları içermelidir. Depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği bu şartların en önemlilerini teşkil etmektedir. Eşleştirme için kullanılacak kriterler belirlendikten sonra, gerçek kayıtlara uygulanacak ölçeklemelerin yapılması için yöntem belirlenmeli ve yeterli yaklaşıklığın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Doğrusal ölçekleme faktörünün elde edilmesinde spektral genlik kullanılabileceği gibi, bazı özel çalışmalarda çevirim sayısını arttırmadan frekans içeriğini ve süreyi değiştiren zaman ekseninde ölçekleme de yapılabilir. Ölçekleme sonucunda elde edilecek kayıtlarda dikkat edilecek en önemli hususlardan bir tanesi gerçek kayıttaki genlik ve şiddet özelliklerinin korunmasıdır. Gerçek istasyon ivme kayıtlarının veri tabanlarında sistemli bir şekilde depolanması ve kullanıma sunulması ile mevcut bölgenin sismolojik özelliklerine benzer özellikteki bölgelere ait kayıtların kullanılması ve gerçek kayıtların tasarım spektrumuna ölçeklenme çalışmaları ortaya çıkmıştır.

C.Wu, Y.Wen, (2000) çalışmalarında, Batı ve Orta Amerika için bölgesel sismisiteye dayanan sentetik yer hareketi üretmek için etkili bir yöntem geliştirilmiş ve yapısal performans değerlendirmeleri için tek tip tehlike tepki spektrumu üretilmiştir. Sonrasında ise yapısal sistemlerin doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan tepkilerini değerlendirmek için üretilen yer hareketlerinin etkinliğini ve doğruluğu araştırılmıştır. Çalışmada, verilen bir yer hareketini ölçekleyerek tasarım tepki spektrumuna eşlenen ‘tepki spektrumu uyumlu’ ivme zaman kayıtlarının, gerçek kayıtlarda görülmeyen geniş bir aralıktaki yapısal periyodların üzerinde enerji içerebileceği belirtilmiş buna bağlı olarak da oluşacak deplasmanların ve enerji girdisinin olduğundan fazla tahmin

edilmesine sebep olabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple çalışmada yapısal performans analizleri için uygun simülasyon yöntemi kullanılarak bir dizi yer hareketi üretilmiştir.

Stewart, J.Pi, Abrahamson N.A. ve diğ. (2001)'nin Performansa-dayalı Tasarım için Yer Hareketi Değerlendirme Yöntemleri çalışmasında deprem büyüklüğünün önemli ölçüde frekans içeriğini ve yer hareketi süresini etkilediğini belirterek, hedef büyüklüğün 0.25 birim büyüklüğü aralığında seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu da yaklaşık 2.4 birimlik sismik moment farkına ve 1.33 birimlik fay uzunluğu, genişliği ve atım (yer değiştirme) farkına denk gelmektedir.

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 gözönünde 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, yönelme (directivity) etkisi. Çalışmada ölçeklendirme için seçilecek kayıtların spektral şekillerinin birbirine yakın olacak şekilde tercih edilmesi gerektiği önerilmektedir.

Farklı sınıftaki yapılara zarar verebilecek minimum deprem büyüklüğü (M_0) bilinmemekle beraber, genelde 5.0 olarak alınmaktadır. Yüksek-frekanslı yer hareketlerine hassas olan kırılğan yapılar için, küçük büyüklükte depremlerin kullanılması daha uygundur.

DBYBHY (2007) 'ye göre Kayıtların Seçilme Koşulları; Deprem yönetmeliğinde, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmektedir.

Kullanılacak deprem şu özellikleri taşıması istenir:

- Deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır;
- Kullanılacak deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} 'den daha küçük olmayacaktır;
- Kullanılacak ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır;
- Zaman tanım alanında 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.

DLH (2008) şartnamesine göre, zaman tanım alanında yapılacak performansa dayalı analizlerde kullanılacak ivme kayıtları bazı esaslara göre seçilmektedir. Öncelikle aşağıda verilen özelliklere sahip üç adet ivme kaydı seçilerek, bunlarla yapılacak analizlerden elde edilen en elverişsiz büyüklükler (iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme) 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.

Şartnameye göre, yapay olarak üretilmeleri halinde, ivme kayıtlarının stasyonier kısmının süresi en az 10 sn. olmalıdır.

Yeterli sayıda uygun yer hareketi kaydının bulunmaması halinde gerekli sayıya ulaşmak amacıyla uygun bir şekilde simule edilmiş yer hareketleri kullanılmalıdır. Yapay (simule edilmiş) ivme kaydı dizisi şu 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 periyoddaki ortalama değeri, hedeflenen %5 sönümlü elastik davranış spektrumunun o periyottaki değerinin %90'ından düşük olmamalıdır; ve 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.

Gerçek ivme kayıtları son yıllarda kayıt altına alınmaya başlanıp, kullanıma yeni açılmasından ötürü, şartnamelerde belirtilen koşulları sağlayan kayıtları elde etmek kolay olmamaktadır. Bu durumda mevcut kayıtların tasarım spektrumlarına ölçeklenmesi konusu ve kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemleri ile kayıt üretilmesi konusu önem kazanmış ve son yıllarda performansa dayalı tasarım kavramı ile çalışmalar hız kazanmıştır.

2.2. SENTETİK KAYIT ÜRETİMİ

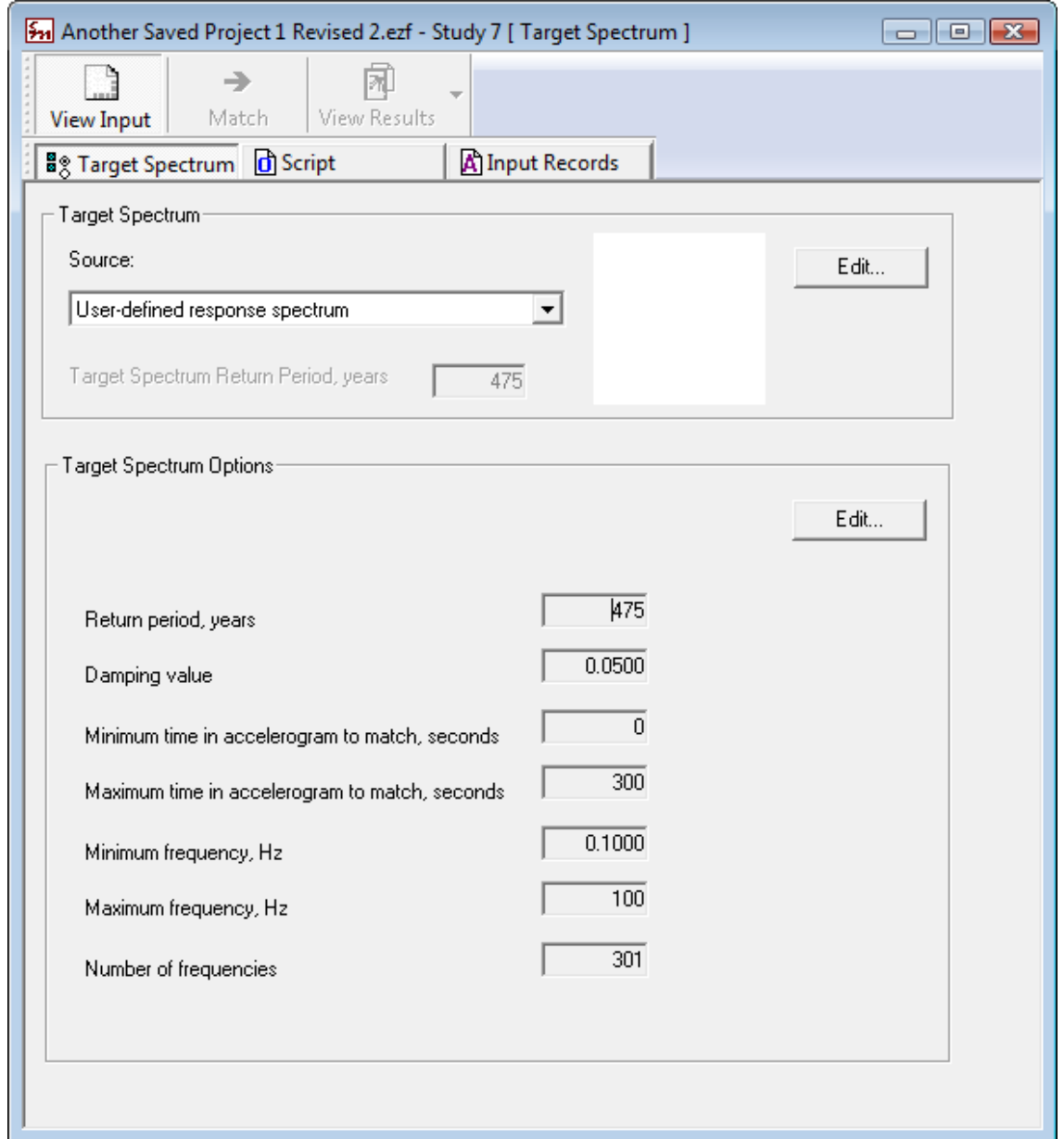
Sentetik kayıtlar iki şekilde üretilmektedir, birincisi gerçek deprem ivme kayıtlarının hedef tepki spektrumuna ölçeklenmesi yöntemiyle, ikincisi ise deprem yer hareketi simülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir.

2.2.1. Gerçek Kayıtların Ölçeklenmesi

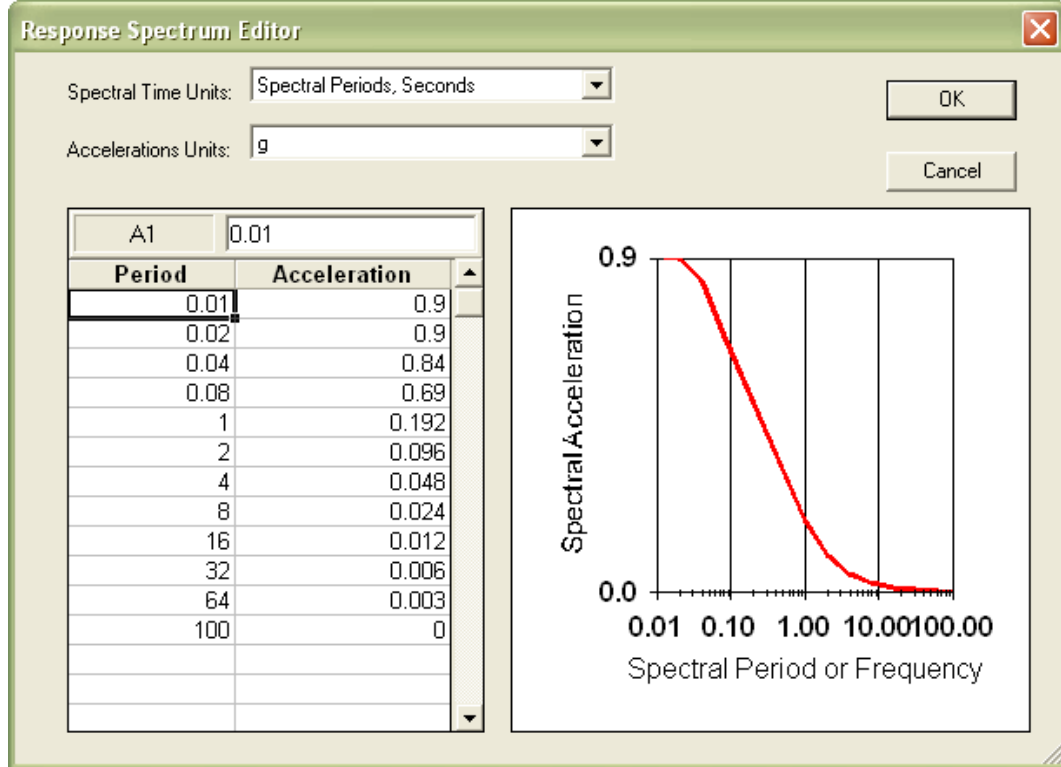
Ölçekleme işlemi gerçek ivme kayıtlarının yetersiz kalması ile gündeme gelen ve sıklıkla başvurulmuş bir yöntemdir. Tez kapsamında ölçeklenen kayıtlar EZ-FRISK adı altında derlenen bir paket program kullanılarak ölçeklemiştir. Spektral ölçekleme kodu Ambrahamson ve Al Atik (2010)'in zaman-tanım alanındaki RspMatch 2009 koduna dayanmaktadır. Paket programa uyarlayabilmek için kodda birtakım değişiklikler yapılmıştır.

Paket programın spectral ölçekleme modülü input ivme kaydında değişiklikler yaparak hedef tepki spektrumuna uydurmaya çalışmaktadır. Modül içerisinde farklı eşleştirme metodları bulunmaktadır. Çalışma kapsamında analizlerde RSP99 yöntemi

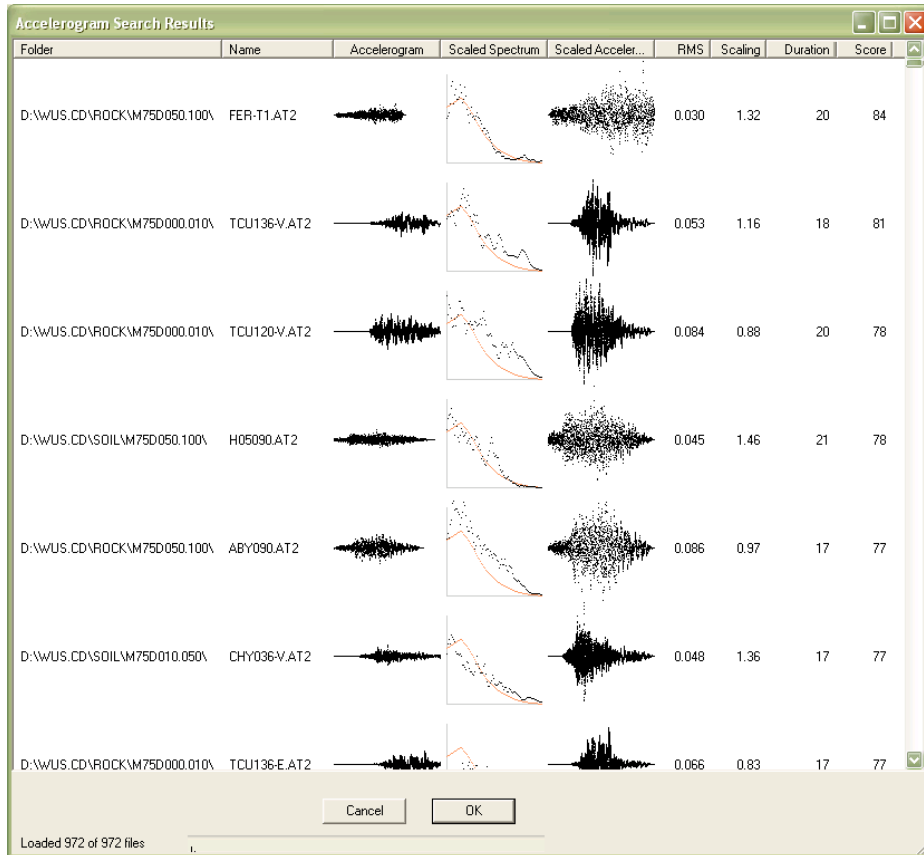
kullanılmıştır. Veritabanından seçilen kayıtlar en iyi uyum veren sıralamaya göre puanlandırılıp görsel olarak sunulmaktadır (Şekil 2.8). Son aşama olarak kayıtlar hedef spektruma eşleştirilmektedir (Şekil 2.9).



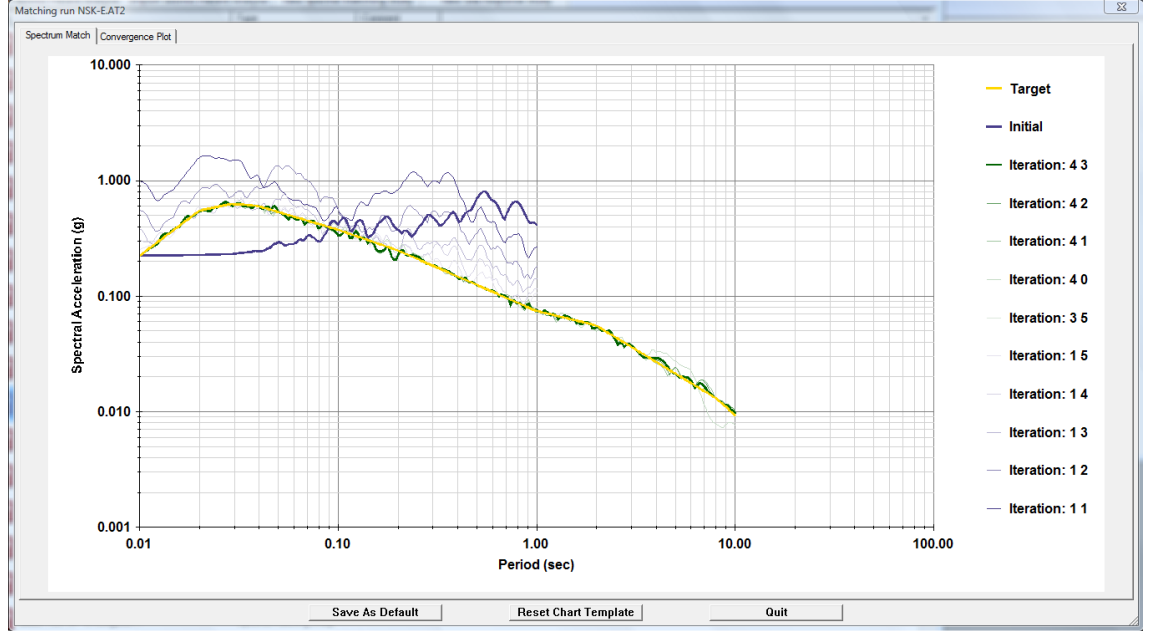
Şekil 2.6: Spektral eşleştirme modülü kullanıcıyı bu arayüzle karşılamakta ve hedef spektrum bu arayüz vasıtasıyla seçilmektedir.



Şekil 2.7: Tepki spektrumu editörü ile hedef tepki spektrumu oluşturulmaktadır.



Şekil 2.8: Veri tabanından seçilen kayıtlar ve ölçekleme katsayıları puanları



Şekil 2.9: Hedef spektrum ve ölçeklenen kayıt.

2.2.2. Deprem Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri İle Kayıt Üretimi

Yer hareketi simülasyon yöntemleri, kaydedilmiş yer hareketlerinin sayıca az olduğu sismik olarak aktif olan bölgelerde kullanılan etkili araçlardır. Sentetik yer hareketleri, kaynak mekanizmaları ve yerin kabuk yapısı hakkında bilgi sağlamak dışında, kayıtların az olduğu bölgelerde deprem mühendislerine maksimum yer hareketi parametreleri ve potansiyel deprem yer hareketlerinin frekans içeriği hakkında da bilgi sağlamaktadır. Yer hareketleri, düşük ve yüksek frekanslarda farklı özellikler taşımaktadırlar: düşük frekanslı dalgalar (<1 Hz) deterministik yapıda davranırken, yüksek frekanslı dalgalar (>1 Hz) ise faz açılarındaki uyumluluk kaybı nedeniyle stokastik davranış gösterirler. Bu bakımdan simülasyon yöntemleri frekans seviyelerindeki farklılık sebebiyle iki ayrı gruba ayrılmaktadır.

2.2.2.1 Düşük Frekanslı Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri

Düşük frekanslı yer hareketleri, deterministik olup elastik dalga yayılımı modelini temsil eden kısmi diferansiyel denklemlerle çözülebilmektedir. Heterojen ortamdaki kısmi diferansiyel denklem problemlerinin çözümü için çok çeşitli nümerik yöntemler kullanılmıştır. Sonlu farklar (Frankel ve Vidale, 1992; Yomogida ve Egten, 1993; Olsen ve diğ., 1996; Olsen ve Archutela, 1996; Moczo ve diğ., 2002), sınır-eleman (Kawase, 1988; Pedersen ve diğ., 1994), sonlu elemanlar (Li ve diğ., 1992; Toshinawa ve Ohmachi, 1992; Bao, 1998) ve spektral eleman (Komatitsch, 1997; Komatitsch ve

Violette, 1998; Komatitsch ve Tromp, 1999) yöntemleri, üç-boyutlu ortamda yakın mesafelerdeki dalga yayılımının hareket denklemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

Sismolojide deprem dalgası modellemede kullanılan, bir başka yaklaşım olan Green's Fonksiyonlarının hesaplanması için Bouchon (1981) yeni bir yöntem geliştirmiş ve elastik, tabakalı ortamda daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Yöntem, kaynaktan yayılan dalga alanının ayrıklaştırılmasına dayanmaktadır ve Bouchon ve Aki (1977) ve Bouchon (1979, 1980)'un geliştirdiği yaklaşımın genel hatlarını takip etmiştir. Eski yöntemlerden farklı olarak, tek kaynağın yerine dalga girişiminden dolayı yayılımın ayrıklaştırılmış formda ifade edilebileceği eş kaynak dizilimi kullanılmıştır. Hartzell (1978)'in ortaya koyduğu ve Irikura (1986)'nın geliştirdiği ampirik Green fonksiyonu yöntemi ise kuvvetli yer hareketlerini tahmin etmede kullanılan en önemli yöntemlerden biri olmuştur. Yöntemden kaynaklanan bazı problemler Irikura, Kagawa ve Sekiguchi (1997) tarafından giderilmiş, ve Chen ve Zhang (2001) yöntem üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Bu yöntemde, büyük bir depreme ait yer hareketini elde etmek için küçük depremlere ait yer hareketleri uygun bir ölçekleme ile toplanmaktadır. Irikura ve diğ. (1998)'nin çalışmasıyla Hibrid Green fonksiyonları yöntemi geliştirilmiştir. Ampirik ve Hibrid Green Fonksiyonu yöntemi Hisada ve Ohori (2011)'nin çalışmasında incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2.2.2.2 Yüksek Frekanslı Yer Hareketi Simülasyon Yöntemleri

Kuvvetli yer hareketlerinin düşük frekanslı kısımlarını modellemek için kullanılan deterministik yöntemler, yüksek frekanslı kısımları modellemede yetersiz kalmakta bundan ötürü stokastik yöntemlere başvurulmaktadır. Yüksek frekanslı yer hareketleri yön, büyüklük ve süre açısından rastgele oluşan dalgalar olup, faz spektrumları incelendiğinde değişken bir yapıya sahip oldukları ve görece inişli-çıkışlı dalgalanmalar sergiledikleri görülmektedir. İlk olarak Housner (1947)'in önermiş olduğu yöntemle göre, sonlu süreye sahip sinyaller ve yarım-sinüs dalgaları kullanılarak, sonrasında faz ve yönde rastgele seçim yapılarak yakın bir benzerlik elde edilebilmektedir. Bu yaklaşımı geliştiren Housner (1955), deprem üreten bir fayın çok sayıda artan kayma dislokasyonunun (yer değiştirmesinin) üst üste bindirmesiyle olduğunu ifade ederek ortalama kaymanın kayma alanının kare köküyle orantılı olduğunu öne sürmüştür ve bir ivme kaydının belirli bir süre aralığında rastgele çok sayıda doğal ivme sinyallerinin üst

üste çakışmasıyla oluştuğunu varsaymıştır. Thomson (1959) ise, Houston'ın önerdiği rastgele oluşum teorisini doğrulamış ve stokastik karakterdeki deprem dalgalarını modelleyen ilk araştırmacı olmuştur. Thomson (1959)'ın geliştirmiş olduğu yöntemin yerini Haskell (1966) ve Aki (1967)'nin geliştirdiği yöntemler almıştır.

Haskell (1966) ve Aki (1967), geliştirdikleri dislokasyon modeline dayanarak, sismik dalgaların genlik spektrumunun kaynak büyüklüğüne bağlı olarak değişmesini incelemişlerdir. Aki (1967)'nin ω^{-2} modelinde kaynak parametre sayısı Haskell (1966)'in ω^{-3} modeline göre bire indirilmiş ve bu şekilde dislokasyon hızının otokorelasyon fonksiyonuna, eksponansiyel olarak azalan bir fonksiyon giydirilmiştir. Bir diğer ifadeyle, Aki (1967) kaynak spektrumunun frekansın karesiyle (ω^{-2}) orantılı olarak azaldığını göstermiş ve her iki fonksiyonu da, farklı periyotlarda farklı dalgalar için tanımlanmış büyüklük skalaları arasındaki ampirik ilişkilerle kontrol ederek, ω^{-2} modelinin ω^{-3} modeline göre yüksek frekanslı dalgaları modellemede daha başarılı olduğunu göstermiştir. Hanks (1979), çalışmasında (ω^{-2}) modelini kullanarak uzak mesafede yüksek frekanslı dalgaların spektral azalımını elde etmede uygulanabileceğini ve yine aynı şekilde ifade etmiştir.

Keiiti Aki, kompleks faylanmadan türeyen sismik dalgaların spektrumu için bir ifade geliştiren ilk sismologlardan biriydi. Aki, 1967 tarihli bir bildirisinde, spektrumun ' ω -kare modeli' ni türetmek için kaymanın özilişki (otokorelasyon) fonksiyonu formu ile ilgili olarak bazı varsayımlar kullanmıştır. Sonrasında benzerlik varsayımını, köşe frekansındaki spektral genliğin, köşe frekansının ters-küp kuvvetine eşit olduğunu göstererek, kaynak-ölçekleme kuralı türetmek için kullanmıştır. Çalışması, özellikle yüksek frekanslarda fay atımının mekan ve zaman dağılımının, kaynağın stokastik tanımını karşılayacak kadar karmaşık olduğu deprem yer hareketi tahminlerinde birçok sismolog tarafından kullanılmıştır. Bu tahminlerin belirli bir sismik moment göre geliştirilmiş olması, *Kei*'nin çalışmasının uzun dönemli bir etki bırakmasını sağlamıştır.

1966 yılındaki çalışmasında (Aki, 1966) ilk defa bir depremin sismik momentini, M_0 hesaplamış ve açık bir şekilde rijidite, atım ve fay alanının çarpımı ile ifade etmiştir. McGuire ve Hanks 300'ü aşkın yatay ivme bileşeni analiz ettikleri çalışmalarında (McGuire ve Hanks, 1981), bu ivme-zaman kayıtlarının S-dalgası varış penceresi içinde bant-sınırlı beyaz Gauss gürültüsüyle çok iyi bir benzerlik gösterdiğini belirtmiş ve bant

sınırlamasını spektral köşe frekansı, f_0 ve ivme ölçerden geçen en yüksek frekans, f_{max} ile tanımlamıştır. Bir başka deyişle uzak bölge ivme-zaman tanım alanını, sonlu-süreli, bant-sınırlı, BRUNE (1970, 1971) ölçeğine göre köşe frekansı deprem büyüklüğüne bağlı olan tek bir köşe frekansı modeli ile ifade edilen Beyaz Gauss-Gürültüsü (White Gaussian-Noise) olarak tanımlamıştır. Yüksek frekanslı yer hareketini açıklamak için Brune spektrumu bir dizi çalışmada anlatılmıştır (Hanks, 1979a, 1979b; McGuire and Hanks, 1980; Hanks and McGuire, 1981) fakat bu çalışmalarda esasen ortalama karekök (root mean square-rms) ve en yüksek ivme değerleriyle ilgilenilmiştir.

David Boore (1983) ise çalışmasında farklı bir simülasyon yöntemi kullanarak, aynı spektral modelin ayriyetten en yüksek hız, Wood-Anderson enstrüman tepkisi ve tepki spektrumu değerlerini de hesaplayabileceğini göstermiştir. Hanks ve McGuire, karesi alınmış ivme spektrumunun integralinden rms ivmesini (a_{rms}) tahmin edebilmek için Parseval teoremini kullanmış sonrasında, a_{rms} 'i maksimum yer ivmesiyle (a_{max}) ilişkilendirmek için rastgele titreşim teorisinden birtakım sonuçları kullanmışlardır. Boore (1983) bu yaklaşımın zaman serilerini simule etmekten ve maksimum hareketleri ölçmekten daha kolay (fakat muhtemelen daha az gerçekçi) ve az uğraştırıcı olduğunu belirtmiştir. Boore (1983), Cartwright ve Longuet-Higgins (1956)'ten eşitlikler kullanarak, ratsgele titreşim tahminlerini maksimum hız, Wood-Anderson tepkisi, ve tepki spektrumunu da kapsayacak şekilde genişletmiş ve sonuçların genel olarak mükemmel bir uyum sağladığını göstermiştir. Yöntem, sonrasında birçok uygulamada kullanılmıştır; bunlar arasında Boore D. ve Atkinson Gail M. (1987)'in Doğu Kuzey Amerika'daki sert kaya zeminlerde yer hareketi tahminleri çalışması ve Boore D. ve Atkinson Gail M. (1997)'in Cascadia bölgesindeki stokastik nokta-kaynaklı yer hareketi modelleme çalışması bunlar arasındadır. Yöntemin başarılı sonuçlar vermesiyle Boore (2003) geliştirdiği stokastik nokta kaynaklı yer hareketi simülasyon metodunda birtakım değişiklikler yaparak, SMSIM isimli kod ile kullanıma açmıştır. Boore (2003, 2005, 2013), yöntemin en belirgin kısıtlaması olarak, yer hareketi hesaplanan alan fayın yakınında olsa bile çoğu uygulamada frekansların yüksek çıkarak uzak alan özelliği gösterdiğini belirtmiştir.

Stokastik nokta kaynaklı yer hareketi simülasyon yöntemlerinin kimi uygulamalarda yetersiz kalması ile birlikte sonlu fay modelleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Beresnev ve Atkinson (1997)'ın belirttiği üzere, temelinde ω^2 spektrumu olan tek köşe frekanslı Brune nokta-kaynaklı yaklaşıma dayanan yer-hareketi modelleri, moment büyüklüğü-Mw 4 veya daha büyük olan depremler için düşük-orta frekanslarda ($\sim 0.1-2$) gözlenen spektral genlikleri, olması gerekenden daha yüksek değerlerde tahmin etmektedir. Fay düzleminin sonlu boyutunu da hesaba katan bir model, gözlemlenen spektral şekilleri doğru bir şekilde ifade edebilir. Bu model birkaç alt fayın katılımı ile oluşan sismik yayılımı temsil etmektedir. Her alt fay bir nokta kaynak olarak temsil edilmekte ve her alt olay bir ω^2 spektrumuna sahiptir. Bir gözlem noktasındaki tüm alt fayların tetiklediği yer hareketleri toplandığında, sonuçta oluşan spektral şekil iki köşe frekansına sahiptir ve gözlemlenen spektra ile daha uyumlu bir eşleşme vermektedir. Sonlu-fay modelleme ile daha gerçekçi bir spektral şeklin elde edilmesi, gerçek faylardan yayılımın köşe frekansları daha yüksek olan altfayların kırılması ile oluştuğunun göstergesidir. Buna bağlı olarak alt olay toplamının bir sonucu olarak iki köşe frekansının oluşması beklenen bir durumdur.

Önceki çalışmalarda Brune nokta-kaynaklı spektrumun stokastik yer-hareketi modeli ile kullanımının doğu Amerika (Atkinson, 1984; Boore ve Atkinson, 1987; Toro ve diğ., 1997) ve Kaliforniya'daki (Hanks ve McGuire, 1981; Boore, 1983) yüksek-frekanslı ($f \geq 2$ Hz) deprem yer hareketi genlikleri için başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bu modelin yer ivme spektrumu basit bir ω^2 şekli ile ifade edilmektedir, diğer bir deyişle köşe frekansının manyitüdün bir fonksiyonu olduğu durumlarda köşe frekansından daha düşük frekanslar için spektral genliğin ω^{-2} şeklinde azaldığı anlamına gelmektedir. Yüksek frekanslı hareketleri modellemedeki başarısına karşın, Brune nokta kaynak spektrumu düşük-orta frekanstaki (0.1-2 Hz) hem Kuzey Amerika hem de Kaliforniya'daki depremlere (Moment Manyitüdü $M_w > 4$) ait sismik hareketleri olduğundan fazla tahmin etmektedir (Boatwright ve Choy, 1992; Boore ve Atkinson, 1992; Atkinson, 1993a; Atkinson ve Boore, 1995; Atkinson ve Silva, 1997). Tek köşeli modele bağlı olarak gelişen orta seviyeli frekanslarda gözlemlenen enerji kaybını açıklamak için, Atkinson (1993a) iki köşe frekanslı Brune nokta-kaynak spektrasına ek ampirik bir kaynak spektrumu önermiştir. Bu iki köşeli nokta-kaynak modeli sonrasında doğu Kuzey Amerika için (Atkinson ve Boore, 1995) stokastik yer hareketi ilişkileri geliştirmek için kullanılmıştır.

Atkinson ve Silva (1997) hem tek-köşe frekanslı nokta-kaynak ve stokastik sonlu-fay simülasyon tahminleri yaparak Kaliforniya depremleri için ampirik kaynak spektrasını karşılaştırmışlardır. Sonlu fay simülasyonlarında, ana fay herbiri Brune nokta kaynak spektrumu ile modellenen bir dizi alt-faya bölünmüştür. Sonlu-fay modelleme ile elde edilen spektral şekil gözlenen spektra ile uyum sağlamıştır. Sonuç olarak, çalışmalarında tek-köşeli nokta-kaynak modelinin gözlemlenen spektra ile uyum sağlamadığını göstermişlerdir.

Beresnev ve Atkinson (1998a), bu yaklaşımları kullanılabilir kılabilmek için alt fay elemanlarına belirli bir sismik moment ve köşe frekansına sahip eşdeğer ω^2 kaynağı atayarak FINSIM adlı stokastik sonlu-fay yer hareketi simülasyon yöntemini geliştirmişlerdir. Yöntemde köşe frekansı, kayma dalga hızı, stress düşümü ve altfay sismik momentine bağlı olarak hesaplanmaktadır (Boore, 1983).

Motazedian ve Atkinson (2005), FINSIM kodunda kullanılan sabit köşe frekansı yerine dinamik köşe frekansı yaklaşımını kullanmıştır. Dinamik köşe frekansı yaklaşımında kırık, altfaylardan oluşan fayın sonuna doğru yayıldığında, kırılmış olan altfay sayısı artar ve buna bağlı olarak altfayların köşe frekansında ve yayılan spektrumunda azalma meydana gelir. Dinamik köşe frekansı yaklaşımı altfay spektrumlarının seviyesini düşürmekte ve böylece köşe frekansı azaldıkça yüksek frekanslarda yaydıkları enerji de azalmaktadır. Alt fayı ivme spektrumunda modifikasyon yapılan FINSIM kodu, EXSIM olarak değiştirilmiştir.

Motazedian ve Atkinson (2005)'ın EXSIM sonlu-fay kodunu geliştirmesinden sonra ise D. M. Boore (2009, 2011, 2013) geliştirmiş olduğu SMSIM nokta-kaynaklı simülasyon yöntemi ile EXSIM kodunu karşılaştırmak için EXSIM kodunda birtakım değişiklikler yapmıştır. Bu modifikasyonlar ile büyük depremlerde bile ($M \geq 7$), SMSIM ve EXSIM'den elde edilen Fourier ve tepki spektrumlarının birbirine benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

2.3. YÜKSEK FREKANSLI YER HAREKETİ SİMÜLASYON YÖNTEMLERİ

Yeterli sayıda kuvvetli yer hareketi kayıtlarının ölçülemediği bölgelerde azalım ilişkilerinin belirlenmesinde teorik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanı stokastik yöntemdir. Stokastik yöntem yüksek frekanslı kuvvetli yer hareketi

modellemede kullanılmaktadır; kaynak tipine göre nokta ve sonlu fay kaynaklı olarak iki ye ayrılmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

2.3.1. Stokastik Nokta Kaynak Simülasyon Yöntemi-SMSIM

Yer hareketlerini simule etmek için depremin büyüklüğü ve kaynaktan olan uzaklığına bağlı olarak belirli bir süre üzerinde yayılacak şekilde rastgele bir faz spektrumu ile modifiye edilen hareketle zemindeki yer hareketinin genliği deterministik bir yöntemle belirlenebilmektedir. Yer hareketinin simule edildiği bu yöneme ‘Stokastik Metod’ denir. Özellikle yüksek-frekanslı ($f > 0.1$ Hz) yer hareketlerinin simule etmek için uygundur. Yöntemin temel özelliklerinden biri yer hareketlerini etkileyen faktörleri (kaynak, yol, zemin) basit fonksiyonel formlara dönüştürebilmesidir. Program simülasyonda kullanılan modeller için Fourier genlik spektrumları üretebilmekte ve derinlikle beraber kayma hızı değişimlerini frekansa bağlı genliklere dönüştürebilmektedir. Yöntem ile simule edilen yer hareketinin yalnızca S dalgalarından oluştuğu unutulmamalıdır (Boore, 1986). Dezavantajı, genişletilmiş fay modellerini içermemekle beraber, tabakalı ortamdaki dalga yayılımının direkt ölçümü ile yörünge ve zemin etkilerini açıklayamamaktadır.

SMSIM’de programlanan nokta-kaynak yöntemi, FINSIM (Beresnev ve Atkinson, 1998) ve EXSIM (Motazedian ve Atkinson, 2005)’i de içeren bir grup sonlu-fay stokastik yöntem yer-hareketi simülasyon algoritmalarının kaynağıdır.

Yöntem; bir faydan yayılımın, süresi kaynak boyutuna ve kaynağa olan uzaklığa bağlı olarak değişen rastgele bir zaman aralığı üzerinde gerçekleştiği varsayılır. Yer hareketi, maksimum ivme gibi maksimum değerli parametreler ve tepki spektrumlarından zaman-alanı (TD) simülasyonu ile elde edilebilir (parametrelerin ortalama değerleri için Monte Carlo simülasyonu gerekmektedir). Ayrıca, maksimum parametreler direkt olarak rastgele-titreşim (Random-Vibration) teorisiyle elde edilebilir. Maksimum değerli parametreleri elde etmek için bu daha hızlı bir yöntem olmakla beraber, eğer analizde zaman serileri gerekli ise kullanışlı bir yöntem değildir. Kod, 1996 yılı öncesinde D. M. Boore’un rastgele-titreşim teorisi uygulamasının, geliştirilmiş versiyonunu içermektedir.

SMSIM kodu altrutin ve modülleri çağıran bir dizi sürücü (driver) içermektedir. Bu sürücüler pik ivme, pik hız, pik deplasman, Arias şiddet, ve bir dizi osilatör periyodu için tepki spektrumu üretmektedir.

Stokastik yöntemin temel bileşeni, basit eşitlikler halinde ifade edilen dalga yayılımını içeren yer hareketi spektrumudur. Bir gözlem noktasındaki yer hareketi spektrumu, $(Y(M_0, R, f))$, en genel şekliyle deprem kaynağı (E), yol (P), zemin (G) ve enstrüman veya hareketin tipine (I) bağlıdır;

$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f)P(R, f)G(f)I(f) \quad (2.14)$$

Eşitlikte görülen M_0 sismik momenti sismolojiye K. AKI (AKI, 1966) tarafından kazandırılmıştır. Sismik moment yer deformasyonlarından veya sismik dalgalarından belirlenebilmektedir.

Kaynak $(E(M_0, f))$

Kaynak spektrumunun hem şekli hem de genliği depremin büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak belirtilmelidir. En çok kullanılan deprem kaynak spektrum modeli, AKI (1967) tarafından geliştirilen ω -kare modelidir. AKI (1967), spektrayı bir manyitüdden bir diğer manyitüde ölçeklerken, köşe frekansının f_0 , sismik momente bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu durumda deprem kaynağındaki benzerlik, $M_0 f_0^3$ =sabitinin stres düşümüyle ($\Delta\sigma$) ilişkilendirilebileceğini göstermiştir. Brune (1970, 1971), köşe frekansını şu şekilde açıklamıştır;

$$f_0 = 4.9 \times 10^6 \beta_s (\Delta\sigma/M_0)^{1/3} \quad (2.15)$$

Eşitlikte f_0 , Hz cinsinden, β_s (kaynak bölgesindeki kayma-dalga hızı) km/sn cinsinden, $\Delta\sigma$ bar ve M_0 ise dyne-cm cinsinden hesaplanmaktadır. Stokastik yöntemde çoğunlukla ω -kare modeli kullanılıyor olsa da, çok çeşitli başka modeller de kullanılmaktadır. Tüm modeller için kaynak spektrumları şu eşitlik ile tanımlanmaktadır:

$$E(M_0, f) = C M_0 S(M_0, f) \quad (2.16)$$

Eşitlikteki C sabit sayı, $S(M_0, f)$ ise Eşitlik 2.17 ile verilen deplasman kaynak spektrumlarını ifade etmektedir.

$$S(M_0, f) = S_a(M_0, f) \times S_b(M_0, f) \quad (2.17)$$

Eşitlikte verilen S_a ve S_b faktörleri kaynak spektrumlarının şeklini belirleyen çeşitli modellerden oluşmaktadır. Kaynak Spektrumlarının Şekli,

$$S(f) = S_a(f) \times S_b(f) \quad (2.18)$$

Eşitliği ile belirlenmektedir. C sabiti ise aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir. ($R_{\Theta\Phi}$) elemanı, genellikle belirli bir doğrultu ve çıkış açısı aralığı üzerinden ortalaması alınmış yayılma modelini temsil etmektedir (Boore ve Boatwright, 1984). V elemanı ise toplam kayma-dalga enerjisinin yatay bileşenleridir ($=1/\sqrt{2}$), F serbest yüzey etkisini, ρ_s ve β_s kaynak alandaki yoğunluk ve kayma-dalga hızını, R_0 ise referans bir mesafeyi (genellikle 1 km olarak alınır) ifade etmektedir.

Yörünge ($P(R, f)$, süre)

Kaynaktan yayılan deprem dalgaları gözlem noktası olan sahaya ulaşana kadar belirli bir yörünge etkisine maruz kalacaktır. Çoğu uygulamada yörünge etkisini ifade etmek için geometrik yayılmayı, azalımı, ve dalga yayılımı ve saçılımına bağlı olarak gelişen mesafeye bağlı süre artışını hesaba katan basit fonksiyonlar kullanılmaktadır.

Sadeleştirilmiş yörünge etkisi P , geometrik yayılma ve anelastik azalım- Q fonksiyonlarının çarpımı ile ifade edilmektedir.

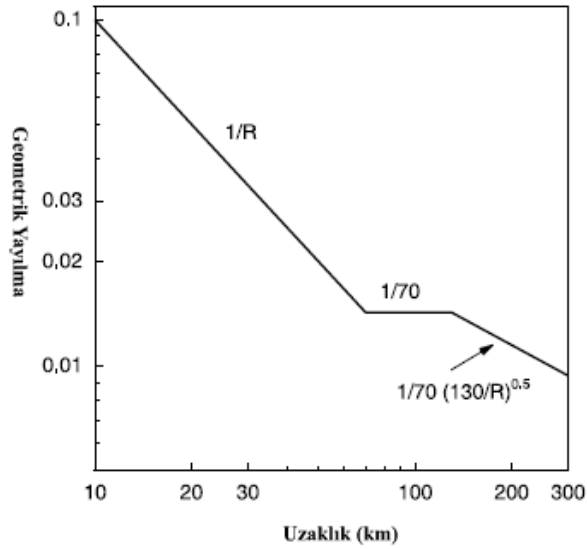
$$P(R, f) = Z(R) \exp[-\pi f R / Q(f) c_Q] \quad (2.19)$$

Eşitlikteki c_Q elemanı $Q(f)$ 'in belirlenmesinde kullanılan sismik hızı, $Z(R)$ ise parçalı sürekli düz çizgilerden oluşan geometrik yayılma fonksiyonunu ifade etmektedir:

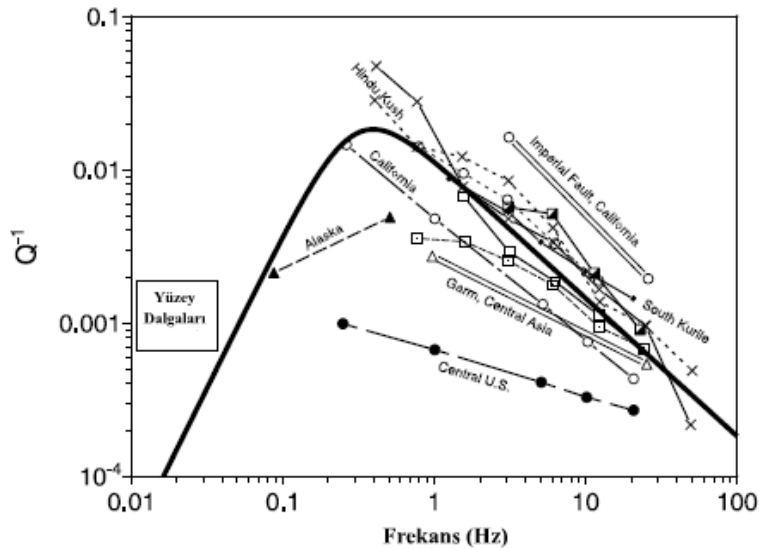
$$Z(R) = \begin{cases} \frac{R_0}{R}, & R \leq R_1 \\ Z(R_1) \left(\frac{R_1}{R}\right)^{p_1}, & R_1 \leq R \leq R_2 \\ \dots \dots \dots \\ Z(R_n) \left(\frac{R_n}{R}\right)^{p_n}, & R_n \leq R \end{cases} \quad (2.20)$$

Uygulamalarda, R genellikle hiposentral mesafedense kırılma yüzeyine en yakın mesafe olarak alınmaktadır. Şekil 2.10'da Atkinson ve Boore (1995)'in doğu Kuzey Amerika'daki yer hareketi tahminlerinde kullandığı üç-segmentli geometrik yayılma

operatörü- $Z(R)$ görülmektedir. Bu örnekte, $R_0 = 1$, $R_1 = 70$, $p_1 = 0$, $R_2 = 130$ ve $p_2 = 0.5$ 'tir. Azalım operatörü, K.Aki'nin Şekil 2.2'deki sismik azalım- Q modelini derlemesiyle ortaya çıkmıştır. Sismik azalımdaki- Q çeşitliliği basit bir formda yansıtmak için model üç segmentli bir grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 2.12). Dış segmentler eğime bağlı olarak değişmekte, belirtilen referans frekans değerlerindeki kesişim değerleri ve ortadaki segment, $ft1$ ve $ft2$ frekansları arasındaki dış segmentleri birbirine bağlamaktadır.



Şekil 2.10: Orta ve doğu Kuzey Amerika'da kullanılan geometrik yayılma fonksiyonu, Atkinson ve Boore (1995) ve Frankel ve diğ.(1996)'den alıntıdır.

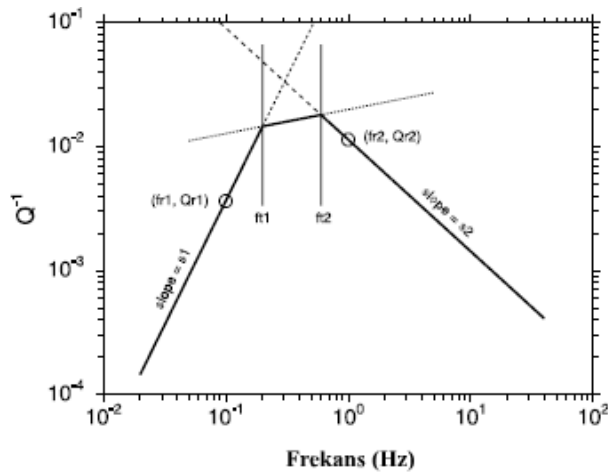


Şekil 2.11: Aki (Aki, 1980, Cormier, 1982'den özetlenmiş)'nin gözlemsel ters kayma-dalgası Q modeli (Şekil Boore, 2003'ten alıntıdır).

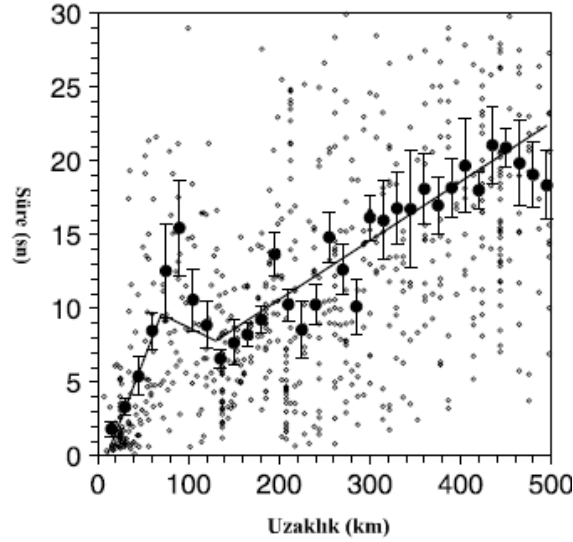
Uzaklığa-bağılı süre, diğer tüm parametreler eşit iken, artan süreye bağlı olarak azalan maksimum hareketler için önemli bir fonksiyondur. Yer hareketinin Fourier genlik spektrumu (Eşitlik 2.14) süreye bağımlı olmasa da yörüngeye bağımlı olduğu kadar kaynağa da bağımlıdır. Yer-hareketi süresi (T_{gm}), kaynak süresinin (köşe frekansının tersi ile ilişkili - $1/f_a$) ve yörünge-bağımlı sürenin toplamıdır (Eşitlik 2.21). Süre modeli genelde iki terimden oluşmaktadır; T_0 kaynak süresini ve bR ise yayılmayı hesaba katan mesafeye-bağılı bir terimi temsil etmektedir.

$$T = T_0 + bR \quad (2.21)$$

Ampirik gözlemler ve teorik simülasyonlar, sürenin yörüngeye-bağılı kısmının birbirine bağlı düz-çizgisel segment serileri ile ifade edilebileceğini önermektedir. Atkinson ve Boore (1995)'un çalışmasında kullanılan fonksiyon ve yararlanılan veri seti Şekil 2.13'da görülmektedir.



Şekil 2.12: $Q(f)$ modeli: log-log ölçekte üç segmentten oluşmaktadır. Segmentler önceki şekildeki $Q(f)$ fonksiyonunun idealize edilmiş halidir. Şekilde, Q fonksiyonu kısa periyod için geçerli olan $Q = 680f^{0.38}$ modeli ile tanımlanmıştır (Şekil 2.2'deki veri seti, s1 uzun-periyodu tanımlamak için yeterli değildir) Boore, 2003'ten alıntıdır.



Şekil 2.13: Doğu Kuzey Amerika'daki depremlerde gözlemlenen süre (kaynak süresinin çıkarılmış hali). Veri seti, Atkinson (1993) ve Atkinson ve Boore (1995) tarafından stokastik simülasyon yöntemlerinde yörünge-bağımlı süreyi belirlemek için kullanılmıştır. Üç parçalı çizgisel model Atkinson ve Boore (1995)'un doğu Kuzey Amerika'nın yer hareketi simülasyonlarında kullanılan süre fonksiyonudur, (Boore, 2003'ten alıntı).

Zemin ($G(f)$)

Sismik dalgaların yerel zemin koşulları ile modifikasyonu, tam olarak yörünge etkisinin bir parçasıdır. Yerel zemin etkileri, büyük ölçüde kaynaktan katedilmiş mesafeden bağımsız olduklarından (yer hareketi genliği için önemli olan lineer olmayan etkiler dışında), zemin ve yörünge etkilerini birbirinden ayırmak daha uygundur. Yer hareketi yerel jeolojik koşullara bağlı olarak değişime uğramakta ve bu durum sahaya-özel etkilerin kullanılması gerekliliğini göstermektedir. Diğer yandan, stokastik yöntemle yapılan birçok simülasyon genel bir kaya veya zemin ortamı gibi genel bir sahadaki yer hareketi tahmininde kullanılmaktadır. Bu gibi durumlarda, sismik spektrumun frekansa-bağlı değişimlerini tarif edebilmek için basitleştirilmiş bir fonksiyon kullanılabilir. Zemin etkisi, amplifikasyon-büyütme ($A(f)$) ve azalım ($D(f)$) şeklinde iki kısımda incelenmektedir:

$$G(f) = A(f)D(f) \quad (2.22)$$

Dalga yayılımına bağlı genlik değişimleri geometrik yayılmadan ayrılmadığı sürece amplifikasyon $A(f)$ fonksiyonu, genellikle kaynak ile ilişkilidir. Buna karşın, azalım fonksiyonu $D(f)$ yörüngeden bağımsız (yörüngeye bağlı kısım Eşitlik 2.19'daki eksponansiyel fonksiyon ile modellenir) enerji kaybını modellemek için kullanılır. Amplifikasyon $A(f)$, kayma-dalga hızının derinlikle değişimine bağlı bir fonksiyondur.

Basit bir fonksiyonla ifade etmek gerekirse, dalgaların amplifikasyonu kaynak ve yüzey arasındaki empedans oranının kare köküne eşittir (Eşitlik 2.23).

$$A(f(z)) = \sqrt{Z_s / \bar{Z}(f)} \quad (2.23)$$

Kaynak yakınındaki sismik empedans (Z_s):

$$Z_s = \rho_s \beta_s \quad (2.24)$$

Eşitlikteki ρ_s kaynak civarındaki zemin tabakalarının yoğunluğunu, β_s ise kayma-dalga hızlarını temsil etmektedir. $Z(f)$ ise zemin yüzeyine yakın sismik empedansın ortalamasını ifade etmektedir.

Azalım operatörü $D(f)$, yer hareketlerindeki yörüngeden bağımsız (path-independent) yüksek frekans kayıplarını açıklamaktadır. Frekans kaybı, Papageorgiou ve Aki (1983b) tarafından önerilen kaynak etkisine veya Hanks (1982) ve bir dizi araştırmacının önerdiği zemin etkisine veya bu etkilerin bir kombinasyonu sonucu gelişiyor olabilir. Kaynak etkisi göz önüne alındığında, D 'nin depremin büyüklüğüne de bağlı olabileceği düşünülmektedir. Boore (2003)'a göre, yüksek frekanslı yer hareketlerindeki azalımı yalnızca çarpımsal basit bir filtre açıklayabilir. Yaygın olarak kullanılan iki farklı filtre mevcuttur: f_{max} filtresi

$$D(f) = [1 + (f/f_{max})^8]^{-1/2} \quad (2.25)$$

(Hanks, 1982; Boore, 1983), ve κ_0 filtresi

$$D(f) = \exp(-\pi \kappa_0 f) \quad (2.26)$$

(Anderson ve Hough, 1984).

Yer Hareketi Tipi ($I(f)$)

Simülasyon sonucu elde edilen yer hareketi tipi $I(f)$ filtresi ile kontrol edilmektedir. Yer hareketi çıktısı istendiği takdirde,

$$I(f) = (2\pi f)^n \quad (2.27)$$

Yer deplasmanları, hız veya ivme için sırasıyla eşitlikte $i = -1$ ve $n = 0, 1$ veya 2 kullanılır.

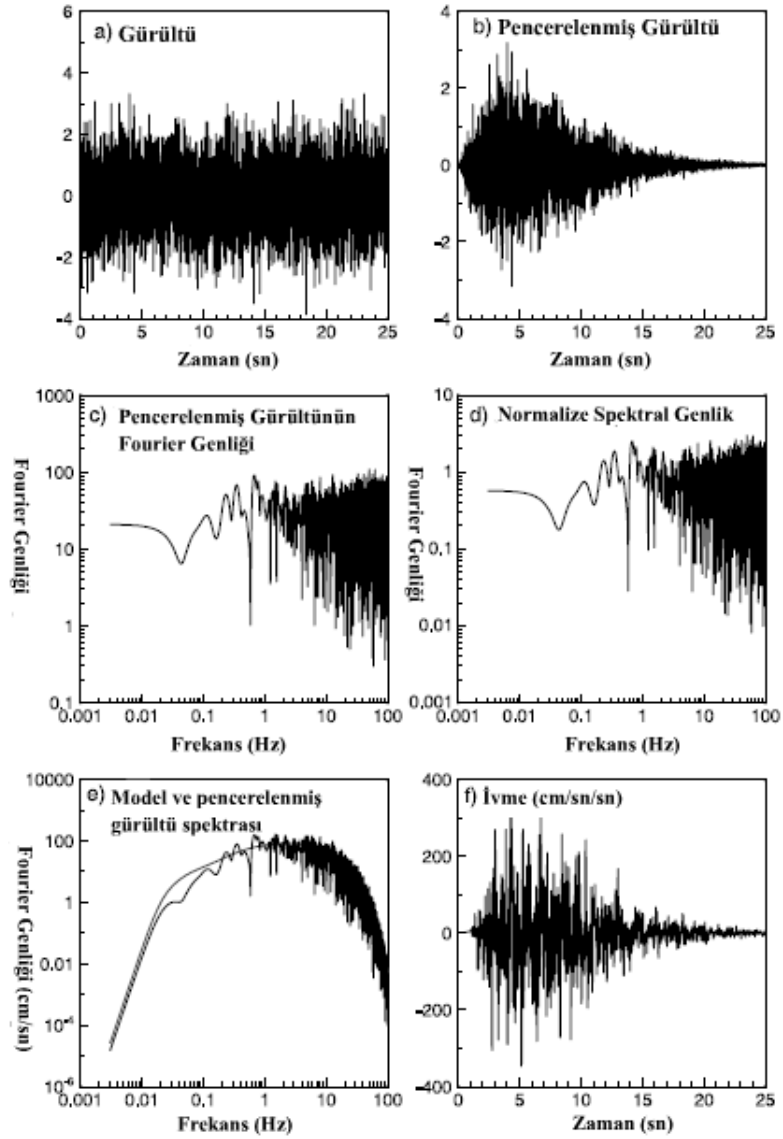
Yer Hareketlerinin Elde Edilmesi

Bir sahadaki hareket spektrumu verildiğinde, yer hareketini elde etmenin iki yolu vardır:

1) zaman alanı simülasyonları ve 2) rastgele titreşim teorisi kullanarak maksimum hareketlerin tahmini.

Zaman Serilerinin Simülasyonu

Hareketin süresi ile belirlenen bir süre için beyaz gürültü (Gauss veya üniform) üretilir (Şekil 2.14a) ve sonrasında bu gürültü pencerelenir (Şekil 2.14b); pencerelenen gürültü frekans alanına aktarılır (Şekil 2.14c); spektrum genlik spektrumunun ortalama-karesinin kare kökü ile normalize edilir (Şekil 2.14d); normalize edilmiş spektrum yer hareketi spektrumu Y ile çarpılır (Şekil 2.14e); sonuçta elde edilen spektrum tekrar zaman alanına geri dönüştürülür (Şekil 2.14f).



Şekil 2.14: Stokastik yöntem yer hareketi simülasyon yöntemi aşamaları (Boore, 2003'ten alıntı).

Gürültüye uygulanan pencere (Şekil 2.14b) bir kutu penceresi (box window) veya ivme zaman serileri için daha gerçekçi bir şekil sunan bir pencere olabilir. Bir dizi kaydedilmiş hareketi çalışan Saragoni ve Hart (1974), aşağıdaki fonksiyonun ivme zaman serileri zarfının iyi bir temsili olduğunu bulmuştur (Eşitlik 2.28).

$$w(t; \epsilon, \eta, t_\eta) = a(t/t_\eta)^b \exp(-c(t/t_\eta)) \quad (2.28)$$

Eşitlikteki a , b , c parametreleri, $t = t_\eta$ iken $w(t) = \eta$ olduğunda ve $t = \epsilon \cdot t_\eta$ iken $w(t)$ 'nin maksimum birim değeri alacağı şekilde seçilir. a , b , c parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlik:

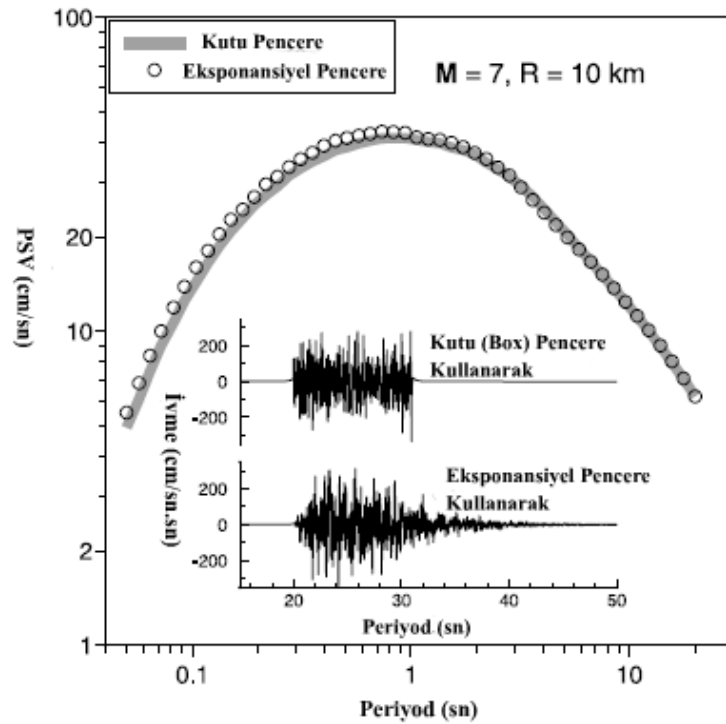
$$b = -(\epsilon \ln \eta) / [1 + \epsilon (\ln \epsilon - 1)] \quad (2.29)$$

$$c = b/\epsilon \quad (2.30)$$

$$a = (\exp(1)/\epsilon)^b \quad (2.31)$$

$$t_\eta = f_{Tgm} \times T_{gm} \quad (2.32)$$

Eşitlik 2.32’da görüldüğü üzere süre, t_η , denklemi yer hareketinin süresine, T_{gm} , bağlıdır. Saragoni ve Hart (1974) $\epsilon = 0.2$ ve $\eta = 0.05$ olarak belirlemiştir. Boore, 2003 $f_{Tgm} = 2.0$ olarak kabul edip, kutu (box) ve eksponansiyel pencereleri kullanarak tepki spektrumlarını karşılaştırmıştır. Toplam 640 adet simule edilmiş ivme kaydından elde edilmiş tepki spektrumlarının ortalamasını alarak %5 sönümlü psödo-hız tepki spektrumları oluşturmuştur (Şekil 2.15). Şekilden de görüldüğü gibi iki farklı pencereden elde edilen tepki spektrumları birbirine benzerdir.



Şekil 2.15: Gürültüyü şekillendirmek için kullanılan kutu ve eksponansiyel pencereler ile yapılan zaman alanı simülasyon dalga formlarının karşılaştırılması (Boore, 2003’ten alıntı).

Yöntemin Kısıtlamaları ve İyileştirmeleri

Boore (2003) yöntemle ilgili çeşitli karşılaştırmalar yapmıştır; ampirik olarak hesaplanmış yer hareketleri ile stokastik yöntem tahminlerini karşılaştırdığında stokastik yöntemin, belirli bir manyitüd ve fay-istasyon mesafesine sahip bir dizi

depremin ortalama yer hareketlerini simule etmede kullanışlı olduğu sonucuna varmıştır. Yöntem kırılma yayılımına ve yerel zemin tepkisini de içeren sahadan geçen dalga yayılımına bağlı olarak gelişen faz etkisini içermemektedir. Ek olarak, hareketin çeşitli bileşenleri arasındaki farklılıklar ve farklı dalga tipleri göz ardı edilmiştir. Bu sebeplerden ötürü, normal-fay etkileri, yatay mesafelerdeki faz farklılıkları, konumsal korelasyonlar ve yönlenme etkisi (directivity) simule edilmiş hareketlerle gösterilememektedir.

Yöntemin uygulamalarındaki süre frekanstan bağımsızdır. Ancak, Raoof ve diğ. (1999), sürenin frekans-bağımlı olduğunu bulmuşlardır. frekansa-bağımlı süreyi açıklamak için yöntemde yapılacak modifikasyonlar Zaman-alanı simülasyonları (bir dizi dar-bantlı filtre için hareket simule ederken) için daha kolay olmakla beraber, rastgele-titreşim teorisi kullanarak simule edilen hareketler için daha zor olabilir.

Bir diğer kısıtlama ise, stokastik yönteme dayanan modellerin çoğunun temelde nokta-kaynaklı modeller olmasıdır. Yakın ve orta uzaklıktaki saha terimleri eksik olmasına karşın, çoğu uygulamada saha fayın yakınında olsa bile frekanslar uzak saha terimlerini baskın kılıcak şekilde yüksektir.

2.3.2. Stokastik Sonlu-Fay Simülasyon Yöntemi, FINSIM

Deprem bazlı yer hareketleri, tektonik faylar üzerinde meydana gelen kırıklardan kaynaklanmaktadır. Fay boyutlarıyla karşılaştırıldığında, neden olan faylar uzun mesafede nokta kaynaklı olarak düşünülebilir. Yakın mesafelerde sonlu-fay etkileri önem kazanmaktadır. Bu etkiler esasen, belirli kısımlarının diğer kısımlardan daha erken enerji yaymasına sebep olan kırık ilerlemesinin sonlu hızına bağlıdır. Geç kalan dalgalar sonrasında önceden yayılan dalgalarla çakışarak, önemli boyutta yönelme etkileri yaratmaktadır.

Sonlu-kaynak modelleme büyük depremlerin episentirlerinin yakınlarındaki yer hareketi tahminlerinin önemli bir parçası olmuştur (Hartzell, 1978; Irikura, 1983; Joyner and Boore, 1986; Heaton and Hartzell, 1989; Somerville et al., 1991; Hutchings, 1994; Tumarkin and Archuleta, 1994; Zeng et al., 1994). Çoğu çalışmada kabul edilen yaklaşımda, fay düzlemi elementlere ayrıştırılır ve her element küçük bir kaynak gibi davranır ve tüm alt zonlardan gecikmelerle yayılan dalgalar toplanır. Kırılma fay

üzerinde verilen noktada (Hypocenter) başlar ve sabit hızla yayılarak, ulaştığı anda alt kaynakları tetikleyerek devam eder.

Mümkün olan alternatif yöntemlerden biri, alt olayları ‘stokastik’ ω^2 kaynağı olarak karakterize etmek ve yol etkilerini tarif etmek için ampirik mesafe-bağımlı süre, geometrik yayılma ve azalım (Q) modelleri kullanılmaktadır. Önceki çalışmalardan da görüleceği gibi, stokastik simülasyon yöntemi başarıyla nokta-kaynaklı davranabilecek depremlerin yer-hareketi tahmininde kullanılmıştır (Hanks and McGuire, 1981; Boore, 1983; Boore and Atkinson, 1987; Boore, 1996). *FINSIM* kodunun amacı, bu yöntemi Beresnev ve Atkinson (1997)’nin belirttiği metodu kullanarak, büyük faylar için genişletmektir. Benzer bir yaklaşım Silva ve diğ. (1990) ve Schneider ve diğ. (1993) tarafından uygulanmış olup, ω^2 kaynağı momentlerinin ve köşe frekanslarının nasıl tanımlandığı ve altfay boyutlarına nasıl bağlandığı üzerine farklılıkları ele almıştır.

Programda kullanılan simülasyon yönteminde, belirtilen süre ve azalım işleticileri kullanılarak, ω^2 spektrumu ve gözlem noktasına yayılım varsayılarak Boore (1983, 1996) yöntemiyle alt kaynak zaman serileri üretilir. Program standart bir toplama yöntemi işleterek, hiposentirden dairesel olarak yayılan kırık, ilerledikçe alt kaynakları tetikler. Program ‘ana kaya’ zemin koşulu için yer hareketi üretebilir veya kullanıcı frekansa bağlı zemin büyütme faktörleri belirleyebilir. Program, Δl uzunluğunun ve Δw genişliğinin kullanıcı tarafından belirlendiği fay düzleminin alt elemanlara bölündüğü fay ayrıştırma modeli ile başlar. $\Delta l = \Delta w$ ’ye eşit olarak olarak seçilirse, sonlu bir Δl^2 alanına sahip her eleman belirli bir moment ve köşe frekansıyla ω^2 spektrumuna atanır.

Altfay momenti (m_0) şu şekilde belirlenir;

$$m_0 = \Delta \sigma \cdot \Delta l^3 \quad (2.33)$$

$\Delta \sigma$ stres parametresini veya altfay momentinin boyutuna bağlı bir katsayıyı ifade eder. Stres parametresi genelde Kanamori ve Anderson (1975) tarafından da çalışılan statik stres düşümüyle bağdaştırılır. Program $\Delta \sigma$ ’yi 50 bar olarak sabitler.

Program altfay spektrumunun (f_0) köşe frekansını aşağıdaki eşitlik ile tanımlar:

$$f_0 = ((yz/\pi)\beta)/\Delta l \quad (2.34)$$

Eşitlikteki β kayma-dalga hızını ve y ise kırılma-yayılmı hızının β 'ya bölümünü (normalde 0.8 olarak kullanılmaktadır, Beresnev ve Atkinson, 1997) ifade etmektedir. z parametresi ise fay üzerindeki maksimum kayma oranıyla bağlantılı bir sabittir. Kayma-dislokasyon theorisinden hareketle, bir ω^2 modeli için z parametresi 1.68 olarak belirlenmiştir (Beresnev ve Atkinson, 1997). z parametresi yüksek frekanslı yayılmayı kontrol ettiğinden ötürü önem arz etmektedir. Program z parametresinin çeşitli değerler almasına da imkan tanımaktadır. Eğer 'standart' bir kırılma modelleniyorsa z değeri 1.68 olarak kullanılmaktadır.

Sonlu fay simülasyonlarında altfay boyutunun seçimi büyük önem taşımaktadır. Altfay boyutu, Δl 'nin yayılan spektral genlik üzerindeki etkisi şu şekilde belirlenebilmektedir; bir altkaynaktan R mesafesindeki Fourier ivme spektrumu bir ω^2 şekline sahipse: $a(f) = Cm_0 f^2 / [1 + (f/f_0)^2]$, (Boore, 1983) eşitliğiyle açıklanır. C parametresi $C = 4\pi^2 R^{\theta\phi} / 4\pi\rho\beta^3 R$ eşitliğiyle ifade edilen bir sabittir, $R^{\theta\phi}$ parametresi ise yayılma modelidir. Eşitlik 2.33 ve 2.34'ten m_0 ve f_0 parametreleri çıkarıldığında;

$$a(f) = \frac{C \Delta \sigma f^2 \Delta l^3}{1 + \left(\frac{\pi}{yz\beta}\right)^2 f^2 \Delta l^2} \quad (2.35)$$

eşitliği elde edilir. Sonuçta N sayıda altfaydan dağılan yayılım belirtilen hedef momente (M_0) ulaşabilmek için toplanır. *FINSIM* N sayısını;

$$N = \frac{M_0}{m_0} = \frac{M_0}{\Delta \sigma \Delta l^3} \quad (2.36)$$

eşitliği ile hesaplamaktadır. Yüksek frekanslarda (altfayların köşe frekanslarından yüksek), spektrumlar toplamda $N^{1/2}$ 'lik bir genlik artışına sebep olacak şekilde ekleme yaparlar (Joyner ve Boore, 1986). Eşitlik 2.34'ün $N^{1/2}$ (Eşitlik 2.36) ile çarpılması sonucu sonlu-fay spektrum formu elde edilir:

$$a(f) = C(\Delta \sigma M_0)^{1/2} \left(\frac{yz\beta}{\pi}\right)^2 \Delta l^{1/2} \quad (2.37)$$

Eşitlikten de görüldüğü gibi Beresnev ve Atkinson, 1997 yılındaki çalışmalarında belirttikleri altfay boyutunun genlik üzerinde etkisiz olduğu sonucunu çürütmüşlerdir.

Simulasyonların benzersiz olmasını sağlamak için kullanılan Δl değeri belirli bir aralıkta sınırlanmalıdır. Stokastik yöntemdeki alt kaynak boyutunun, hedef depremin boyutuna bağlı olarak M5-6.5 büyüklüğündeki depreme karşılık gelmesi gerektiği genel bir kanıdır (Silva ve diğ., 1990; Schneider ve diğ., 1993).

FINSIM 0.25 Hz den yüksek frekanslar için uygundur. Δl için de bir üst sınır bulunmaktadır. Δl için yüksek bir değer hedef momente ulaşmak için gerekli olan çok az sayıda alt fayı etkilemektedir. Beresnev ve Atkinson'ın yapmış oldukları çalışmalara göre, çeşitli ölçekte hedef momentler için eğer Δl yaklaşık 15 km den küçükse, sonlu-fay boyutları, kayma dağılımı ve ivme çıktısı alt olay zaman kayıtları ile yeterince iyi dağılım göstermektedir. Bu M 6.4 büyüklüğünde bir momente karşılık gelmektedir (Wells ve Coppersmith, 1994).

Genellikle, *FINSIM* yaklaşık olarak 5 ile 15 km aralığında bulunan Δl değerleri için kullanılmalıdır. Ayrıca program yaklaşık M5.4 büyüklüğünü aşan depremleri modellemede kullanılmaktadır. Daha küçük depremler "nokta kaynaklı" olarak düşünülebilir. Bu büyüklük sınırı ($\sim M 5.5$), nokta-kaynaklı modelin belirgin bir şekilde empirik kaynak spektrumundan sapmaya başladığı seviyedir.

Program, nokta kaynaklar için geliştirilmiş stokastik yer-hareketi simülasyon tekniğini sonlu faylar durumu için genelleştirir. Büyük fay düzlemlerini alt faylara böler ve her bir alt fayın ω^2 spektrumlu bir nokta kaynak olduğunu varsayar. Yer-hareketi üretme işlemindeki karmaşıklığı simule etmek için alt fay spektrumlarına rastgele bir bileşen eklenir. Belirtilen hedef moment için simule edilmiş kayıt üretmek için alt kaynaklar fay düzleminin üzerinde toplanır.

Girdi parametrelerinin belirlenmesinin esnek olması, programın bölgeye özel uygulamalara uyarlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Örneğin, mesafe-bağımlı alt kaynak süresi, geometrik yayılma ve azalım (Q) modelleri, çeşitli bölgeler için küçük büyüklükteki depremlerin ampirik çalışmalarından elde edilebilir ve bu bilgi girdi olarak programa verilebilir. Program ayrıca kullanıcının fay düzlemi üzerindeki kayma dağılımını belirlemesine veya rastgele bir kayma oluşturmaya imkan vermektedir. Yüksek-frekanslı yayılımın seviyesi fay üzerindeki maksimum kayma hızıyla belirlenen bir parametre ile kontrol edilmektedir. Gelecek depremler için "medyan" yer-hareketi tahmininde, bu parametre "standart" değer olarak bırakılabilir.

2.3.3. Stokastik Sonlu Fay Simülasyon Yöntemi, EXSIM

Stokastik yöntemde, yüksek frekanslı yer hareketleri deterministik bir Fourier büyüklük spektrumu ve rassal faz açılarının frekans uzayında birleştirilmesi ile elde edilirler (Ör.: Boore, 1983; Irikura, 1986; Kamae vd., 1998; Graves ve Pitarka, 2004). En yaygın olarak kullanılan büyüklük spektrumu omega-kare ivme spektrumudur (Brune, 1970). Literatürde büyük depremlerin yakın-saha kayıtlarını simüle etmek için en sık kullanılan yöntem, Motazedian ve Atkinson (2005) tarafından önerilen dinamik köşe frekansı yöntemidir.

Motazedian ve Atkinson (2005), Beresnev ve Atkinson (1998a)'ın FINSIM kodunu modifiye ederek dinamik köşe frekansı uygulamasını getirmiş ve kodun ismini EXSIM olarak değiştirmiştir.

Bu yöntemde her bir alt-fay bir omega-kare nokta kaynak olarak kabul edilir ve yırtılma odaktan başlayarak her bir alt-fayın merkezine ulaştığında o alt-fay da yırtılmış kabul edilir. Tüm alt-faylara ait hareketler, zaman uzayında her bir alt-faya ait gecikme göz önünde bulundurularak toplanır ve ana faya ait toplam yer hareketi elde edilir.

Dinamik köşe frekansı hesaplanmasında, aktif alt fayların sayısını kısıtlamak düşük frekansların genliğini kontrol edebilir. Yazarların geliştirmiş olduğu dinamik köşe frekansı yaklaşımı önceki stokastik sonlu-fay metodu formülasyonlarına göre birkaç avantaj içermektedir. Bunlar; altfay boyutlarından bağımsız olarak yüksek frekanslarda yayılan enerjinin korunmasını, daha geniş bir manyitüd aralığında uygulama ve düşük ve yüksek frekansların göreceli genliklerinin kontrolüdür.

Stokastik nokta kaynaklı yaklaşımda, köşe frekansının orjinal tanımı $f_0 = 4.9E + 6\beta(\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$ olarak verilmektedir. $\Delta\sigma$ bar cinsinden stres düşümü, M_0 dyne.cm cinsinden sismik moment ve β km/sn cinsinden kayma-dalga hızını ifade etmektedir (Boore, 1983). Deprem yer hareketlerinin sonlu-fay modellemesinde, büyük bir fay, herbirinin küçük bir nokta kaynak olarak varsayıldığı, N sayıda alt faylara bölünür. Bu yaklaşımın yeni bir çeşidi olarak 'dinamik köşe frekansı' metodu sunulmuştur. Bu modelde, köşe frekansı zamanın bir fonksiyonudur ve kırılma hikayesi de her bir alt fayın simüle edilmiş zaman serilerinin frekans içeriğini kontrol etmektedir. Kırılma yüksek bir köşe frekansıyla başlayıp, kırılan alan genişledikçe düşük köşe frekanslarına doğru gelişme gösterir.

$$a(t) = \sum_{i=1}^{nl} \sum_{j=1}^{nw} a_{ij}(t + \Delta t_{ij}) \quad (2.38)$$

Kırılma hiposentirden radyal olarak yayılır. Bu uygulamada herbiri stokastik nokta-kaynak yöntemiyle hesaplanan altfayların yer hareketleri, tüm faydan yer hareketi ivmesi $a(t)$ elde etmek için zaman aralığında toplanır. nl ve nw , ana fayın uzunluk ve genişliği boyunca yer alan altfayların sayısını ifade eder ($nl \times nw = N$). Eşitlik 2.36'daki Δt_{ij} ise ij sayılı altfaydan yayılan dalganın gözlem noktasına ulaşması için gerekli göreceli zaman gecikmesidir.

Motazedian ve Atkinson (2005)'in dinamik yaklaşımında, birinci altfayın (kırığın başlangıç noktası yakınında) köşe frekansı $f_{011} = 4.9E + 6\beta(\Delta\sigma/M_{011})^{1/3}$, olarak tanımlanmaktadır, M_{011} birinci altfayın sismik momentidir. ij sayılı alt-fayın dinamik köşe frekansı $f_{0ij}(t)$, t anındaki kırılmış alt fayların kümülatif sayısının, $N_R(t)$ bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir:

$$f_{0ij}(t) = N_R(t)^{-1/3} 4.9E + 6\beta(\Delta\sigma/M_{0ave})^{1/3} \quad (2.39)$$

Eşitlikteki $M_{0ave} = M_0/N$ altfayların ortalama sismik momentini ifade etmektedir. $t = t_{end}$ için, kırılmış altfayların sayısı, $N_R(t)^{-1/3} = N^{-1/3}$ tür. Böylece, kırılmanın sonundaki köşe frekansı $f_{0ij}(t_{end}) = N^{-1/3} 4.9E + 6\beta(\Delta\sigma/M_0/N)^{1/3}$, $f_{0ij}(t_{end}) = f_0$, tüm fayın köşe frekansını ifade etmektedir.

Stokastik sonlu-fay modelinde, odaktan R_{ij} kadar uzakta bulunan ij alt_fayına ait S-dalgası ivme spektrumu $A_{ij}(f)$, nokta kaynaklı olarak ω^2 şeklinde modellenebilir;

$$A_{ij}(f) = CM_{0ij} H_{ij} \frac{(2\pi f)^2}{1 + (\frac{f}{f_{cij}})^2} G(R_{ij}) e^{\frac{\pi f R_{ij}}{Q\beta}} S(f) e^{-\pi\kappa f} \quad (2.40)$$

Bu denklemde $G(R_{ij})$ geometrik yayılım faktörü, Q elastik olmayan azalım katsayısı (Kalite faktörü), β kabuk S-dalga hızı, $S(f)$ yerel zemin koşullarını ifade eden bir filtre, K zeminlere ait yüksek frekans üssel azalım faktörü, f_{cij} , ij alt-fayına ait dinamik köşe frekansı, H_{ij} yüksek frekanslardaki spektral seviyeyi korumak için uygulanan bir ölçekleme faktörüdür.

Stokastik sonlu-fay yer hareketi simülasyonlarında kaynak modeli belirleyen ana girdi parametreleri, eğim ve doğrultu açısı, kırık düzleminin uzunluğu ve genişliği, hiposentir

derinliği ve koordinatları, fay düzlemi boyunca kayma dağılımı, stres düşümü (stress drop) ve ötelenen alan (pulsing area) yüzdesidir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde tezin konusu oluşturan geoteknik yapıların tasarımında kayıt seçiminin önemi, kayıt seçimine etki eden faktörler, gerçek istasyon kayıtlarının ve simülatif kayıtların elde edilmesi ve tehlike tepki spektrumuna ölçeklenmesi aşamaları anlatılmış sonrasında ise farklı yöntemlerle elde edilen değişik özellikteki kayıtların seçilen farklı geoteknik problem üzerindeki etkisini araştırmak için çelik ve betonarme silindirik kazık içeren liman modeli ve gömülü çelik silindirik boru modelleri hazırlanmıştır.

3.1. GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında, deprem yönetmeliklerinde belirtilen tehlike tepki spektrumunu karşılayan yapısal tasarımlar yapabilmek için spektruma uyumlu deprem ivme kaydı elde edilmesi ve seçilmesi ile ilgili genel yöntemler ve kriterler ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir. Gerçek kayıtların sayıca ve özellik bakımından yetersiz kalması da göz önünde bulundurularak, gerçek kayıtların PEER kuvvetli yer hareketi veri tabanından elde edilmesinin yanı sıra stokastik sonlu fay kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemi ile simülatif kayıtlar üretilmiştir. 2011 yılında Tekirdağ açıklarında meydana gelen Mw5.0 büyüklüğündeki deprem simule edilmiş ve Marmara Bölgesi'ne özel yayılım ve kabuk dalga hızı modelleri doğrulanmıştır, sonrasında doğrulanan bu modeller kullanılarak Tekirdağ yöresi için belirlenmiş D1 ve D2 tehlike seviyeli tepki spektrumuna uygun olarak Mw6.8 ve Mw7.5 büyüklüğünde iki senaryo deprem simule edilmiştir. PEER kuvvetli yer hareketi veri tabanından seçilen 17 ivme kaydı, 8'er farklı şekilde simule edilen Mw6.8 ve Mw7.5 deprem ivme kayıtları belirtilen spektruma ölçeklenmiş ve elde edilen sentetik kayıtlar seçilen geoteknik problemlerin analizinde kullanılmıştır. Liman ön ve arka kazıklarında seçilen kayıda göre değişen tasarım kriteri incelenirken gömülü boru modelinde yalnızca deplasman kriteri incelenmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma alanı Tekirdağ-Asyaport ve güncellenmiş fay segment modeli (Ambraseys ve Jackson, 2000).

3.2. TEKİRDAĞ BÖLGESİNİN TEHLİKE TEPKİ SPEKTRUMU

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde genelde kullanılan iki yaygın yaklaşım bulunmaktadır. Biri pik yer ivmesi- pga ve spektral ivme- Sa gibi yer hareketi parametreleri ile temsil edilen, sahayı etkileyebilecek ve afetle sonuçlanabilecek mümkün olan tüm deprem senaryolarını hesaba katan olasılıksal sismik tehlike analizidir. Diğer yöntem ise, deterministik deprem tehlike analizidir. Deterministik analizde, belirli bir sahadaki deprem senaryolarını bulmak için kompozit olasılıksal tehlikeler toplandığı için olasılıksal tehlike analizi, deterministik olana göre öncelikli olarak yapılmaktadır. Aynı zamanda yer hareketi parametrelerini veya simüle edilmiş kuvvetli yer hareketi-zaman kayıtlarını sağlayan bu senaryo deterministik tehlike analizi yaklaşımının temelini oluşturur.

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (PSHA)'nin temel bileşenleri deprem kaynağı veya kaynaklarının, her kaynak için deprem oluş karakteristiklerinin ve yer hareketi tahmin denklemlerinin tanımlanmasıdır. Bu bilgi, verilen bir bölgedeki farklı yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılığını elde etmek için olasılıksal nümerik bir modele entegre edilmiştir (Cornell, 1968; Frankel ve diğ., 1996; GSHAP, 1999).

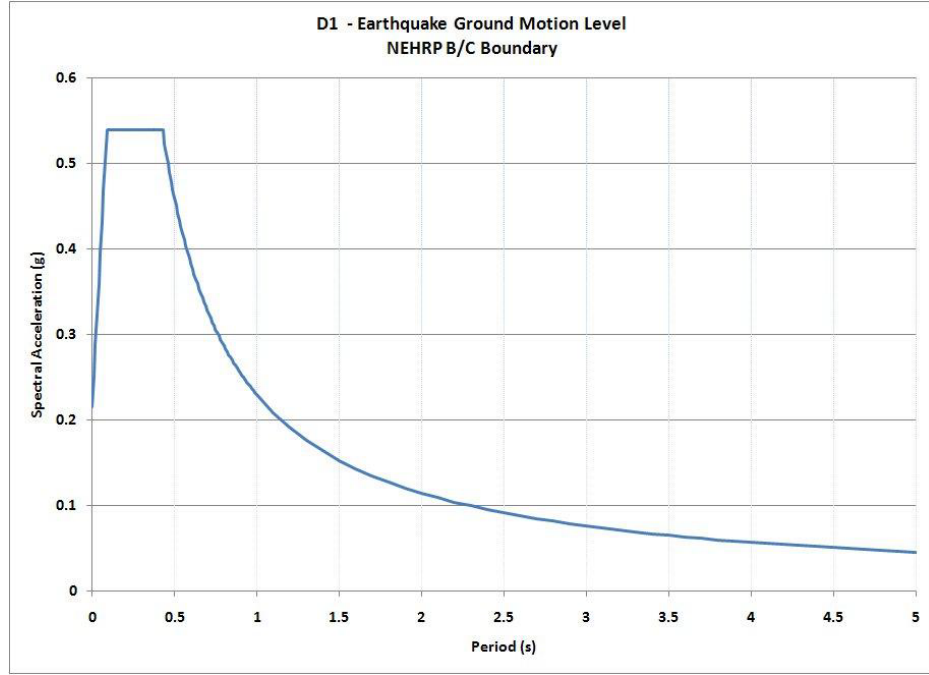
1997 NEHRP düzenlemeleri iki ayrı tehlike seviyesi öngörmektedir; tasarım depremi ve maksimum öngörülen deprem yer hareketidir. İlki 50 yılda %10 aşma olasılıklı veya ortalama 474 yıl dönüş periyodlu deprem olarak tanımlanırken, ikincisi 50 yılda %2 aşma olasılıklı veya 2475 yıl dönüş periyodlu deprem olarak tanımlanır. FEMA-273 (1997) ise aynı düzenlemeleri kabul etmiş ve çeşitli bina tipleri için performans seviyeleri belirlemiştir. Tekirdağ bölgesi için sismik olasılıksal tehlike analizi geçmiş çalışmalarda 72, 475 ve 2475 dönüş periyodlarına karşılık gelen sırasıyla 50 yılda 50%, 10% ve 2% aşılma olasılıkları için yapılmıştır. Analiz için seçilen yer hareketi parametreleri 0.2 sn ve 1 sn'deki Pik Yer İvmesi (PGA) ve Spektral İvmedir (SA). Sonuçlar anakaya koşulları için (NEHRP B/C Sınırı) Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1: NEHRP B/C sınırı için olasılıksal deprem tehlike analiz sonuçları.

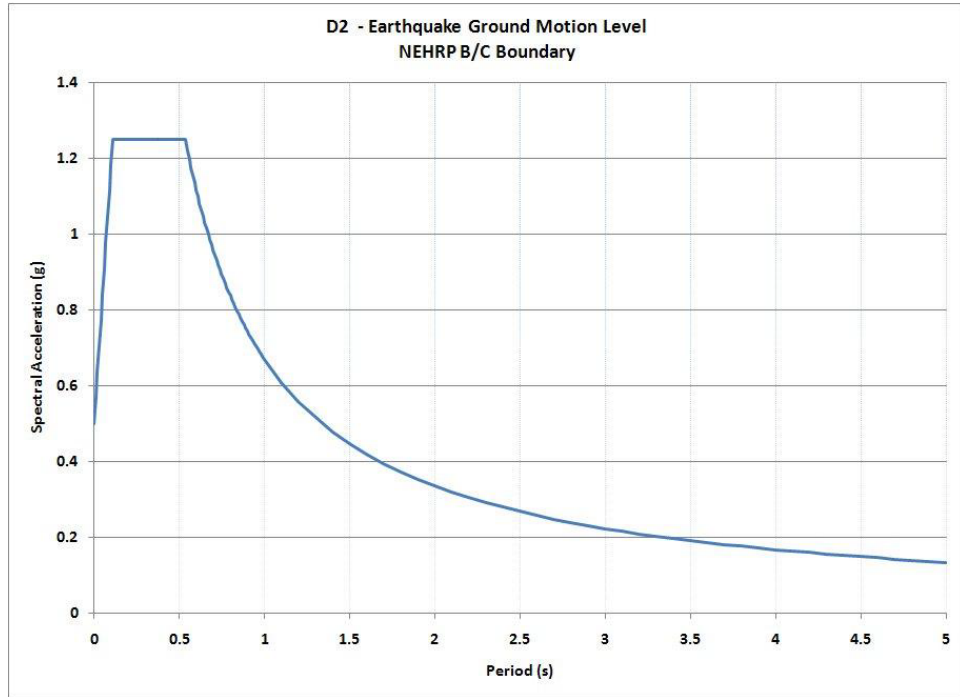
Dönüş Periyodu	PGA (g)	SA (T=0.2 sn)	SA(T=1.0 sn)
72	0.27	0.54	0.23
475	0.58	1.25	0.67
2475	0.82	1.84	1.09

Deterministik deprem tehlike analiz yöntemi ise; senaryo depremin belirlenmesini, uygun yer hareketi tahmin denklemlerinin tanımlanmasını ve uygun zemin tepkilerinin ölçümelerini içermektedir. Jeolojik ve sismolojik bilgi, tehlikenin deterministik analizinde kullanılan uygun senaryo depremin tahmini için temel oluşturmaktadır. ‘En kötü’ senaryo için, gerçekleşmiş maksimum deprem büyüklüğü kabul edilmektedir. Bu bilgilere dayanarak, önceki çalışmalarda Tekirdağ bölgesi için ‘En Kötü Senaryo’ $M_w = 7.5$ manyitüd (1999 Kocaeli depreminin büyüklüğüne ve toplam kırık uzunluğuna benzerdir) olarak belirlenmiştir. D2 tehlike seviyesi için kabul edilen $M_w 7.5$ manyitüdün 475 yıl dönüş periyoduna karşılık geldiği kabul edilmiştir. D1 tehlike seviyesi içinse senaryo depremin $M_w 6.8$ manyitüdü olduğu ve 72 yıl dönüş periyoduna karşılık geldiği varsayılmıştır.

D1 ve D2 deprem yer hareketi seviyeleri sahaya özel 5% sönümlenmiş NEHRP B-C sınırı (Kayma Dalga hızı 760 m/sn) zemin sınıfı için oluşturulan yatay tepki spektrumu ile ölçeklendirilmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.2: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumu.



Şekil 3.3: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumu.

3.3. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi ya da tasarımı amacıyla, zaman tanım alanında doğrusal ya da doğrusal olmayan analiz için kullanılan ivme kayıtları, analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple analiz için uygun ivme

kayıtlarının seçilmesi önemlidir; analiz için kullanılacak kayıtlar kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemleriyle ve gerçek depremlerden elde edilir.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle ya tasarım spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmeler çoğunlukla sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğa odaklanır. Böylece kayıtlar en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir.

Gerçek ivme kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve genlik, süre, faz ve frekans içeriği gibi özellikleri hakkında daha doğru bilgi içerir, ayrıca kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi faktörleri de yansıtır. Bu açıdan analiz için uygun kaydın seçilmesi önemli bir parametredir. Belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem yapılan Sismik Tehlike Analizi sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla uyuşmalı hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlamalıdır. Deprem büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesi çok önemlidir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin hedef olarak belirlenen büyüklüğe ± 0.25 yaklaşıklıkta olması istenir. Özellikle faya yakın olan bölgelerde yapılacak olan çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olması önemlidir. Çünkü, yakın fay yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklıdır. Diğer bir etken olan zemin koşullarının ise kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Yer hareketleri yumuşak zeminlerde büyütülmesine rağmen içeriğindeki yüksek frekanslı hareketler azalır. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkileri, genellikle kaydın ivme spektrumunun orta ve yüksek periyodlu bölgelerinde fark edilebilir.

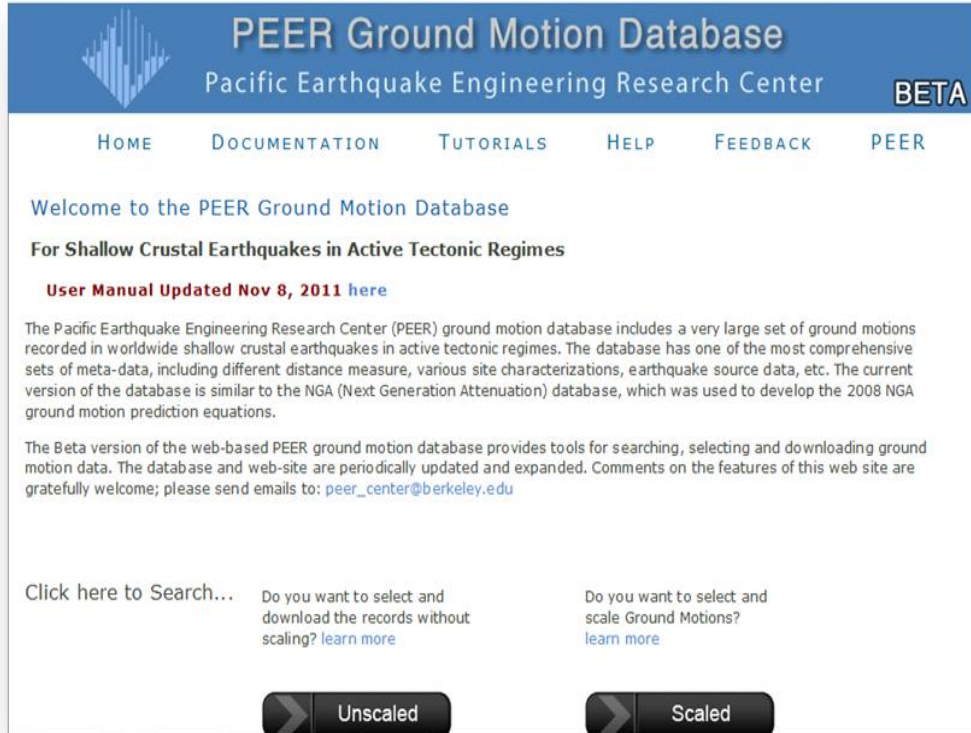
Tasarım spektrumu, genellikle, pek çok sismik kaynağın etkisini eş zamanlı olarak gözönüne alan istatistiksel bir analizin sonucu olduğundan, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklarda oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir. Tüm bu etkiler göz önüne alınarak gerçek kayıtlar depremin büyüklüğüne ve frekans içeriğine uygun olarak seçilmektedir.

3.3.1 PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı

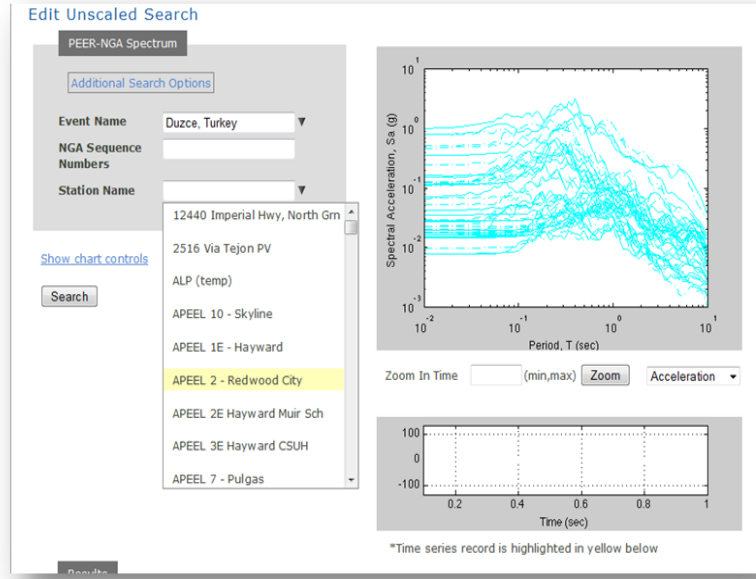
Mevcut olan kuvvetli yer hareketi veri bankalarının her geçen gün zenginleşmesi ve bunlara ulaşmanın ilerleyen teknoloji ile birlikte daha da kolaylaşması, gerçek depremlerden alınan kayıtların kullanılması ve ölçeklenmesini en güncel araştırma konularından biri haline getirmiştir. Bu amaca hizmet eden PEER kuvvetli yer hareketi veritabanı tez çalışması için gerekli gerçek kayıtları elde etmemize olanak sağlamıştır.

Geoteknik yapıların dinamik analizinde kullanılacak gerçek deprem kayıtları PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) kuvvetli yer hareketi veri tabanından seçilmiş olup (http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database), listesi Tablo 3.2’de verilmektedir. Veri tabanında yer alan kayıtların elde edildiği depremlerin büyüklüğü, fay tipi ve ivme kayıtlarının elde edildiği kayıt istasyonlarının yerel zemin özellikleri, deprem kaynağından uzaklıkları, kaydın spektral içeriği gibi özellikler büyük değişkenlik göstermektedir. PEER veri tabanından ivme kaydı seçerken ölçeklenmemiş kayıtlar tercih edilerek (Şekil 3.4), ölçekleme aşaması için EZ-FRISK programı kullanılmıştır.

Türkiye’nin genel fay yapısı doğrultu atımlı (strike-slip) olduğundan ölçekleme yapmak için genellikle doğrultu atımlı fayların oluşturduğu deprem kayıtları seçilmiştir. Yakın fay bölgesinde yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklı olduğu için kayıtların hem yakın fay hem de uzak fay bölgelerini kapsayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir.



Şekil 3.4: PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) kuvvetli yer hareketi veri tabanı web sayfası, Ölçeklenmiş veya Ölçeklenmemiş kayıt seçimi.



Şekil 3.5: Ölçeklenmemiş kayıt seçiminde arama seçenekleri; Deprem ismi, NGA no, yer hareketini kaydeden istasyonun ismi.

Results

*Click on the record below to display Spectra and Time series ☐ Plot Selected

	Result#	Comp.	NGA#	Pulse	Tp(s)	D5-95(s)	Event	Year	Station
☐	1	GM	1599	0 0	-- --	33.6 41.4	Duzce, Turkey	1999	Ambarli
☐	2	GM	1600	0 0	-- --	32.0 24.6	Duzce, Turkey	1999	Arcelik
☐	3	GM	1601	0 0	-- --	37.5 23.4	Duzce, Turkey	1999	Aslan R.
☐	4	GM	1602	0 1	-- 0.91	8.5 9.9	Duzce, Turkey	1999	Bolu
☒	5	GM	1603	0 0	-- --	41.7 41.7	Duzce, Turkey	1999	Bursa Tofas
☐	6	GM	1604	0 0	-- --	35.2 39.9	Duzce, Turkey	1999	Cekmece
☐	7	GM	1605	0 1	-- 5.6	10.9 10.7	Duzce, Turkey	1999	Duzce
☐	8	GM	1606	0 0	-- --	19.9 43.3	Duzce, Turkey	1999	Fatih
☐	9	GM	1608	0 0	-- --	24.6 27.7	Duzce, Turkey	1999	Hava Alani
☐	10	GM	1609	0 0	-- --	34.3 38.1	Duzce, Turkey	1999	Kocamustafapaba T
☐	11	GM	1610	0 0	-- --	56.3 42.6	Duzce, Turkey	1999	Kutahya
☐	12	GM	1611	0 0	-- --	14.2 15.2	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1058
☐	13	GM	1612	0 0	-- --	14.1 15.2	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1059
☐	14	GM	1613	0 0	-- --	18.9 12.5	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1060
☐	15	GM	1614	0 0	-- --	15.3 12.5	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1061
☐	16	GM	1615	0 0	-- --	16.1 12.5	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1062
☐	17	GM	1616	0 0	-- --	19.3 20.4	Duzce, Turkey	1999	Lamont 362
☐	18	GM	1617	0 0	-- --	12.9 13.6	Duzce, Turkey	1999	Lamont 375
☐	19	GM	1618	0 0	-- --	14.5 15.1	Duzce, Turkey	1999	Lamont 531
☐	20	GM	1619	0 0	-- --	15.8 16.2	Duzce, Turkey	1999	Mudurnu
☐	21	GM	1620	0 0	-- --	26.3 23.7	Duzce, Turkey	1999	Sakarya
☐	22	GM	1621	0 0	-- --	40.8 38.0	Duzce, Turkey	1999	Yarimca

Şekil 3.6: Seçilen depreme ve istasyon adına göre listenen kayıtlar.

PEER veri tabanından D1 ve D2 tehlike seviyesi için seçilen istasyon ivme kayıtları Mw, Rjb, Vs30 ve PGA değerlerini de içerecek şekilde listelenmiş ve tehlike seviyesine göre isimlendirilmiştir (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3).

Tablo 3.2: PEER kuvvetli yer hareketi veritabanından D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtları

NGA #	Kayıt Adı	Deprem	Yıl	İstasyon Adı ve Bileşeni	Mw	Vs30 (m/s)	PGA (g)	Rjb (km)
164	D1-r1	Imperial Valley-05	1979	Cerro Prieto-147	6.53	659.6	0.169	15.2
879	D1-r2	Landers	1992	Lucerne-345	7.28	684.9	0.789	2.2
1148	D1-r3	Kocaeli	1999	Arçelik-000	7.51	523	0.2188	10.6
1165	D1-r4	Kocaeli	1999	İzmit-090	7.51	811	0.2195	3.6
1614	D1-r5	Düzce	1999	Lamont-1061-E	7.14	481	0.1336	11.5
1618	D1-r6	Düzce	1999	Lamont-531-N	7.14	659.6	0.1603	8
1787	D1-r7	Hector Mine	1999	Hector-090	7.13	684.9	0.3367	10.3
4101	D1-r8	Kocaeli	1999	Kocaeli Merkez Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü-NS	7.4 (Md)	826.114	0.17284	0.63
4106	D1-r9	Kocaeli	1999	Kocaeli Gebze Tubitak Marmara Araştırma Merkezi-NS	7.4 (Md)	701.075	0.2702	4.87
265	D1-r10	Victoria, Mexico	1980	Cerro Prieto-045	6.33	659.6	0.6210	13.8
1111	D1-r11	Kobe	1995	Nishi-Akashi-090	6.9	609	0.5027	7.1
451	D1-r12	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)-CYC195	6.19	597.1	0.7108	0.2
454	D1-r13	Morgan Hill	1984	Gilroy-Gavilan Coll.-067	6.19	729.6	0.1143	14.8
459	D1-r14	Morgan Hill	1984	Gilroy Array-6-090	6.19	663.3	0.2920	9.8
2739	D1-r15	Chi-Chi,	1999	CHY080-N	6.2	680	0.1200	12.4
455	D1-r16	Morgan Hill	1984	Gilroy Array-1320	6.19	1428	0.0982	14.9
145	D1-r17	Coyote Lake	1979	Coyote Lake Dam (SW Abut)-250	5.74	597.1	0.2791	5.3

Tablo 3.3: PEER kuvvetli yer hareketi veritabanından D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtları

NGA #	Kayıt Adı	Deprem Adı	Yıl	İstasyon Adı ve Bileşeni	(Mw)	Vs30 (m/s)	PGA (g)	Rjb (km)
164	D2-r1	Imperial Valley-05	1979	Cerro Prieto-237	6.53	659.6	0.1568	15.2
1611	D2-r2	Duzce	1999	Lamont-1058-E	7.14	425	0.1106	0.2
1148	D2-r3	Kocaeli	1999	Arcelik-000	7.51	523	0.2183	11
1165	D2-r4	Kocaeli	1999	Izmit-180	7.51	811	0.1524	3.6
1614	D2-r5	Duzce	1999	Lamont-1061-N	7.14	481	0.1064	11.5
1618	D2-r6	Duzce	1999	Lamont-531-E	7.14	659.6	0.1182	8
1787	D2-r7	Hector Mine	1999	Hector-090	7.13	684.9	0.3366	10.3
4101	D2-r8	Kocaeli	1999	Kocaeli Merkez Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü-NS	7.4 (Md)	826.114	0.17284	0.63
4106	D2-r9	Kocaeli	1999	Kocaeli Gebze Tubitak Marmara Araştırma Merkezi-NS	7.4 (Md)	701.075	0.2702	4.87
265	D2-r10	Victoria, Mexico	1980	Cerro Prieto-045	6.33	659.6	0.621	13.8
1111	D2-r11	Kobe-Japan	1995	Nishi-Akashi-090	6.9	609	0.5027	7.1
451	D2-r12	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)-CYC195	6.19	597.1	0.7108	0.2
454	D2-r13	Morgan Hill	1984	Gilroy-Gavilan Coll.-067	6.19	729.6	0.1143	14.8
459	D2-r14	Morgan Hill	1984	Gilroy Array-6-090	6.19	663.3	0.292	9.8
2739	D2-r15	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY080-N	6.2	680	0.12	12.4
455	D2-r16	Morgan Hill	1984	Gilroy Array-1320	6.19	1428	0.0982	14.9
145	D2-r17	Coyote Lake	1979	Coyote Lake Dam (SW Abut)-250	5.74	597.1	0.2791	5.3

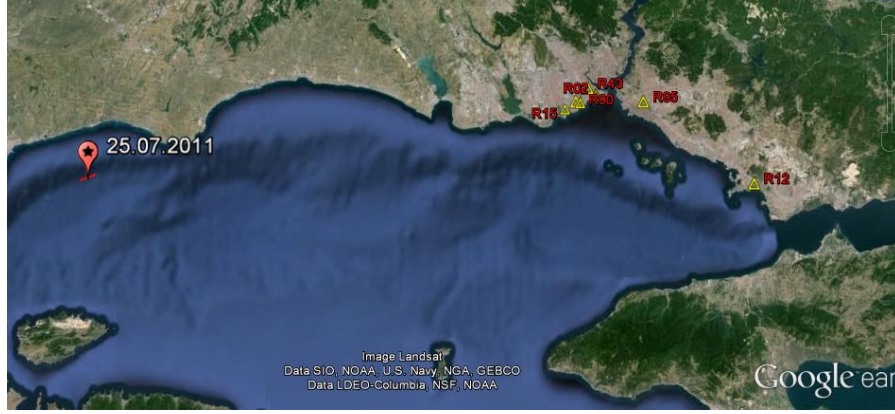
3.4. SİMÜLE EDİLMİŞ DEPREM YER HAREKETLERİ

Çalışma alanı olarak belirlenen Tekirdağ ve yöresi birçok liman ve kıyı yapılarını barındırmakta, bu açıdan dinamik etkilere karşı geoteknik yapıların tasarımı büyük önem kazanmaktadır. Dinamik analizlerde kullanılacak gerçek yer hareketleri sayıca ve karakteristik özellikleri bakımından sıklıkla yetersiz kalmaktadır, bu sebeple yer hareketi simülasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. Tekirdağ yöresi için yapılan bu çalışma için de yer hareketi simülasyon yöntemlerine başvurulmuş ve Boore (2009)'un EXSIM kodu kullanılmıştır.

Birçok araştırmacıya göre, 1999 İzmit, 1999 Marmara Denizi-Prens Adaları açıkları ve 2011 Marmara Denizi (Ml 5.2) depremleri, Marmara Denizi baseninde sismik bir boşluğa işaret etmektedir (Hubert-Ferrari ve diğ., 2000). Bölgenin deprem geçmişi ve mevcut stres birikimi bu tahmini güçlendirmektedir (Bouchon ve Durand ve diğ., 2012). Bu bilgiler doğrultusunda, Marmara Bölgesinde beklenen muhtemel yer hareketlerinin tahmini için iki farklı tehlike seviyesi için (D1 ve D2) stokastik sonlu fay simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılacak anelastik azalım, geometrik yayılım ve kaynak süresi modellerinin doğrulanması için 25.07.2011 tarihinde Marmara Denizinde gerçekleşen Mw5.0 manyitüdlü deprem simule edilmiş ve simule edilen kayıtlar gerçek istasyon kayıtları ile karşılaştırılarak verifiye edilmiştir. Sonrasında Marmara Bölgesinde kullanılması uygun görülen bu modeller D1 tehlike seviyeli Mw6.8 ve D2 tehlike seviyeli Mw7.5 manyitüdlü iki farklı stokastik sonlu-fay yer hareketi simülasyonunda kullanılmıştır. Simule edilerek bölgeye özel olarak üretilen bu depremler, belirlenen D1 ve D2 tehlike seviyeli tepki spektrumlarına ölçeklenerek liman kazıklarının ve gömülü boruların dinamik analizinde kullanılmıştır.

3.4.1. Mw5.0 Manyitüdlü 25.07.2011 Marmara Denizi Depremi

Depremler, bilinen faylar boyunca bir segment üzerinde, birkaç komşu segment üzerinde yahut sınırları bilinmeyen segmentler üzerinde gelirler (PEER, 1999). Çalışmada faya ait dalım, doğrultu, episentral koordinatlar ve derinlik parametreleri odak düzlemi (focal plane) çözümlerinden elde edilmiştir (Kalafat, D., KRDAE, 2011), (Tablo 3.4). Deprem lokasyonu ve KRDAE-Gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi istasyonları Şekil 3.7'te görülmektedir.



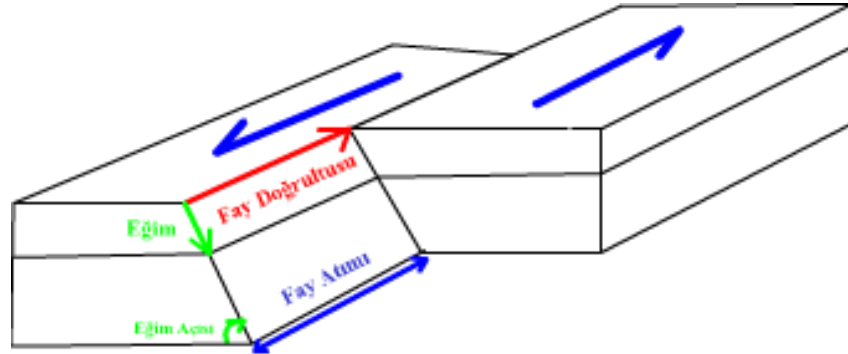
Şekil 3.7: 25.07.2011 tarihli Mw5.0 manyitüdü Marmara Denizi depremi

Değişiklik gösterebilecek parametreler fay düzleminin boyutları, stress düşümü (stress drop) ve ötelenen alan yüzdesidir (pulsing area percentage). Bu çalışmada fay düzleminin boyutları için Coppersmith ve Wells'in manyitüd ve fay çeşidine bağlı olarak geliştirdiği kırık uzunluğu ve genişliği eşitliklerinden (Tablo 3.4), stress düşümü belirlenmesinde ise yörünge, zemin ve kaynak parametreleri kullanılarak hatayı minimize eden bir algorithmadan yararlanılmıştır (Castro ve diğ., 2008).

Tablo 3.4: 25.07.2011 Marmara Denizi depremine ait bilgiler

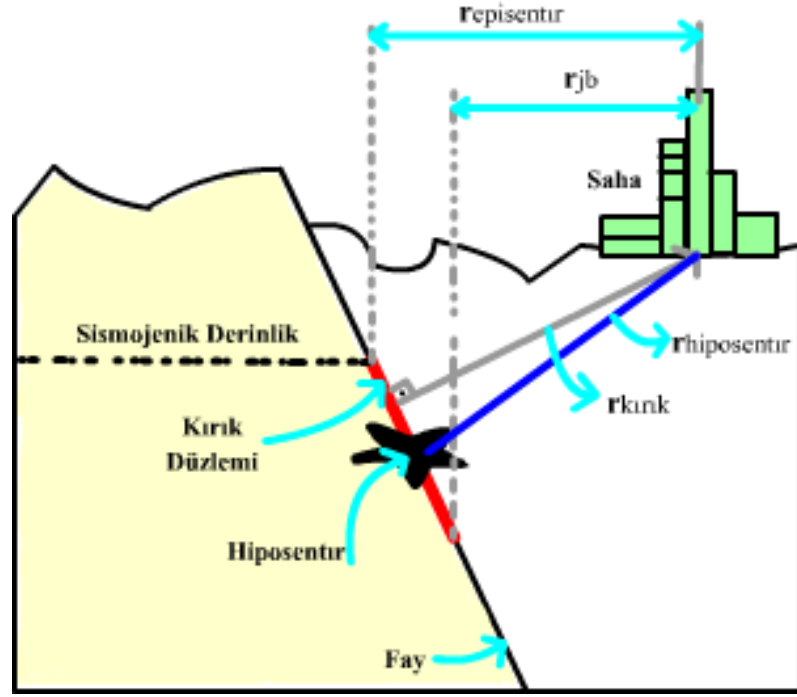
Tarih	25.07.2011
Manyitüd	Mw5.0
Episentr	40.907° N - 27.693° S
Derinlik	14.5 km
Doğrultu/Eğim	66.07°/50.04°
Fay düzlemi uzunluğu x genişliği	3.4 km x 3.9 km

Fay karakteri doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (Kalafat, D., 2011), fay düzlemi ve fay mekanizmasına ait şematik gösterimler Şekil 3.4 ve 3.5 ve 3.6'da verilmektedir.

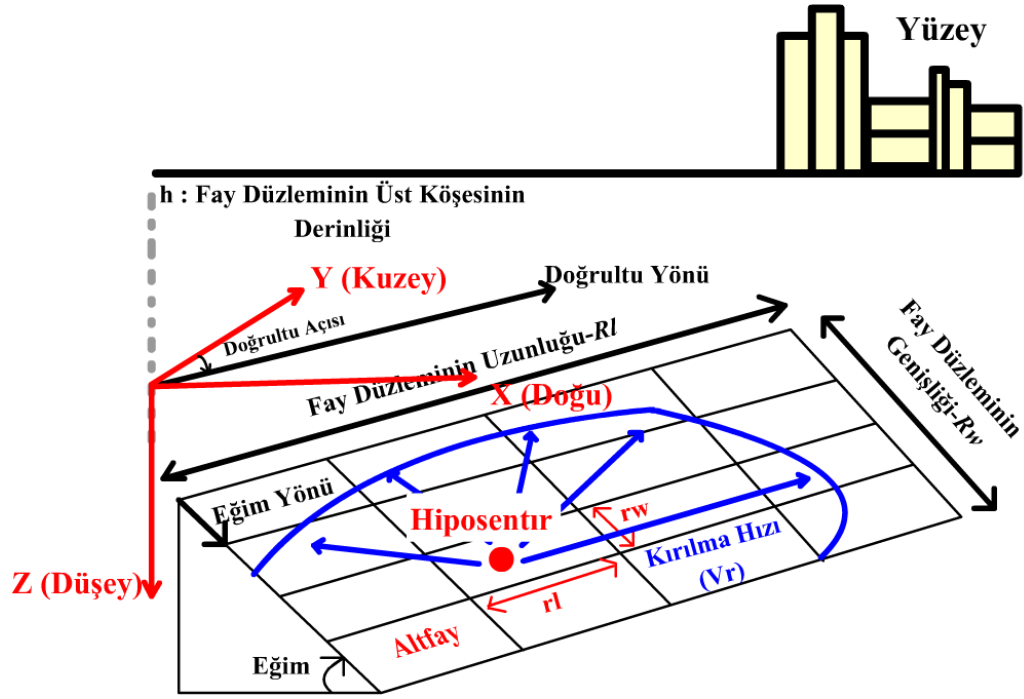


Şekil 3.8: Doğrultu atımlı Marmara Denizi depremi fayının şematik gösterimi

Girdi parametreleri olarak, yörünge ve geometrik yayılma modeline, anelastik azalım (kalite faktörü-Q) ve mesafe-bağımlı zaman modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada kullanılan yol ve geometrik yayılım modeli, Akıncı, Ansal ve diğ. (2009)'nin Marmara bölgesi için önerdiği modeldir (Eşitlik 3.1). Frekans-bağımlı kalite faktörü için Akıncı ve Ansal (2009)'ın Marmara bölgesi için önerdiği model kullanılmıştır (Şekil 3.11), (Eşitlik 3.2).



Şekil 3.9: Kaynaktan sahaya olan uzaklık çeşitleri.



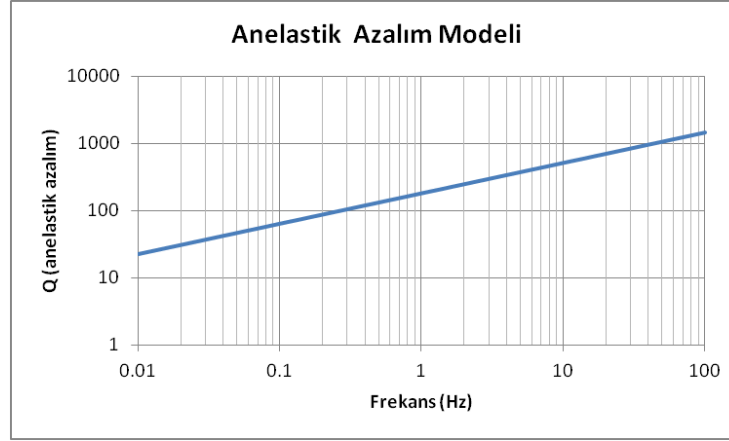
Şekil 3.10: Fay düzleminin boyutları- $R_l \times R_w$, birim altfay boyutları- $rw \times rl$.

Geometrik yayılım modeli:

$$\begin{aligned}
 R^{-1} & \quad R \leq 30 \text{ km} \\
 R^{-0.4} & \quad 30 < R \leq 60 \text{ km} \\
 R^{-0.6} & \quad 60 < R \leq 90 \text{ km} \\
 R^{-0.8} & \quad 90 < R \leq 100 \text{ km} \\
 R^{-0.5} & \quad R > 100 \text{ km}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Anelastik azalım modeli:

$$Q(f) = 180f^{0.45} \tag{3.2}$$

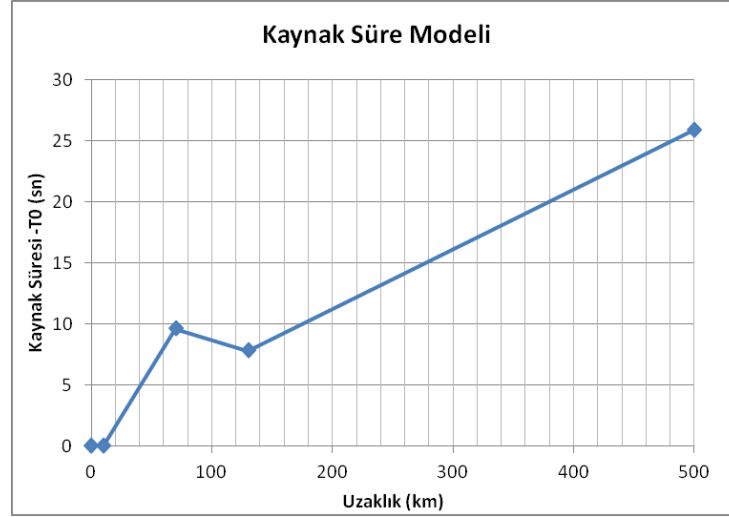


Şekil 3.11: Ansal ve Akıncı (2009) tarafından Marmara Bölgesi için önerilen anelastik azalım modeli.

Süre modeli için ise, Herrmann (1985) tarafından önerilen uzaklık bağımlı süre modelinden yararlanılmıştır;

$$T = T_0 + 0.05R \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te, T_0 kaynak süresini (köşe frekansının tersine eşittir $-1/f_0$), $0.05R$ yayılmayı açıklayan mesafe bağımlı bir terimi, R ise hiposentral mesafeyi temsil etmektedir. Simülasyonda Atkinson ve Boore (1995)'un geliştirdiği süre fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 3.12). Mesafe-bağımlı süre teriminin ampirik temelini, azalım fonksiyonunu belirlemek için kullanılan 1500 ECTN sismograf koleksiyonu oluşturmaktadır. Atkinson (1993b) her kayıt için, pik yer hızı (PGV) ve Fourier hız spektrumu arasındaki gözlemlenen ilişkiye uyan süreyi hesaplamıştır. Eşitlikteki mesafeye bağlı süre üzerinde baskın bir elemandır. Mesafeye bağlı süre trilineer olarak modellenmiştir. Modelde, $10 \leq R \leq 70$ km mesafelerinde b eğimi 0.16, $70 \leq R \leq 130$ km arasında b eğimi -0.03, $130 \leq R \leq 1000$ km arasında ise b eğimi 0.05 olarak belirlenmiştir. Mw 5.0 büyüklüğündeki Tekirdağ açıklarında meydana gelen Marmara Denizi depreminde episentir ile gözlem istasyonları arasındaki mesafe 100-135 km arasında değişmektedir. Süre modeli bu bakımdan önemlidir.



Şekil 3.12: Simülasyonda kullanılan kaynak-süre modeli, (Atkinson ve Boore (1995)).

Stokastik yer hareketi simülasyonlarında zemin tepki modelleri büyük önem taşımaktadır. Yerel zemin etkileri büyütme faktörlerinin çarpımı ve yüksek frekanslardaki spektral bozulmayı temsil eden eksponansiyel bir fonksiyon olarak modellenmektedir. Marmara Denizi depremi simülasyonu için koordinatları verilen gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi istasyon noktalarına ait zemin sınıflarını temsil eden büyütme faktörleri kullanılmıştır. Tablo 3.5'te KRDAE-gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait ilk 30 m'yi tanımlayan UBC (1997)'ye göre ayırtlanmış zemin sınıfları verilmektedir.

Tablo 3.5: KRDAE-gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi istasyonları ve istasyonların fay düzleminin yüzey projeksiyonuna olan en kısa mesafesi-Rjb

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	E-W pga (g)	N-S pga (g)	Örnekleme Sayısı	Zemin Sınıfı (UBC-1997)	Rjb Mesafesi (km)
R57	AKKIO	41.006850	28.957000	0.00012	0.0029	5242	D	104.81
R43	FATZA	41.021083	28.939383	0.0037	0.0047	5520	D	103.53
R15	KRTTP	40.983983	28.877717	0.00303	0.0031	5618	D	97.89
R95	KSSIO	40.989850	29.074100	0.003944	0.0028	6093	C	114.42
R12	TUZAL	40.822700	29.324200	0.003954	0.003634	5479	D	135.25
R90	ZAVKO	40.994667	28.917883	0.0051	0.00549	6519	D	101.37
R02	ZYTAL	40.997300	28.906383	0.0033	0.0037	6002	D	100.44

Kappa değeri önceki çalışmalarda Kuzeybatı Türkiye'de yumuşak zeminler için önerilen 0.047-0.054 arasında yer alan değerlerle uyumlu olacak şekilde 0.05 olarak seçilmiştir (Anderson et al., 2001; Durukal, 2002; Akinci et al., 2006; Ansal et al., 2009).

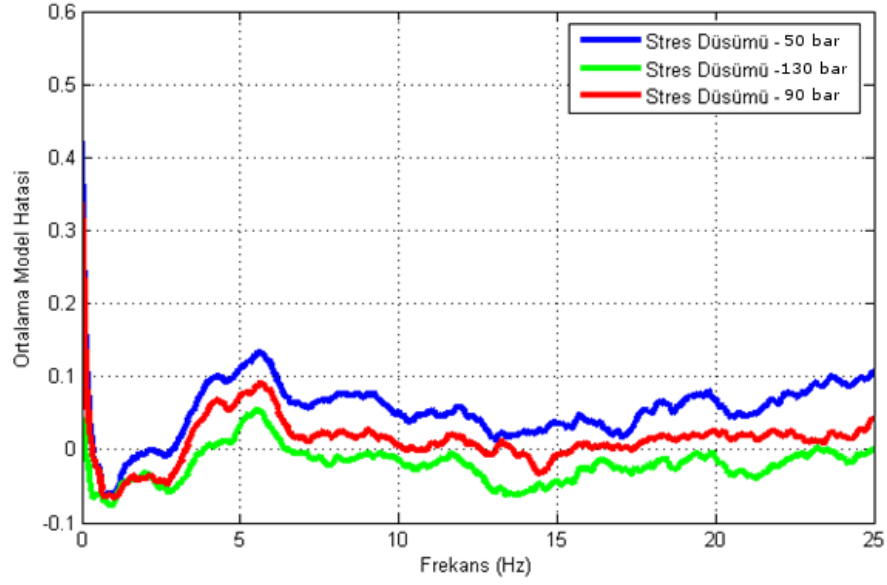
Stres düşümü kırılma olayının öncesi ve sonrasındaki durum arasındaki farkı yansıttığı için önemli bir parametredir. Kaynak mekanizmasını belirlemede gerekli bir parameter olmasına karşın, kolaylıkla belirlenebilen bir parameter değildir. Parametrenin tahminindeki belirsizlikten ötürü, bu çalışmada 2011 Marmara Denizi depreminin stres düşümünü belirlemek için hata azaltan bir yöntem kullanılmıştır. Simüle edilmiş ve gözlemlenmiş Fourier ivme spektrumu arasındaki farkı temsil eden bir uyumsuzluk fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon Castro ve diğ., 2008 tarafından tanımlanmıştır;

$$E(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log \left(\frac{A_i(f)_{\text{gözlemlenmiş}}}{A_i(f)_{\text{sentetik}}} \right) \quad (3.4)$$

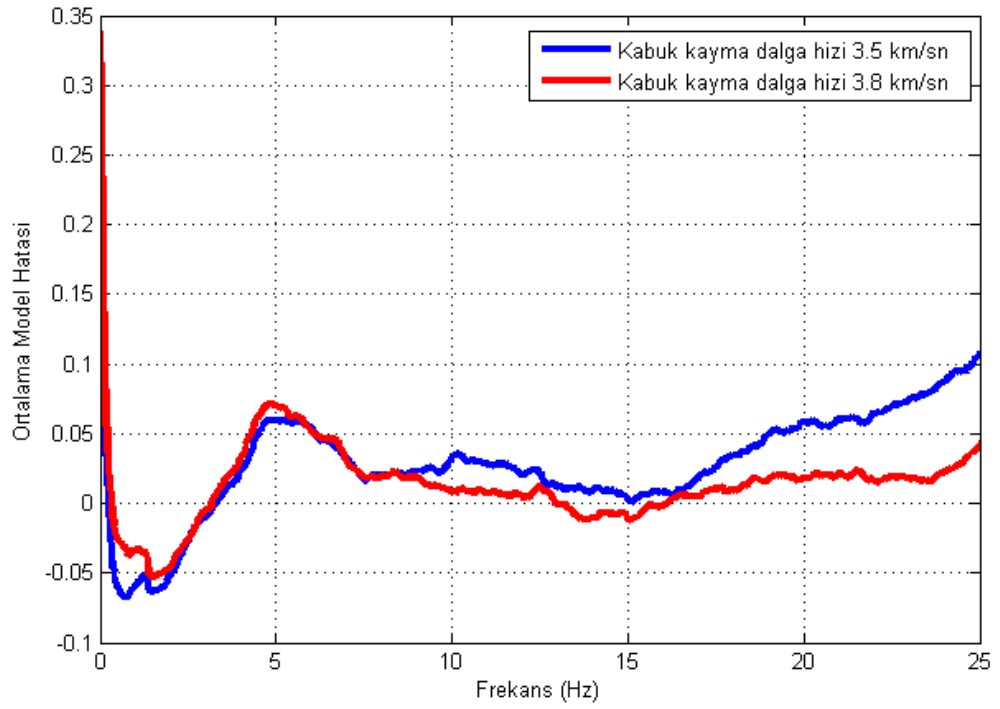
Eşitlikte verilen n = simülasyonlarda kullanılan istasyon sayısını, $A_i(f)_{\text{gözlemlenmiş}}$ = i no.lu istasyonun gerçek ivme spektrumunu ve $A_i(f)_{\text{sentetik}}$ = i no.lu istasyonun yapay ivme spektrumunu temsil etmektedir. Gerçek ve simüle edilmiş kayıtlar arasındaki hata oranı sıfıra ne kadar yakınsa o kadar uyumlu bir parametre değeri seçtiğimizi söyleyebiliriz.

Bu uyumsuzluk fonksiyonu modeli 7 farklı kuvvetli yer hareketi istasyonu kayıtları ve simüle edilmiş kayıtlar kullanılarak 0.25-25 Hz. frekans aralığında minimize edilmiştir. Sonuçta 2011 Marmara Denizi depremi için stress düşümü parametresi 90 bar olarak belirlenmiştir. Şekil 3.13'te düşük (0-10 Hz) ve yüksek frekans (10-20 Hz) aralıklarında 90 barlık stres düşümünün en az hata oranını verdiği görülmektedir.

Aynı uyumsuzluk modeli yer kabuğu dalga hızını belirlemek için de uygulanmıştır. Buna göre 3.5 km/sn ve 3.8 km/sn kabul dalga hızı parametreleriyle yapılan analizde 3.8 km/sn değerinin az hata oranı verdiği görülmüştür (Şekil 3.14).



Şekil 3.13: Castro ve diğ, 2008 tarafından önerilen uyumsuzluk modeline göre farklı stres düşümü değerlerine göre yapılan simülasyonlar ile istasyon kayıtları arasındaki hata oranı.



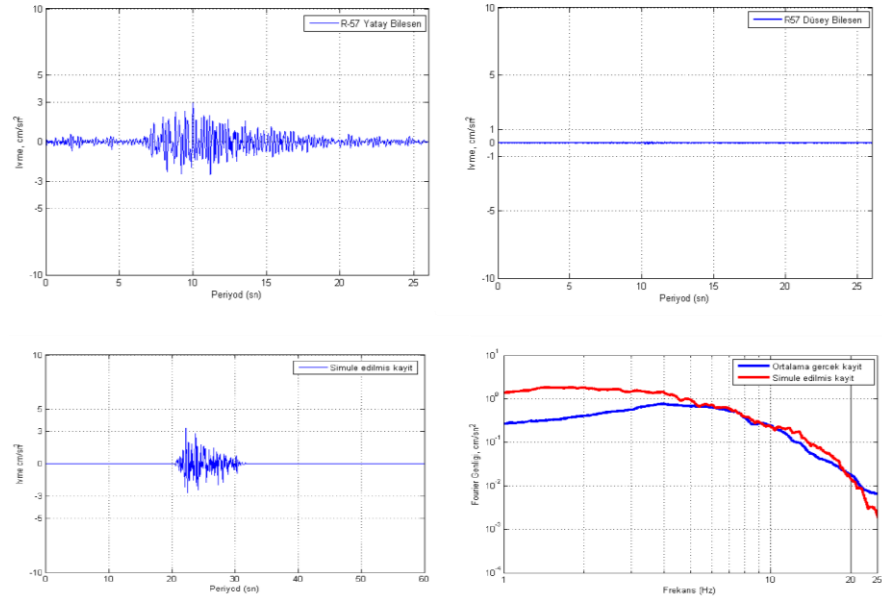
Şekil 3.14: Castro ve diğ, 2008 tarafından önerilen uyumsuzluk modeline göre farklı yer kabuğu dalga hızı değerlerine göre yapılan simülasyonlar ile istasyon kayıtları arasındaki hata oranı.

25.07.2011 Marmara denizi deprem simülasyonunda kullanılan parametreler Tablo 3.6'da verilmiştir.

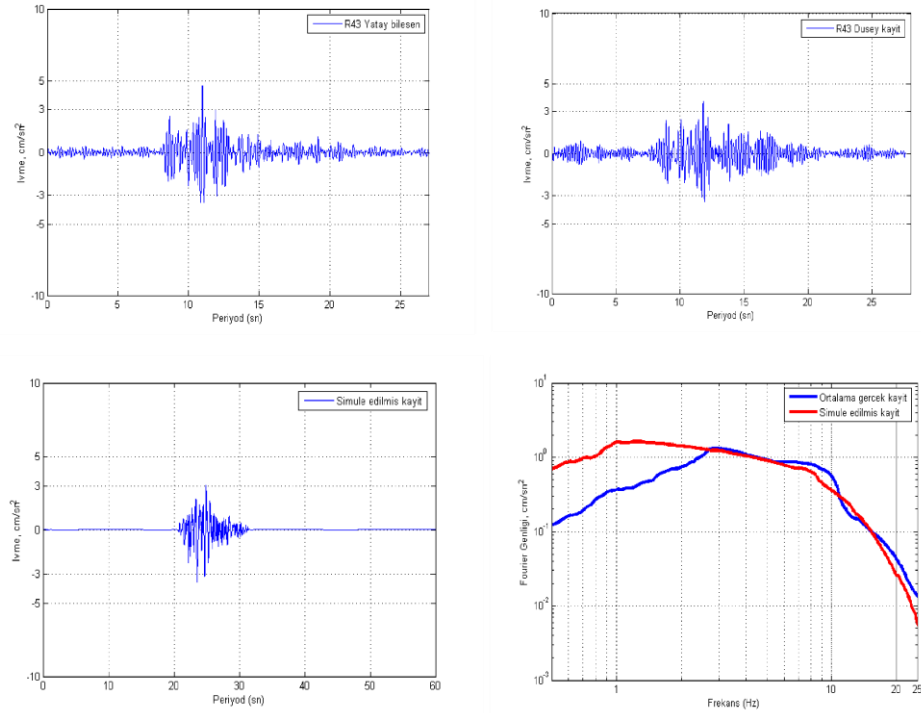
Tablo 3.6: Mw5.0 Marmara Denizi depremi simülasyonunda kullanılan parametreler

Parametre Adı	Değeri
Fay oryantasyonu	Doğrultu açısı: 66.07° Eğim açısı=50.04°
Fay boyutları	3.4 x 3.9 km
M_w	5.0
Odak derinliği	13.0 km
Alt-fay boyutları	0.85 x 0.975 km
Stres Düşümü	90 bar
S-dalga hızı	3.8 km/sn
Kabuk yoğunluğu	2.8 g/cm ³
Elastik olmayan sönüm katsayısı	180f ^{0.45}
Kappa faktörü	0.050
Geometrik Yayılm Modeli	R^{-1} $R \leq 30$ km $R^{-0.4}$ $30 < R \leq 60$ km $R^{-0.6}$ $60 < R \leq 90$ km $R^{-0.8}$ $90 < R \leq 100$ km $R^{-0.5}$ $R > 100$ km
Pencere fonksiyonu	Saragoni-Hart
Zemin büyütmesi	NEHRP-D zemin sınıfı
Kabuk büyütmesi	-
Uzaklık bağımlı süre modeli	$T=T_0 + 0.05R$

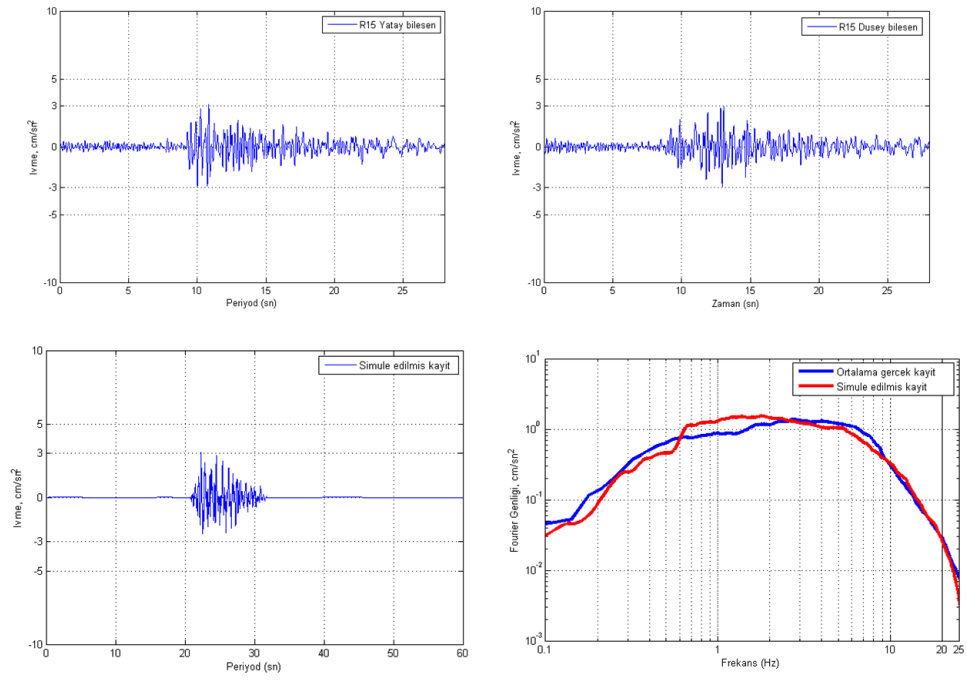
25.07.2011 Marmara denizi depremine ait gerçek istasyon kayıtları ve simülatif kayıtlar aşağıda verilmiştir.



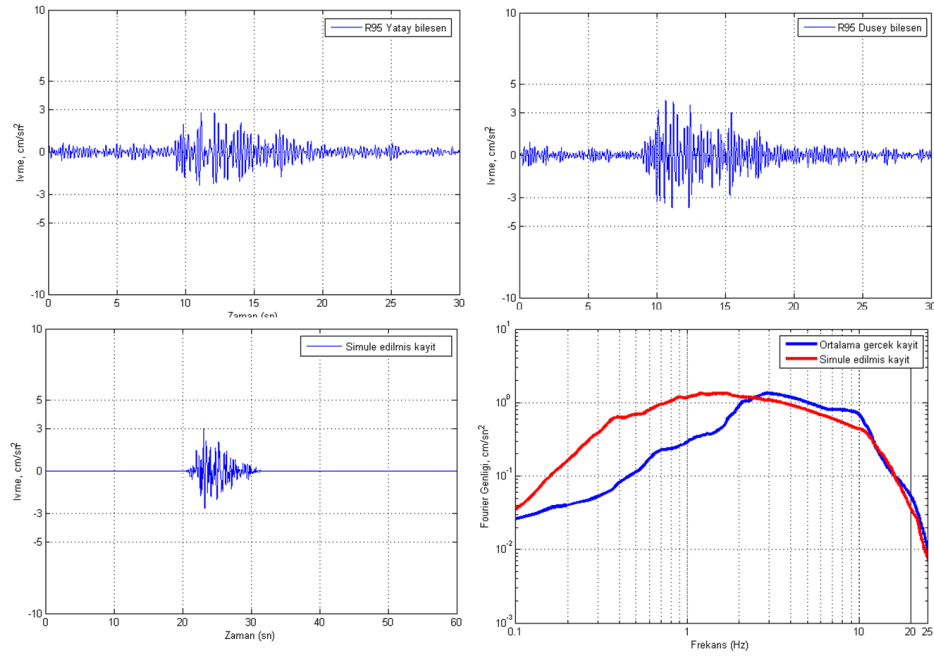
Şekil 3.15: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R57 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



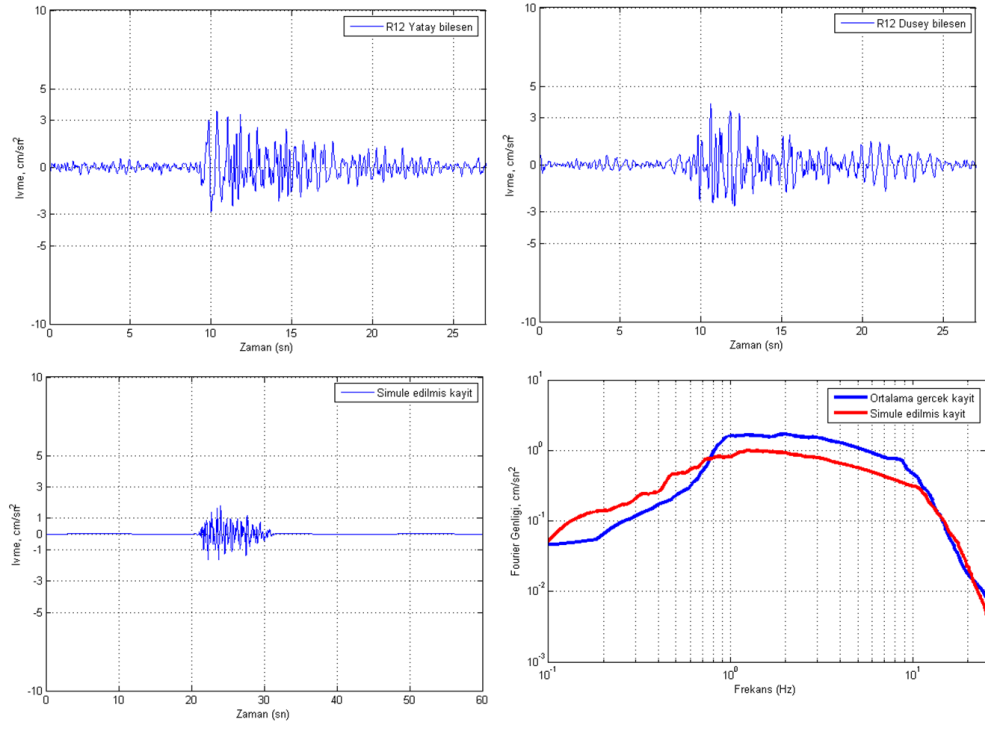
Şekil 3.16: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R43 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



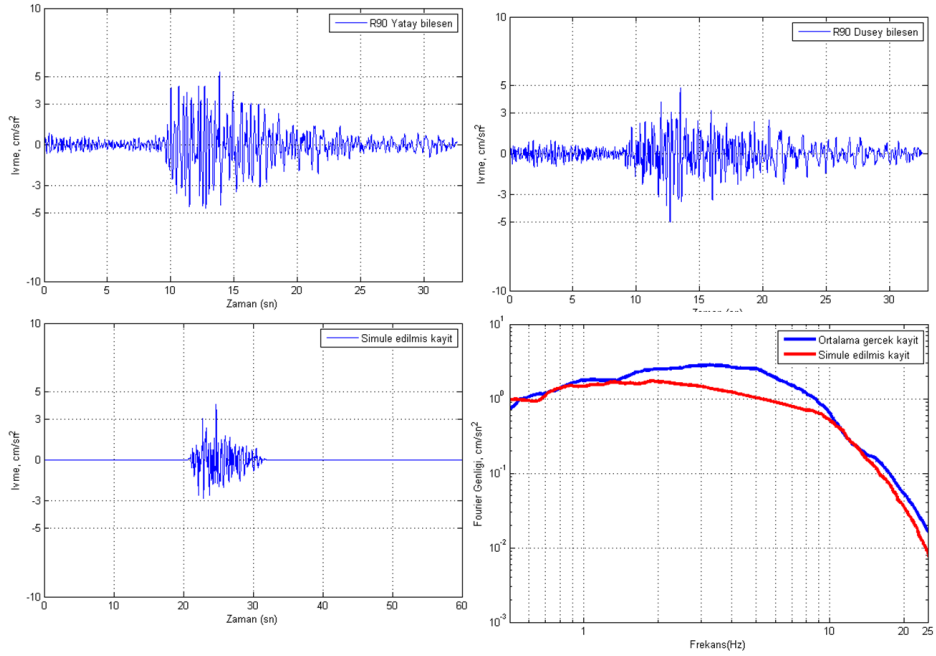
Şekil 3.17: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R15 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



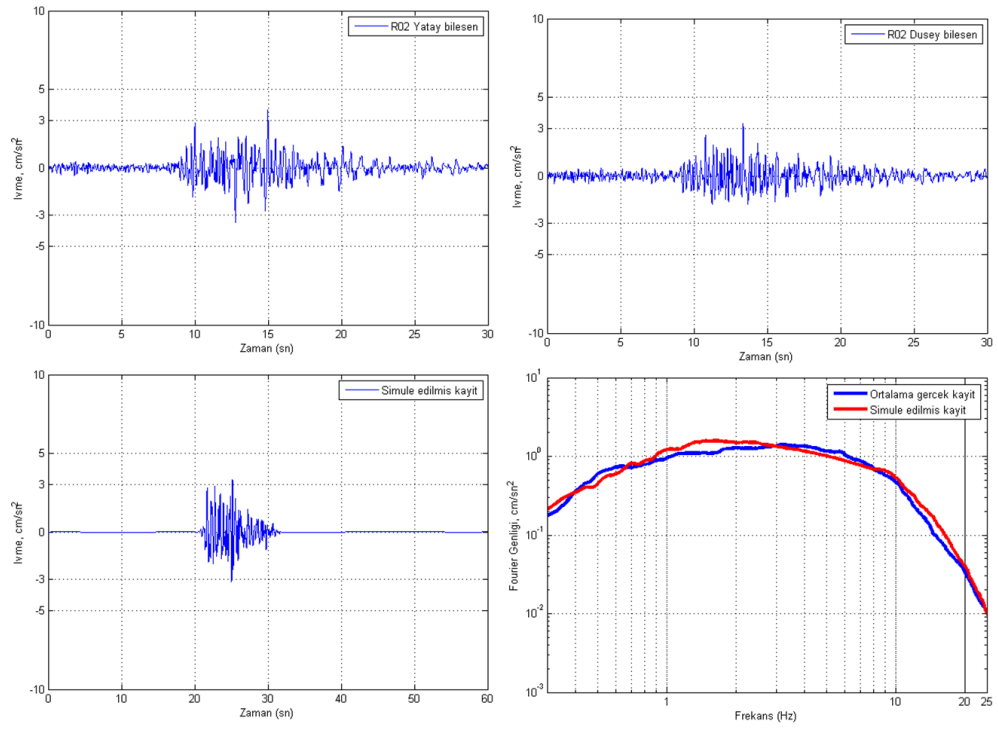
Şekil 3.18: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R95 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.19: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R12 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simüle edilmiş ivme kaydı ve simüle edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.20: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R90 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simüle edilmiş ivme kaydı ve simüle edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.21: Mw5.0 Marmara denizi depremini kayıt eden R02 istasyonuna ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları, simule edilmiş ivme kaydı ve simule edilmiş ivme kaydının fourier genlik spektrumu ile gerçek ivme kaydının her iki bileşeninin ortalamasına ait fourier genlik spektrumu.

3.4.2. D1 Tehlike Seviyeli Mw6.8 Manyitüdlü Simülasyon

D1 tehlike seviyesine göre Marmara Denizi'nde gerçekleşebilecek deprem büyüklüğü Mw6.8 olarak belirlenmiştir. Senaryo depreme ait diğer parametreler Tablo 3.7'de verilmektedir. D1 ve D2 tehlike seviyeli senaryo depremler ana kayada analiz edildiğinden ötürü zemin sınıfına bağlı olarak değişen kappa azalım faktörü ana kaya için uygun görülen (Boore ve Atkinson, 2006) 0.005 olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.7: Mw6.8 büyüklüğündeki senaryo depreme ait parametreler

Parametre Adı	Değeri
Fay oryantasyonu	Doğrultu açısı: 83.89° Eğim açısı=90.00°
Fay boyutları	44 x 12 km
M_w	6.8
Fayın derinliği	3.0/6.0/9.0 km
Alt-fay boyutları	4.0 x 3.0 km
Stres Düşümü	100 bar
S-dalga hızı	3.8 km/sn
Kabuk yoğunluğu	2.8 g/cm ³
Elastik olmayan sönüm katsayısı	180f ^{0.45}

Kappa faktörü	0.005
Geometrik Yayılım Modeli	R^{-1} $R \leq 30$ km
	$R^{-0.4}$ $30 < R \leq 60$ km
	$R^{-0.6}$ $60 < R \leq 90$ km
	$R^{-0.8}$ $90 < R \leq 100$ km
	$R^{-0.5}$ $R > 100$ km
Pencere fonksiyonu	Saragoni-Hart
Zemin büyütmesi	-
Kabuk büyütmesi	-
Uzaklık bağımlı süre modeli	$T=T_0 + 0.05R$

Doğrultu atımlı karakter taşıması düşünülen fay segmentinin uzunluğu Coppersmith ve Wells eşitliği kullanılarak 44 km, genişliği ise 12 km olarak hesaplanmıştır. Simülasyonlarda, aynı fay boyutları kullanılarak, fakat hiposentir ve odak derinliği parametreleri değiştirilerek 8 farklı senaryo üretilmiştir (Tablo 3.8). Fay kırılmasının unilateral veya bilateral olarak kırılabilceği gözönüne alınarak muhtemel olan bu etki de hesaba katılmıştır. Unilateral kırılmada, fay kırığı tek yönlü kırılarak ilerlerken, bilateral kırılmada kırık hiposentirden zıt yönlerde doğru ilerler (Şekil 3.22).



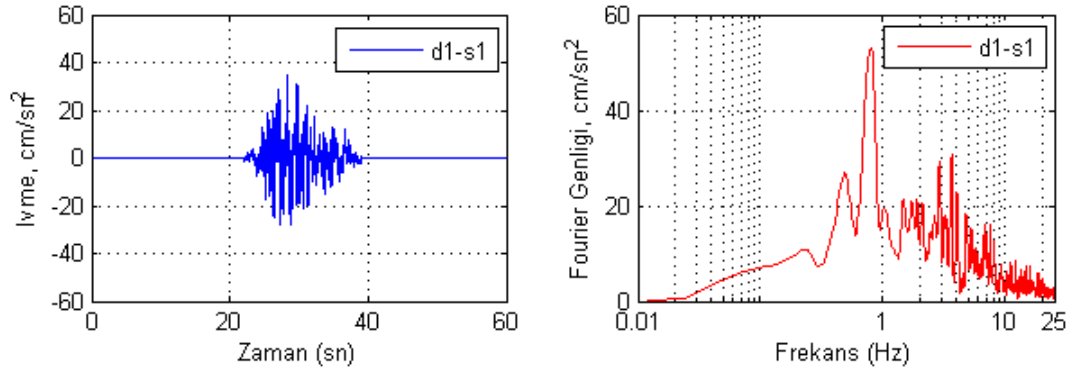
Şekil 3.22: Mw6.8 büyüklüğündeki senaryo deprem, fay ve fay kırılma çeşitleri.

Verilen parametrelere göre 8 farklı senaryo için Tekirdağ ili gözlem noktası olmak üzere ana kayada hesaplanan ivme kayıtları Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmektedir.

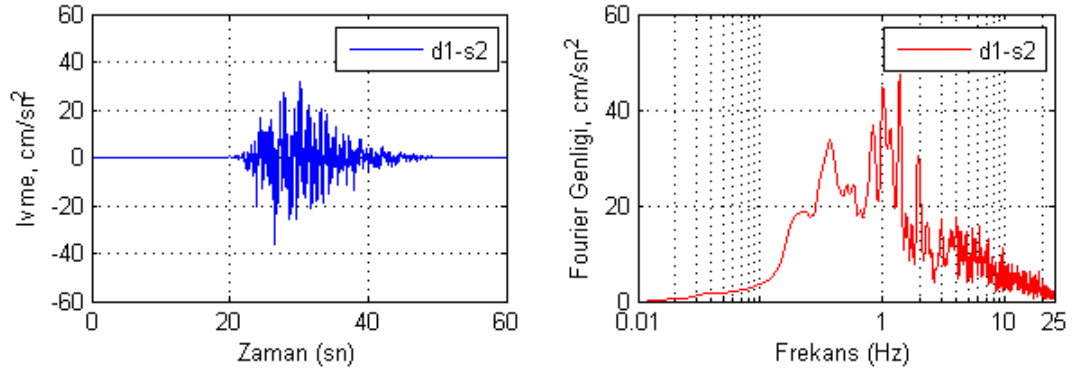
Tablo 3.8: Mw6.8 büyüklüğünde üretilen senaryo depremler

Senaryo	Kayıt No	Mw	Doğrultu/ Eğim (°)	Fay Genişliği (km)	Fay Uzunluğu (km)	Fayın üst köşesinin derinliği- km	Hiposentir (dlxdw) km
Senaryo-1	d1-s1	6.8	N83.89/90	12	44	6	0x6
Senaryo-2	d1-s2	6.8	N83.89/90	12	44	6	20x6
Senaryo-3	d1-s3	6.8	N83.89/90	12	44	6	44x6
Senaryo-4	d1-s4	6.8	N83.89/90	12	44	3	0x3
Senaryo-5	d1-s5	6.8	N83.89/90	12	44	3	20x3
Senaryo-6	d1-s6	6.8	N83.89/90	12	44	9	20x9
Senaryo-7	d1-s7	6.8	N83.89/90	12	44	9	44x9
Senaryo-8	d1-s8	6.8	N83.89/90	12	44	3	44x3

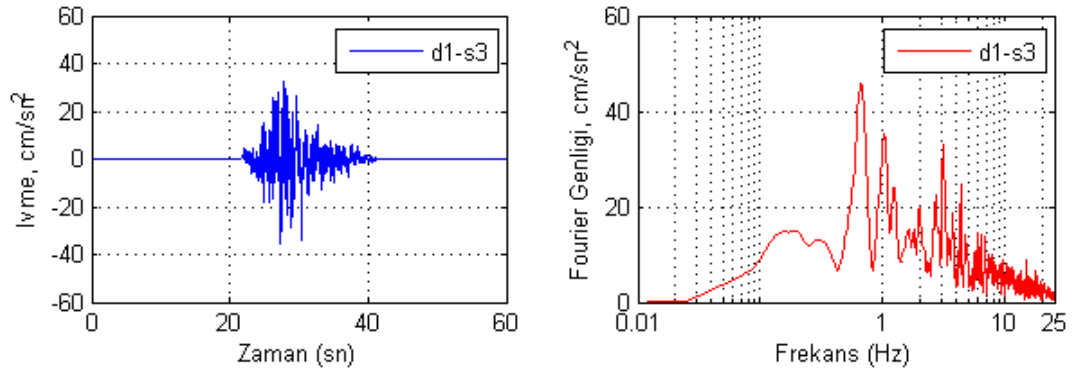
Her bir ivme kaydı 0.01 ile 25 Hz arasında bandpass filtreleme ile filtrelenmiş ve fourier genlik spektrumları yumuşatılmıştır.



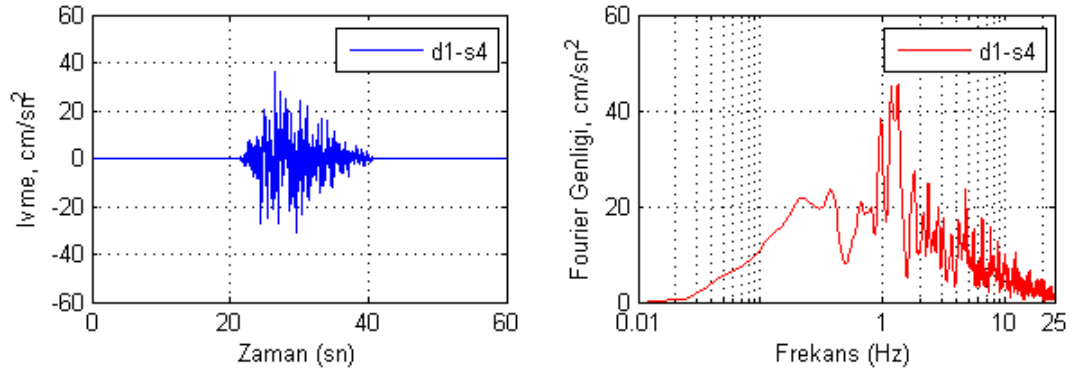
Şekil 3.23: Mw6.8 d1-s1 kayıt numaralı Senaryo-1'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



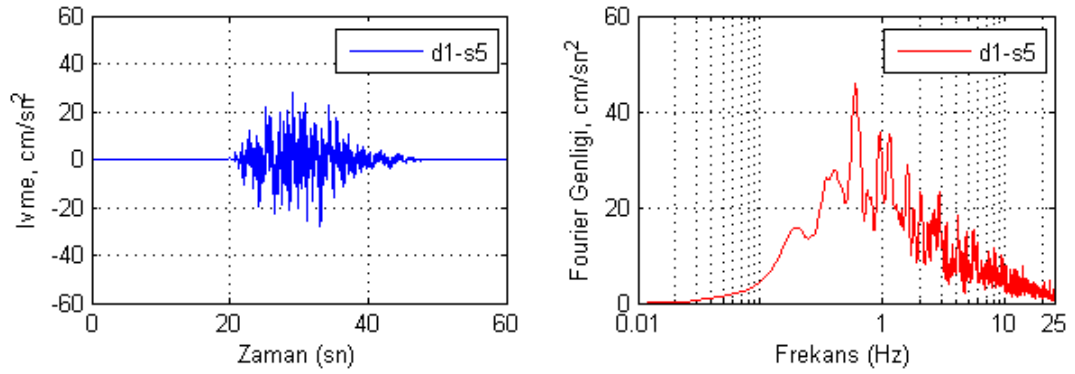
Şekil 3.24: Mw6.8 d1-s2 kayıt numaralı Senaryo-2'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



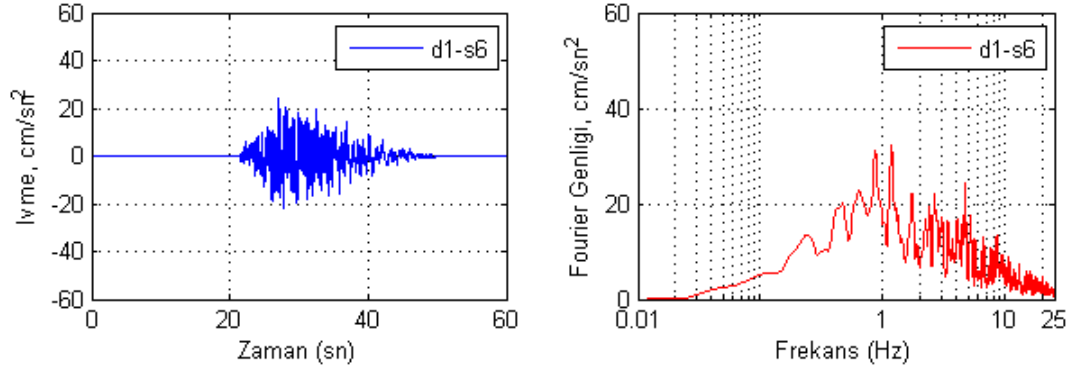
Şekil 3.25: Mw6.8 d1-s3 kayıt numaralı Senaryo-3'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



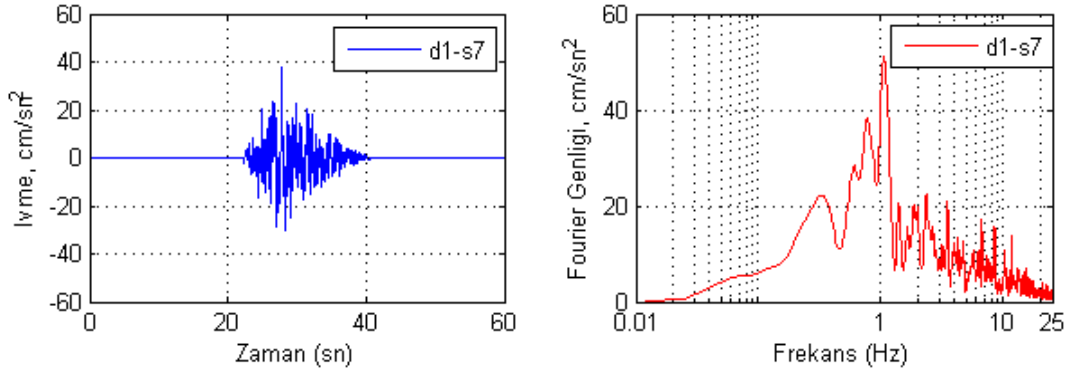
Şekil 3.26: Mw6.8 d1-s4 kayıt numaralı Senaryo-4'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



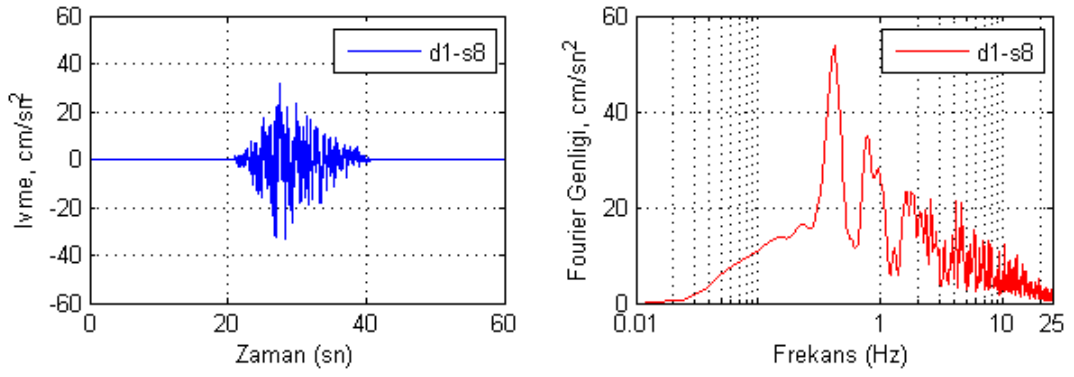
Şekil 3.27: Mw6.8 d1-s5 kayıt numaralı Senaryo-5'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.28: Mw6.8 d1-s6 kayıt numaralı Senaryo-6'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.29: Mw6.8 d1-s7 kayıt numaralı Senaryo-7'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



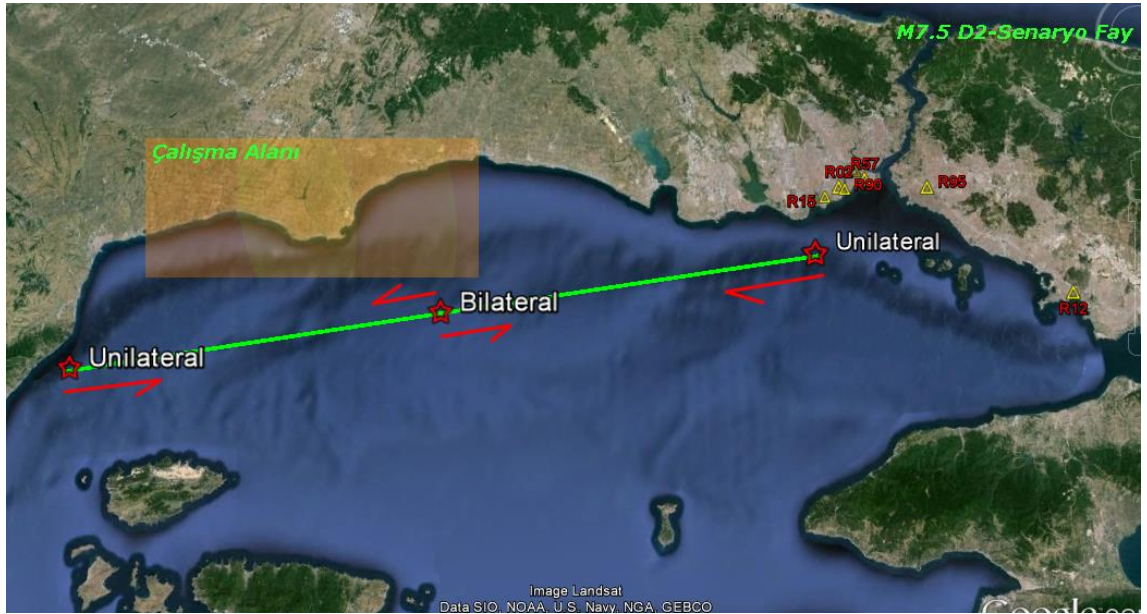
Şekil 3.30: Mw6.8 d1-s8 kayıt numaralı Senaryo-8'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.

3.4.3. D2 Tehlike Seviyeli Mw7.5 Manyitüdlü Simülasyon

D2 tehlike seviyesine göre Mw7.5 olarak belirlenen deprem kaynak parametreleri Tablo 3.9'da verilmektedir. Doğrultu atımlı karakter taşıması düşünülen fay segmentinin uzunluğu Coppersmith ve Wells eşitliği kullanılarak 120 km, genişliği ise 18 km olarak hesaplanmıştır. Simülasyonlarda, aynı fay boyutları kullanılarak, fakat hiposentir ve odak derinliği parametreleri değiştirilerek 8 farklı senaryo üretilmiştir (Tablo 3.10). Fay kırılmasının unilateral veya bilateral olarak kırılabilceği gözönüne alınarak muhtemel olan bu etki de hesaba katılmıştır. Unilateral kırılmada, fay kırığı tek yönlü kırılarak ilerlerken, bilateral kırılmada kırık hiposentirden zıt yönlerde doğru ilerler (Şekil 3.31).

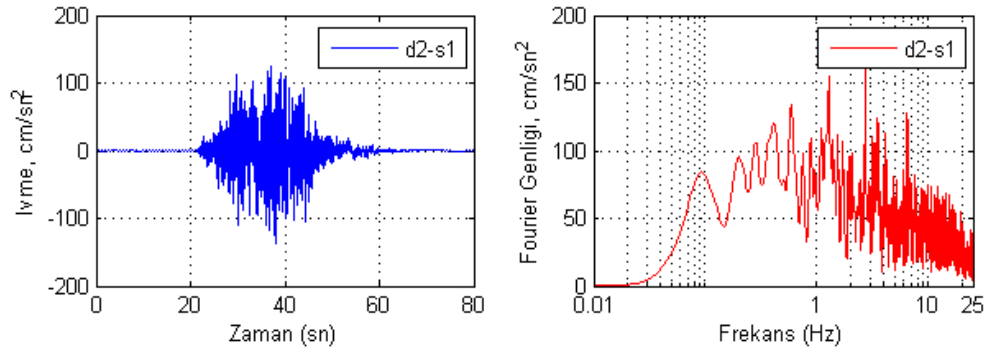
Tablo 3.9: Mw7.5 büyüklüğündeki senaryo depreme ait parametreler

Parametre Adı	Değeri
Fay oryantasyonu	Doğrultu açısı: 83.89° Eğim açısı=90.00°
Fay boyutları	120 x 18 km
M_w	7.5
Fayın derinliği	3.0/6.0/9.0 km
Alt-fay boyutları	10.0 x 3.0 km
Stres Düşümü	120 bar
S-dalga hızı	3.8 km/sn
Kabuk yoğunluğu	2.8 g/cm ³
Elastik olmayan sönüm katsayısı	180f ^{0.45}
Kappa faktörü	0.005
Geometrik Yayılım Modeli	R^{-1} $R \leq 30$ km $R^{-0.4}$ $30 < R \leq 60$ km $R^{-0.6}$ $60 < R \leq 90$ km $R^{-0.8}$ $90 < R \leq 100$ km $R^{-0.5}$ $R > 100$ km
Pencere fonksiyonu	Saragoni-Hart
Zemin büyütmesi	-
Kabuk büyütmesi	-
Uzaklık bağımlı süre modeli	$T=T_0 + 0.05R$

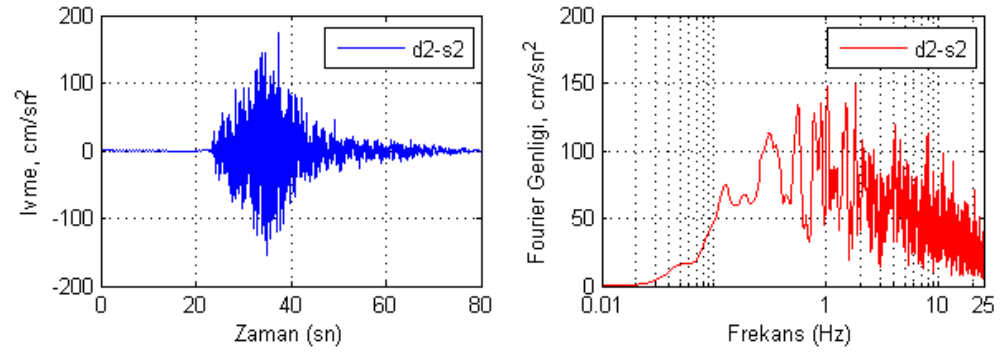
**Şekil 3.31:** Mw7.5 büyüklüğündeki senaryo depreme ait fay ve kırılma çeşitleri

Tablo 3.10: Mw7.5 büyüklüğünde üretilen senaryo depremler ve değişen parametreler

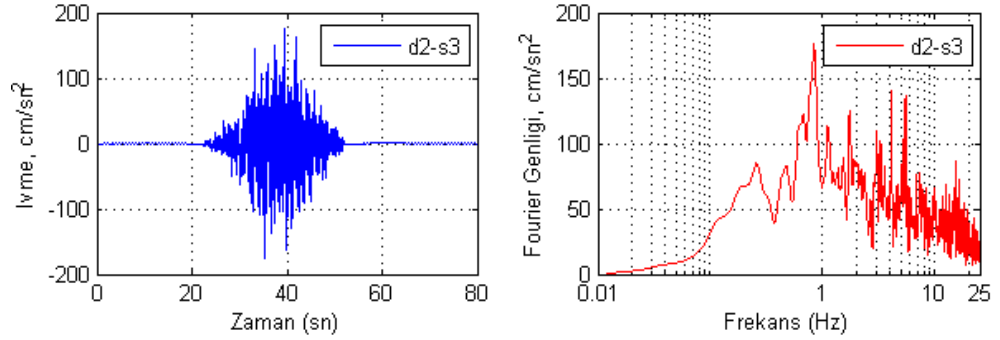
Senaryo	Kayıt No	Mw	Doğrultu/Eğim (°)	Fay Genişliği (km)	Fay Uzunluğu (km)	Fayın üst köşesinin derinliği- km	Hiposentir (dlxdw) km
Senaryo-1	d2-s1	7.5	N83.89/90	18	120	6	0x9
Senaryo-2	d2-s2	7.5	N83.89/90	18	120	6	60x9
Senaryo-3	d2-s3	7.5	N83.89/90	18	120	6	120x9
Senaryo-4	d2-s4	7.5	N83.89/90	18	120	3	0x9
Senaryo-5	d2-s5	7.5	N83.89/90	18	120	3	60x6
Senaryo-6	d2-s6	7.5	N83.89/90	18	120	9	60x3
Senaryo-7	d2-s7	7.5	N83.89/90	18	120	9	120x3
Senaryo-8	d2-s8	7.5	N83.89/90	18	120	3	120x6



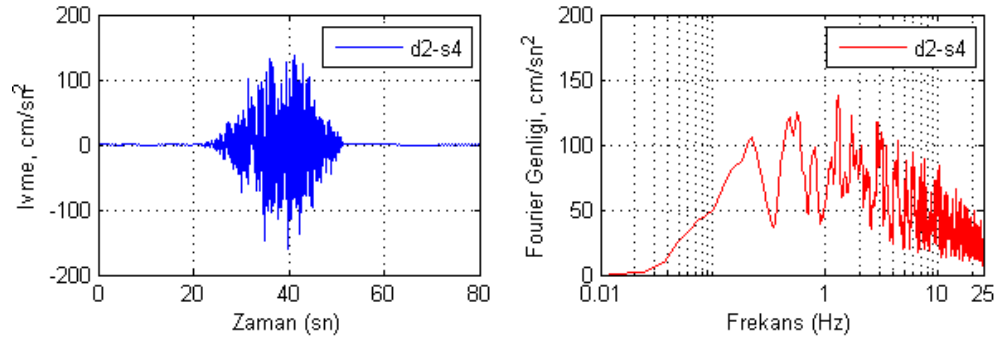
Şekil 3.32: Mw7.5 d2-s1 kayıt numaralı Senaryo-1'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



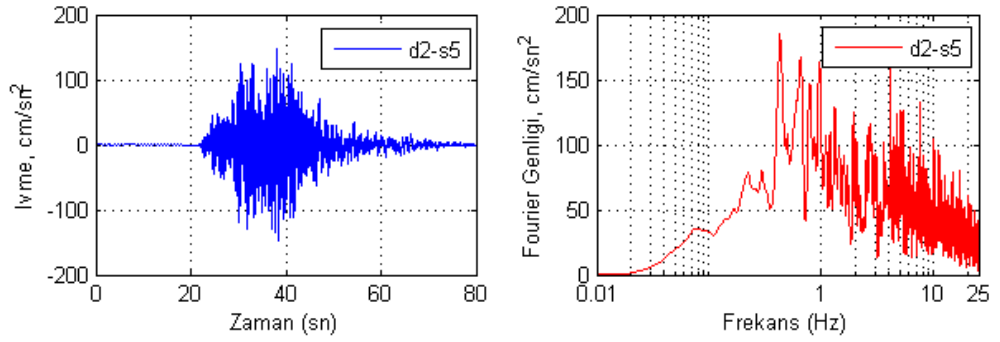
Şekil 3.33: Mw7.5 d2-s2 kayıt numaralı Senaryo-2'ye ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



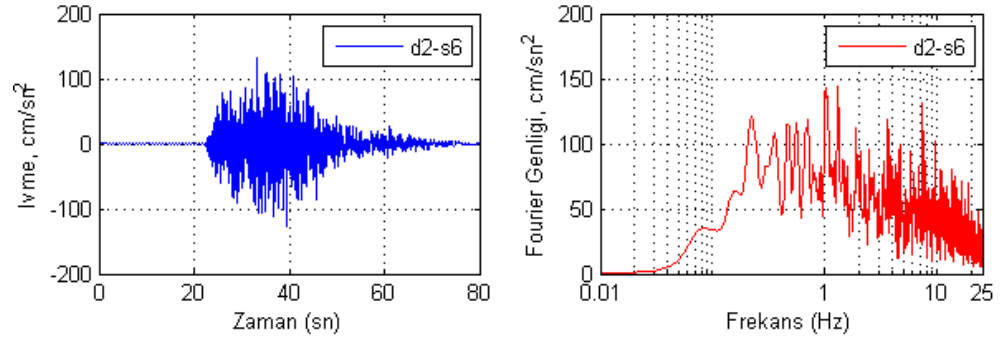
Şekil 3.34: Mw7.5 d2-s3 kayıt numaralı Senaryo-3'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



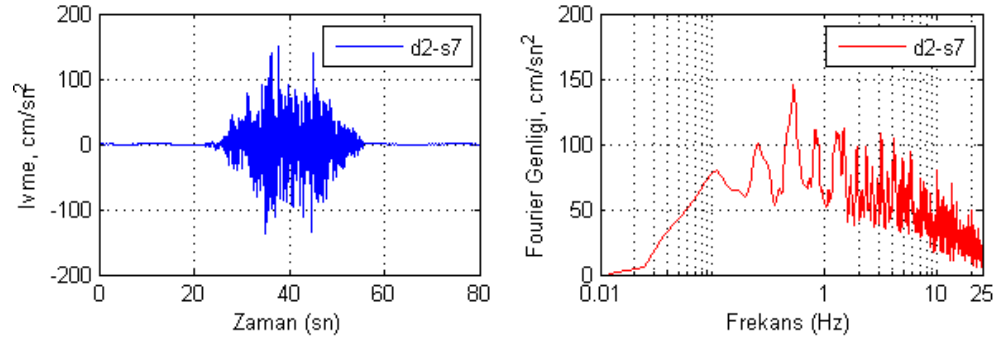
Şekil 3.35: Mw7.5 d2-s4 kayıt numaralı Senaryo-4'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



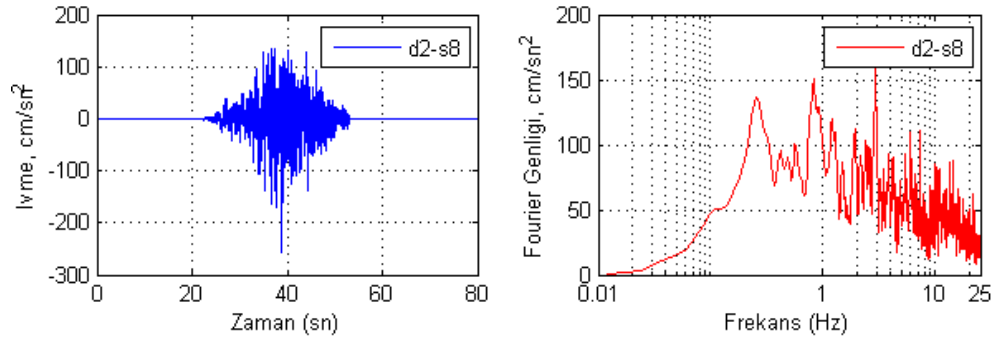
Şekil 3.36: Mw7.5 d2-s5 kayıt numaralı Senaryo-5'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.37: Mw7.5 d2-s6 kayıt numaralı Senaryo-6'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.38: Mw7.5 d2-s7 kayıt numaralı Senaryo-7'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.



Şekil 3.39: Mw7.5 d2-s8 kayıt numaralı Senaryo-8'e ait simule edilmiş ivme kaydı ve fourier genlik spektrumu.

3.5. GERÇEK VE SİMÜLATİF YER HAREKETİ İVME KAYITLARININ TEPKİ SPEKTRUMUNA ÖLÇEKLENMESİ

Yer hareketi frekans tanım alanında, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilabilmektedir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmediği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkündür. Fakat, bu kayıtlar yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılırken yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

Bu amaçla, Tekirdağ bölgesi için yapılan deprem tehlike analiz çalışmalarından (KOERI, 2012) yararlanılarak IBC (2006) ve NEHRP (2003) Kodlarında tanımlanan tepki spektrumlarına göre, PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanından seçilen ivme kayıtları ölçeklenmiş ve spektrum uyumlu bu kayıtlar geoteknik tasarımların dinamik analizinde kullanılmıştır. Aynı şekilde, stokastik yöntemle Tekirdağ bölgesi için elde edilen simülatif yer ivme kayıtları da tepki spektrumuna ölçeklenerek dinamik analizde kullanılmış ve farklı yöntemlerle elde edilen yer hareketi kayıtlarının tasarıma etkisi tartışılmıştır. Ölçekleme yapılırken kaydın iki bileşeninde tepki spektrumuna en iyi uyum sağlayan diğer bir deyişle puanı en yüksek olan bileşen alınmıştır. Kayıtlar seçilirken her bir kayda ait tek bir bileşen (N-S veya E-W) seçilmiş olmasına dikkat edilmiştir.

3.5.1. D1 Tehlike Seviyeli Tepki Spektrumuna Ölçeklenmiş Gerçek ve Simülatif Kayıtlar

PEER veri tabanından seçilen gerçek ivme kayıtları ve kuvvetli yer hareketi simülasyon yöntemleri ile elde edilen simulative kayıtlar D1 tehlike seviyeli tepki spektrumuna ölçeklenmiş ve kayıtlara ait özellikler, ölçekleme sırasında kayıt edilen ölçekleme katsayısı ve puanı tablo 3.11’de verilmiştir.

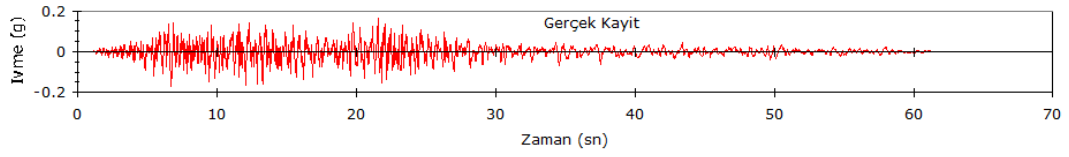
Tablo 3.11: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.

NGA #	Kayıt Adı	Manyitüd (Mw)	PGA (g)	Vs30 (m/s)	RMS	Ölçek. Katsayısı	Puan	Ölçeklenmiş PGA(g)	PGA ölçek. katsayısı
164	D1-r1	6.53	0.1691	659.6	0.683	3.19	42	0.2555	1.5023
879	D1-r2	7.28	0.7871	684.9	0.239	0.68	57	0.2552	0.3227
1148	D1-r3	7.51	0.2183	523	0.361	2.47	43	0.2544	1.1636
1165	D1-r4	7.51	0.2193	811	0.647	2.46	34	0.2512	1.1586
1614	D1-r5	7.14	0.1336	481	0.646	4.04	32	0.2506	1.9017
1618	D1-r6	7.14	0.1595	660	0.545	3.39	38	0.2556	1.5925
1787	D1-r7	7.13	0.3366	685	0.575	1.6	43	0.2527	0.7547
4101	D1-r8	7.4 (M _d)	0.1728	826	0.674	3.09	41	0.2574	1.5016
4106	D1-r9	7.4 (M _d)	0.2702	701	0.312	2.00	44	0.2540	0.9451
265	D1-r10	6.33	0.6210	660	0.079	0.92	55	0.2554	0.4326
1111	D1-r11	6.9	0.5027	609	0.402	1.07	46	0.25580	0.5052
451	D1-r12	6.19	0.7108	597	0.446	0.76	37	0.2610	0.3574
454	D1-r13	6.19	0.1143	730	0.227	4.72	33	0.2579	2.2212
459	D1-r14	6.19	0.2920	663	0.683	1.85	32	0.2486	0.8698
2739	D1-r15	6.2	0.1200	680	0.558	4.50	30	0.2952	2.1186
455	D1-r16	6.19	0.0982	1428	0.348	5.49	30	0.2543	2.5850
145	D1-r17	5.74	0.2791	597	0.348	1.93	26	0.2661	0.9101

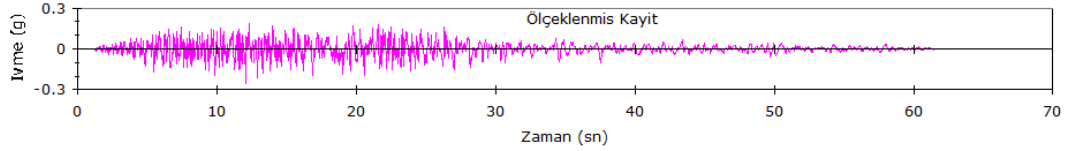
Tablo 3.12: D1 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için üretilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.

Kayıt Adı	Mw	PGA (g)	Vs30 (m/s)	RMS	Ölçek.Katsayısı	Puan	Ölçeklenmiş PGA(g)	PGA ölçekleme katsayısı
d1-s1	6.8	0.0372	760	0.423	14.41	20	0.2544	6.8215
d1-s2	6.8	0.0363	760	0.426	14.86	23	0.2559	7.0038
d1-s3	6.8	0.0378	760	0.402	14.39	20	0.2547	6.7218
d1-s4	6.8	0.0377	760	0.411	14.2	21	0.2554	6.7404
d1-s5	6.8	0.0302	760	0.467	17.86	22	0.2558	8.4122
d1-s6	6.8	0.0253	760	0.519	21.47	20	0.2522	10.0307
d1-s7	6.8	0.0408	760	0.386	13.14	21	0.2476	6.2227
d1-s8	6.8	0.0365	760	0.404	14.91	22	0.2555	6.9629

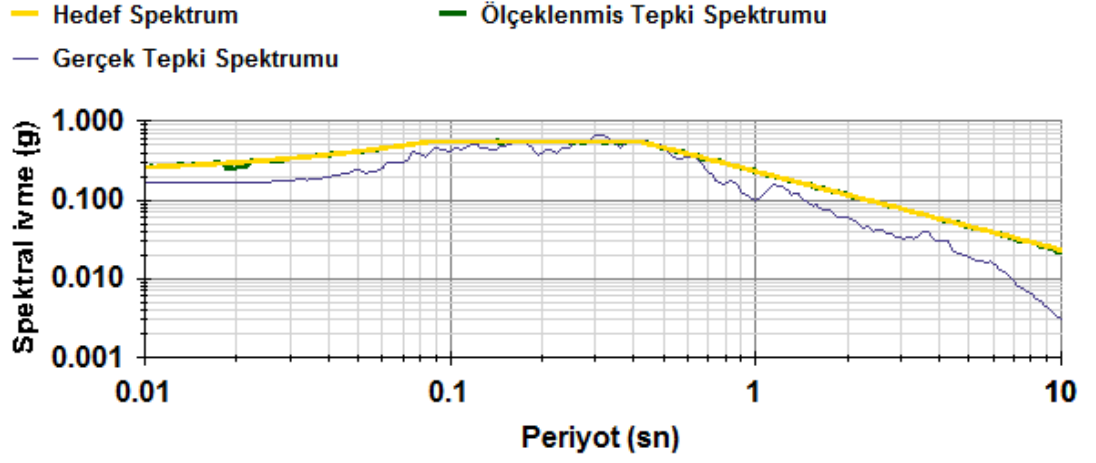
Gerçek ve simülatif yer hareketi ivme kayıtları bu bölümde verilmiştir; gerçek kayıt, ölçeklenmiş kayıt ve hedef spektrumuna ölçeklenmiş tepki spektrumu görülmektedir.



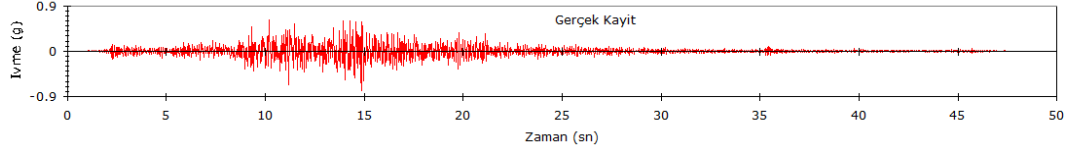
Şekil 3.40: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait gerçek ivme kaydı.



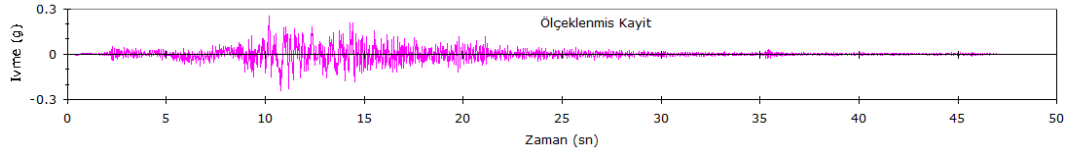
Şekil 3.41: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



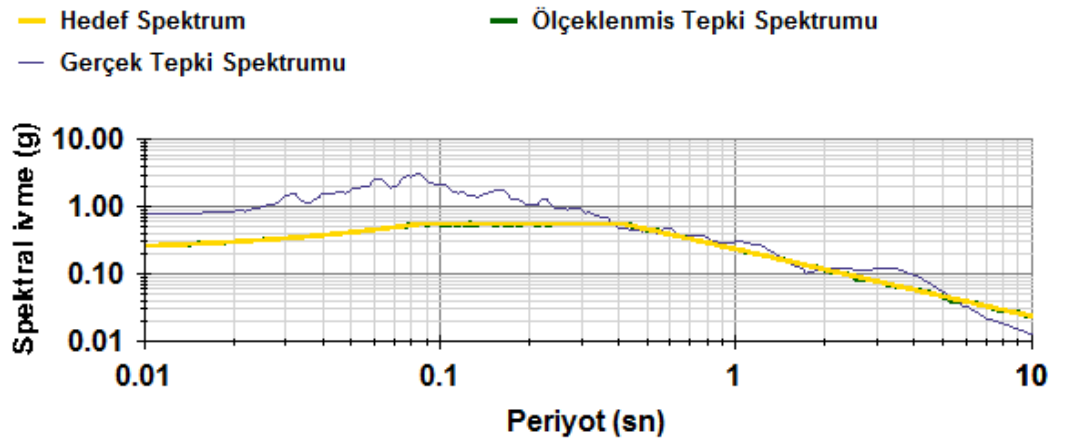
Şekil 3.42: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



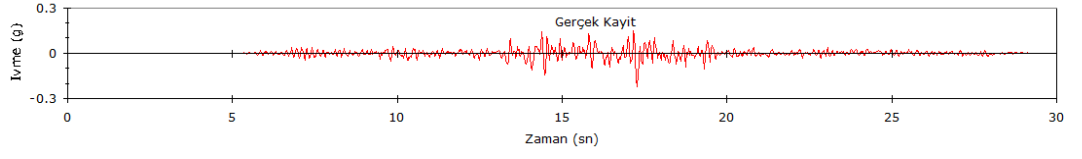
Şekil 3.43: NGA-879 no'lu Landers depremine ait gerçek ivme kaydı.



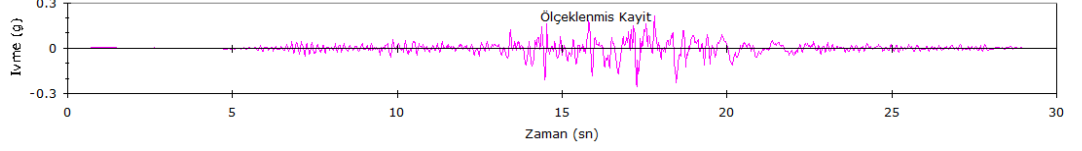
Şekil 3.44: NGA-879 no'lu Landers depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



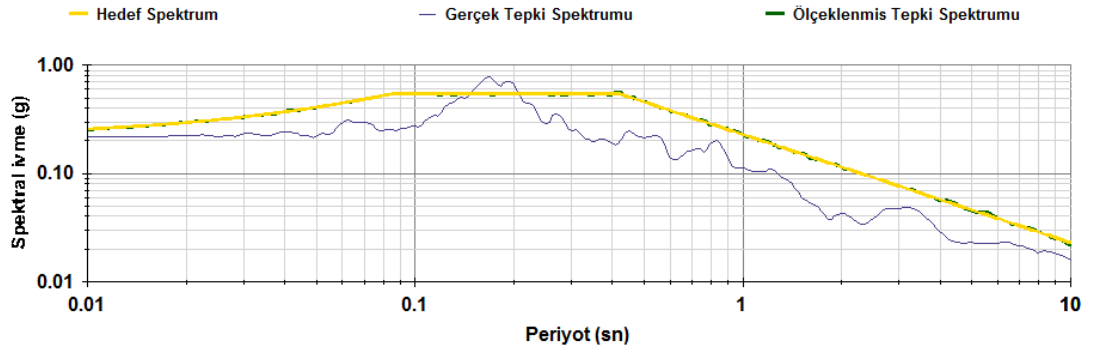
Şekil 3.45: NGA-879 no'lu Landers depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



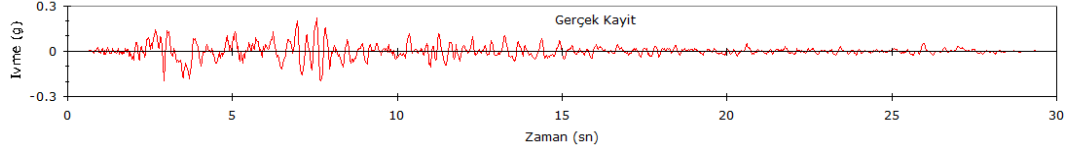
Şekil 3.46: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



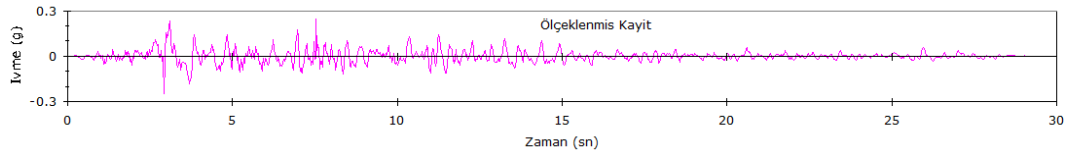
Şekil 3.47: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



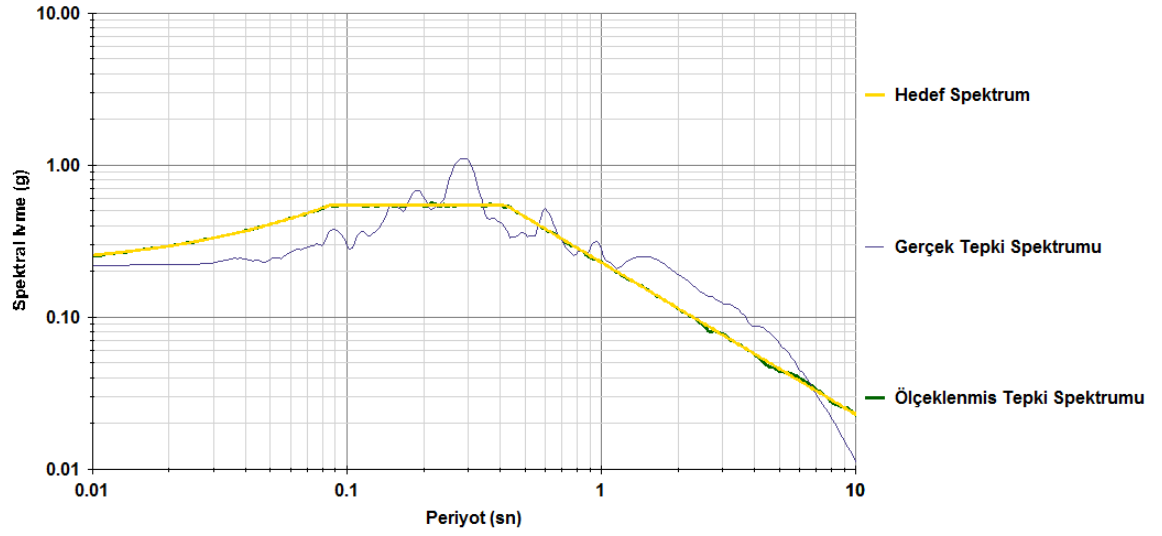
Şekil 3.48: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



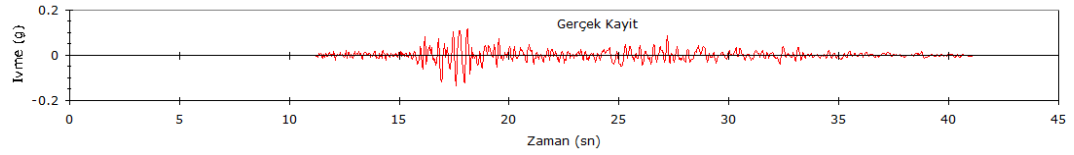
Şekil 3.49: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



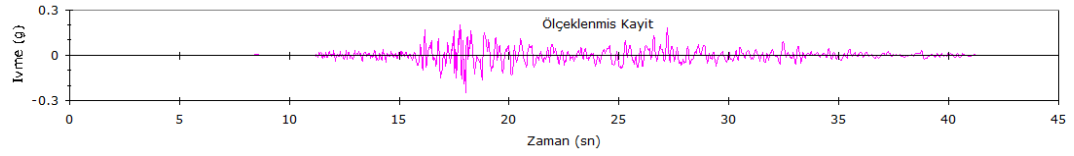
Şekil 3.50: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



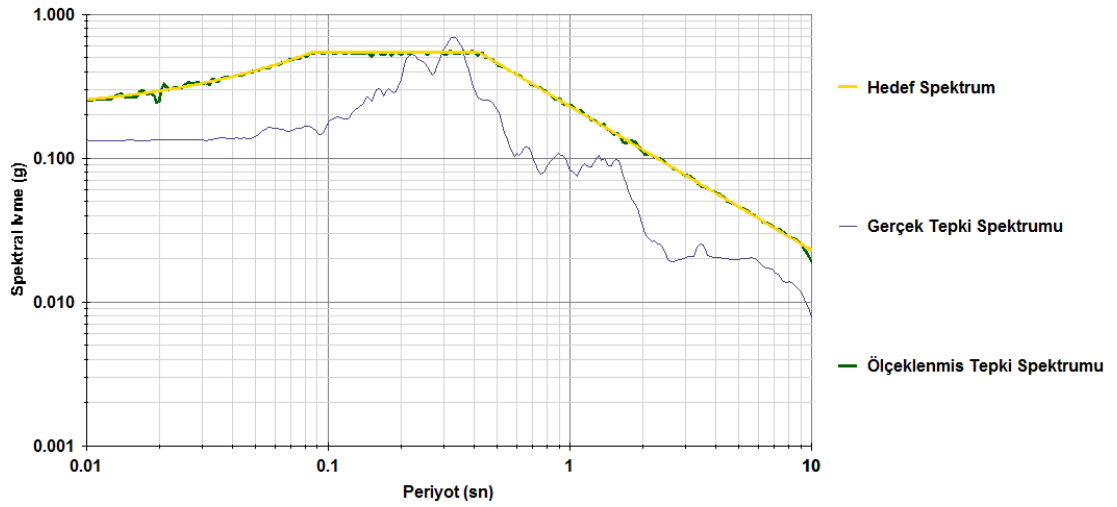
Şekil 3.51: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



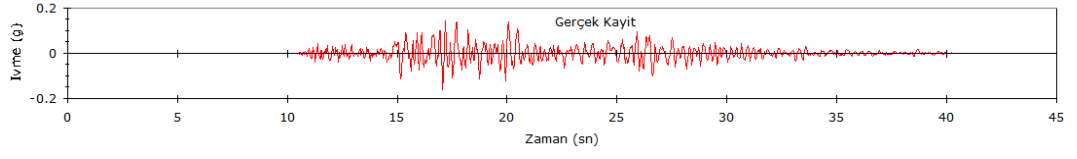
Şekil 3.52: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.



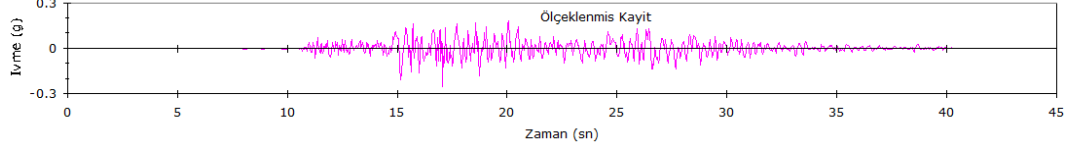
Şekil 3.53: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



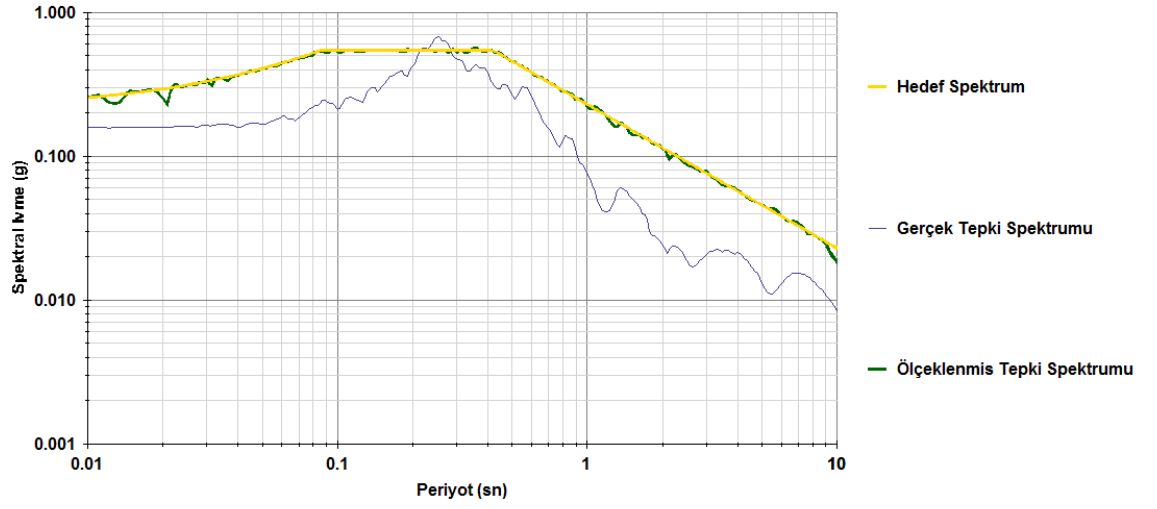
Şekil 3.54: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



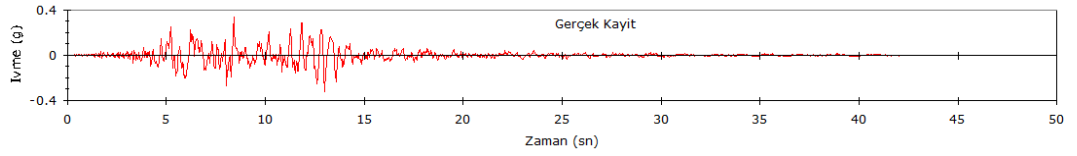
Şekil 3.55: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.



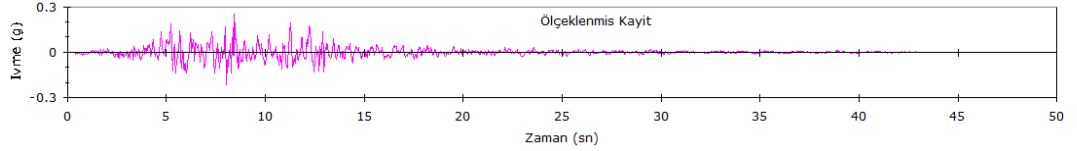
Şekil 3.56: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



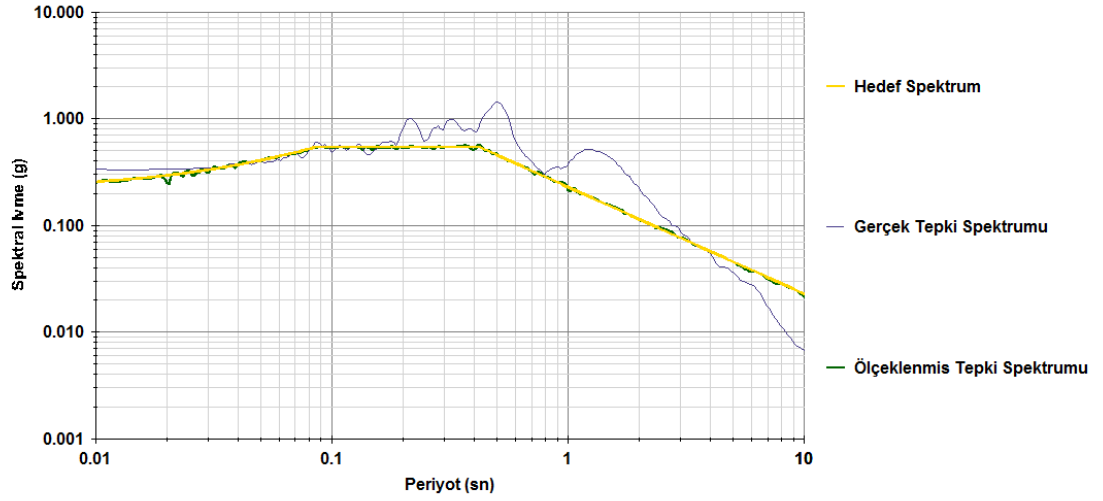
Şekil 3.57: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



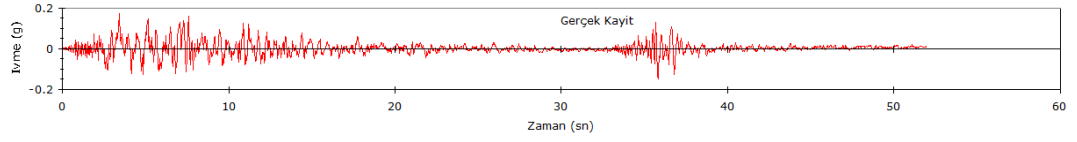
Şekil 3.58: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait gerçek ivme kaydı.



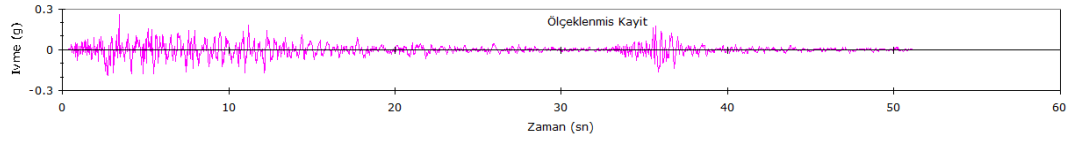
Şekil 3.59: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



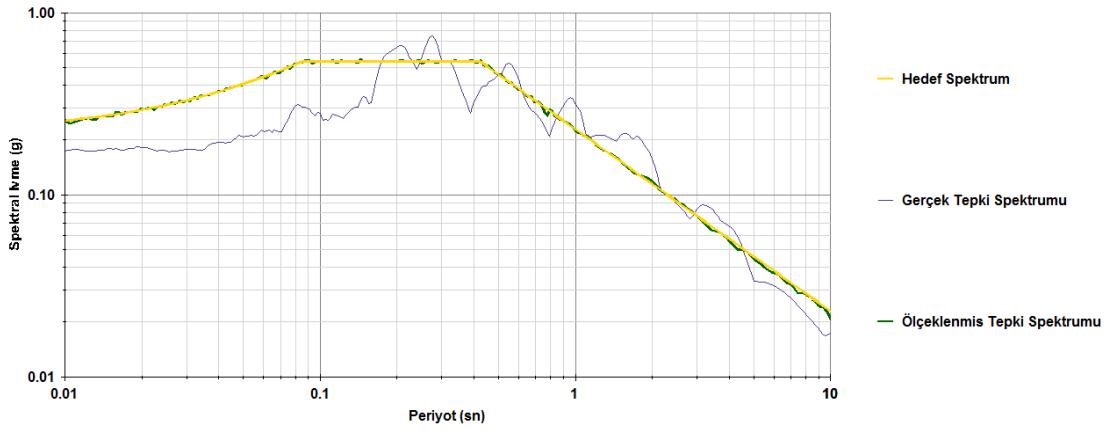
Şekil 3.60: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



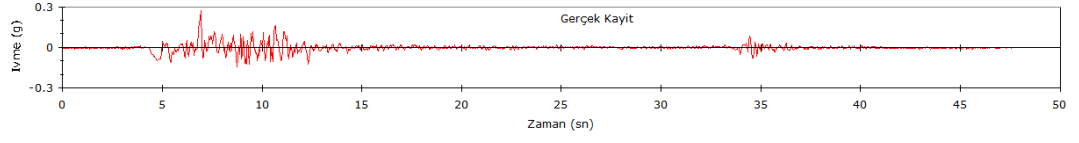
Şekil 3.61: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



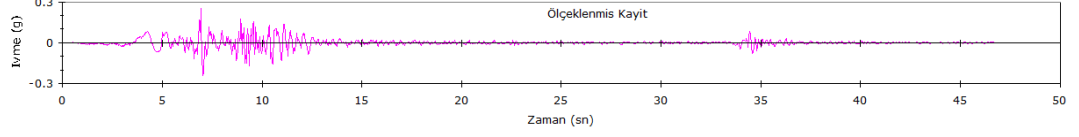
Şekil 3.62: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



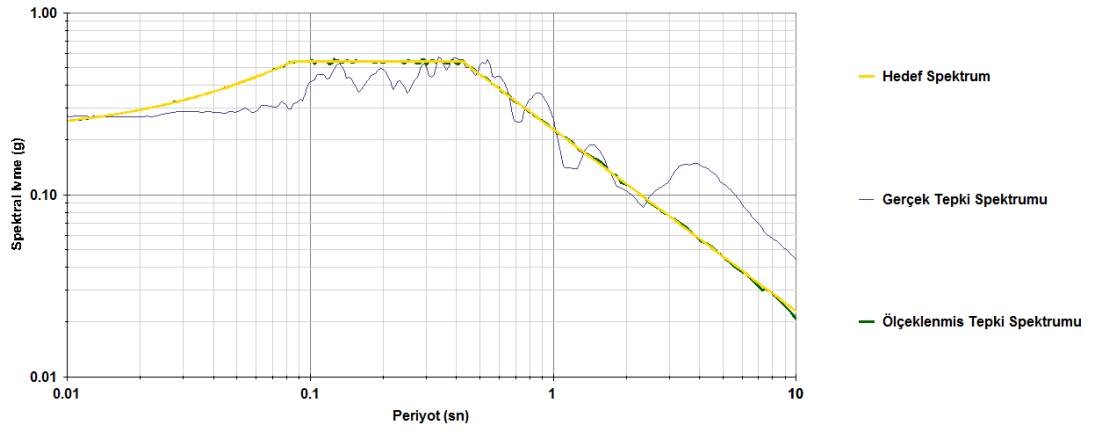
Şekil 3.63: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



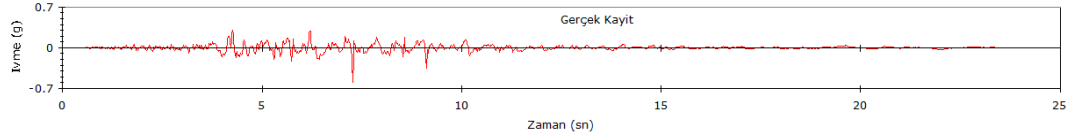
Şekil 3.64: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



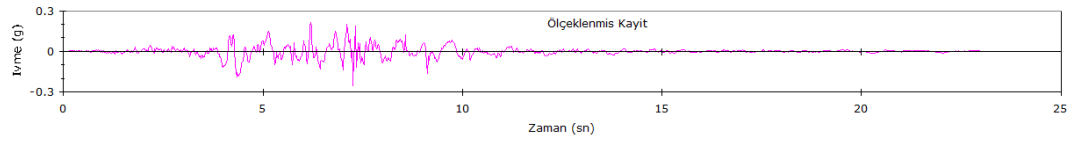
Şekil 3.65: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



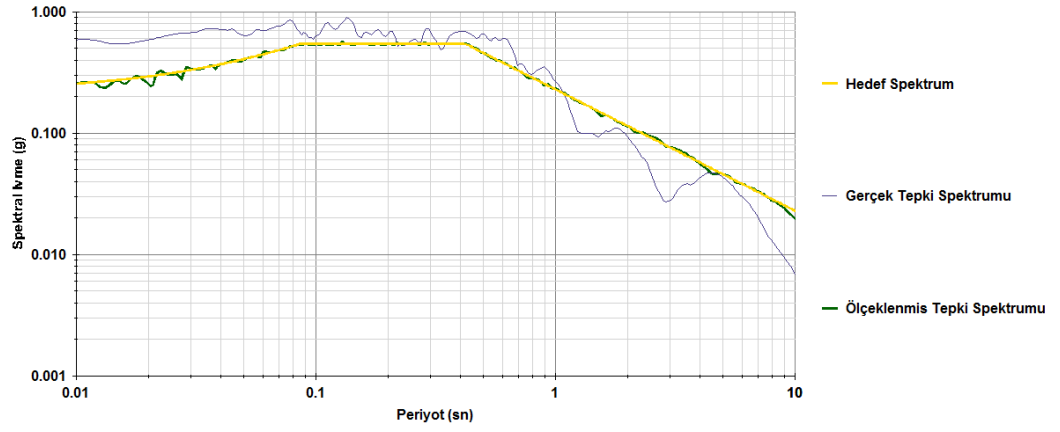
Şekil 3.66: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



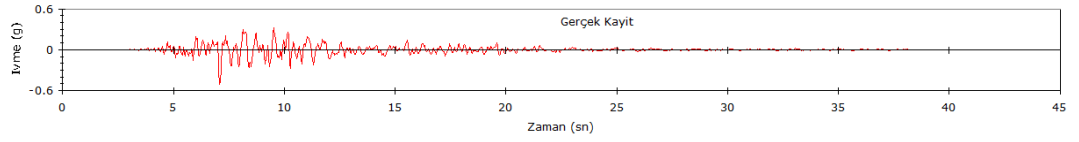
Şekil 3.67: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait gerçek ivme kaydı.



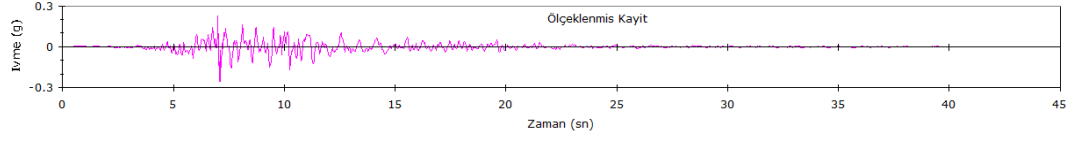
Şekil 3.68: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı



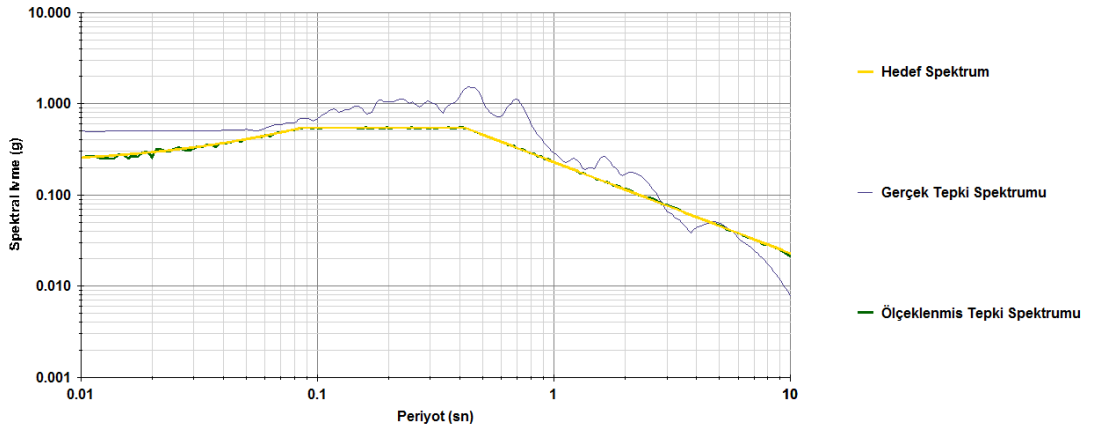
Şekil 3.69: NGA-265 no'lu Victoria, Mexico depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



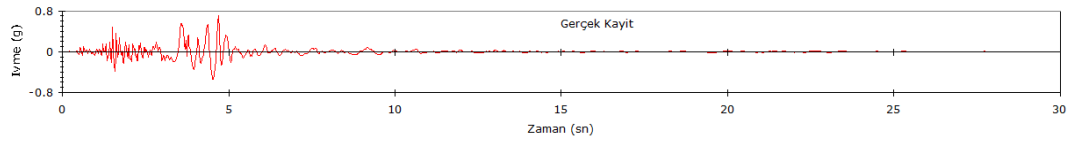
Şekil 3.70: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait gerçek ivme kaydı.



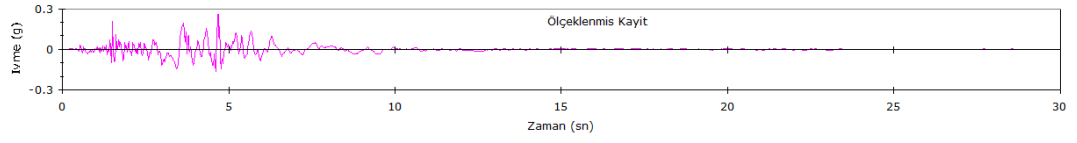
Şekil 3.71: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



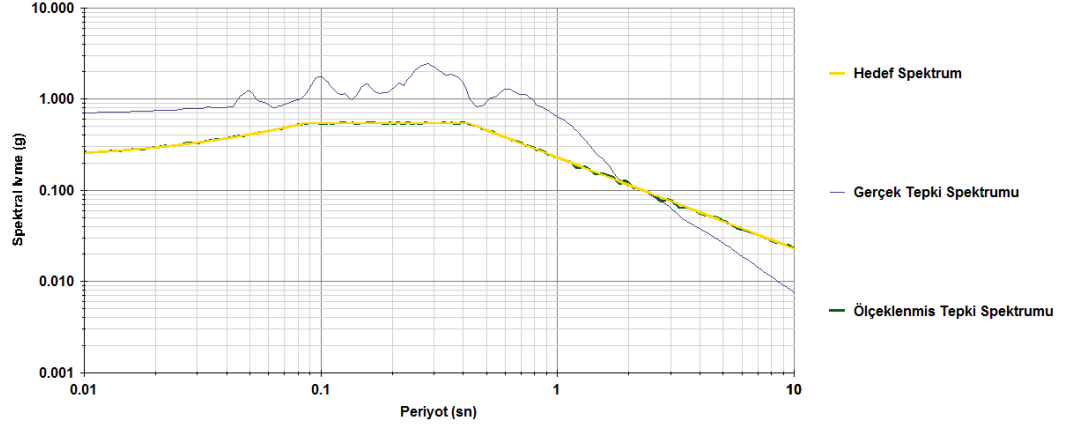
Şekil 3.72: NGA-1111 no'lu Kobe, Japan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



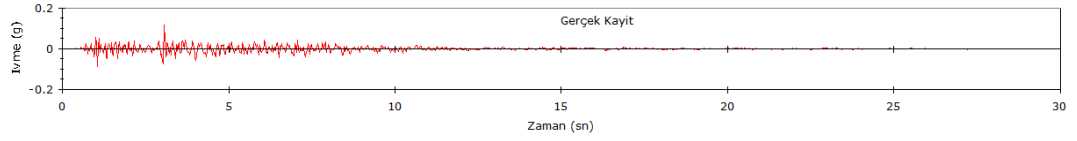
Şekil 3.73: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



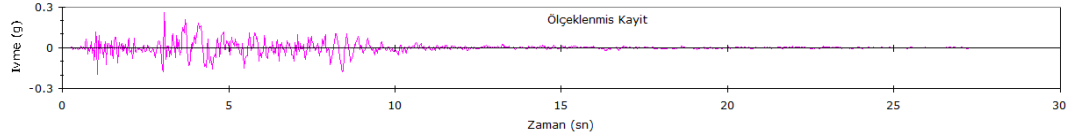
Şekil 3.74: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



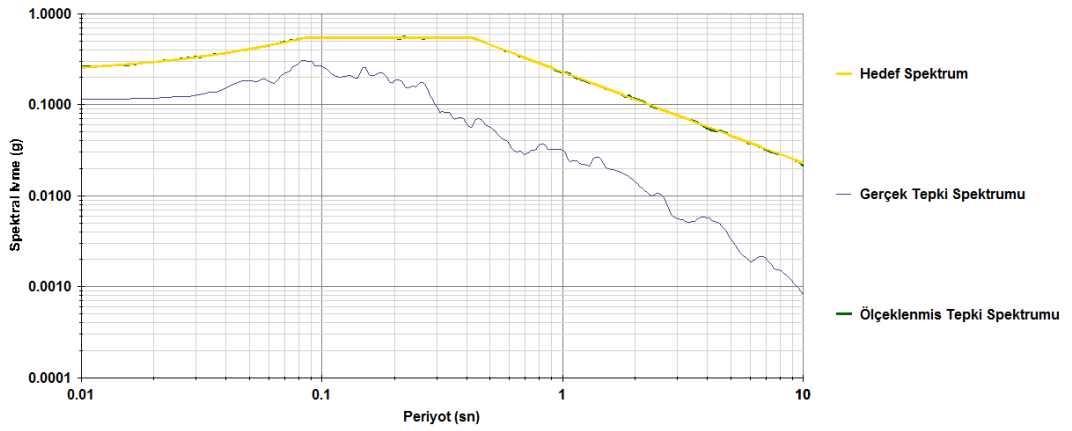
Şekil 3.75: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



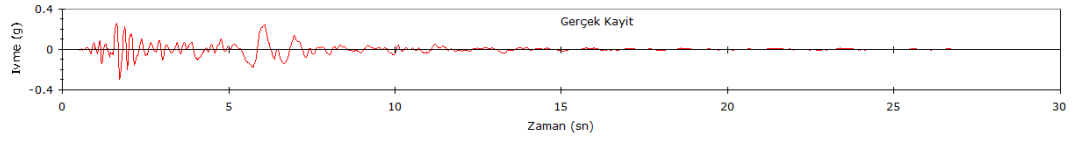
Şekil 3.76: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



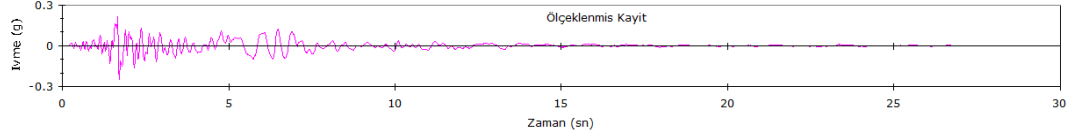
Şekil 3.77: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



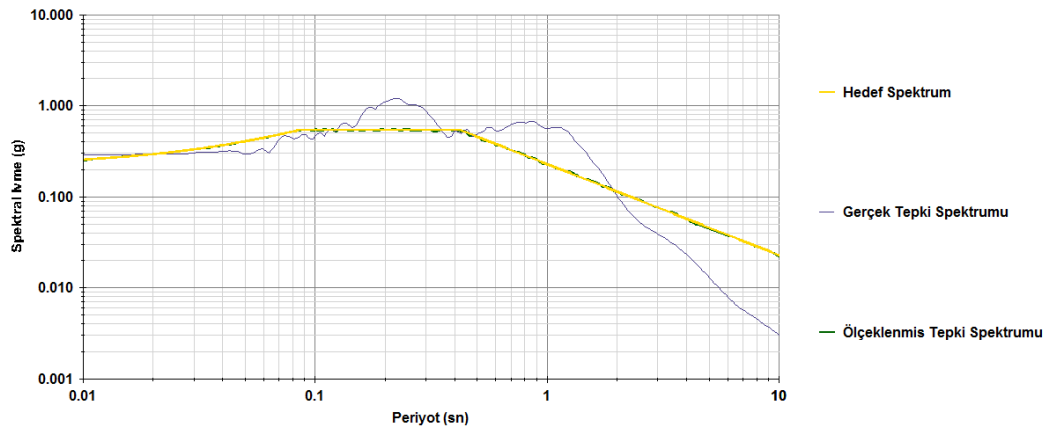
Şekil 3.78: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



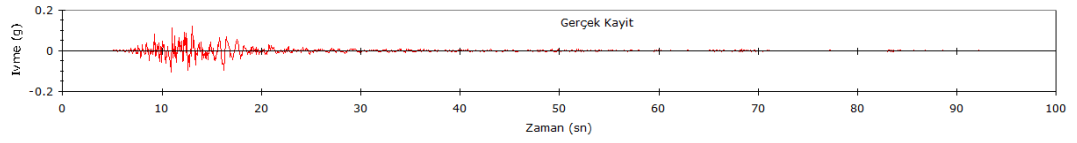
Şekil 3.79: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



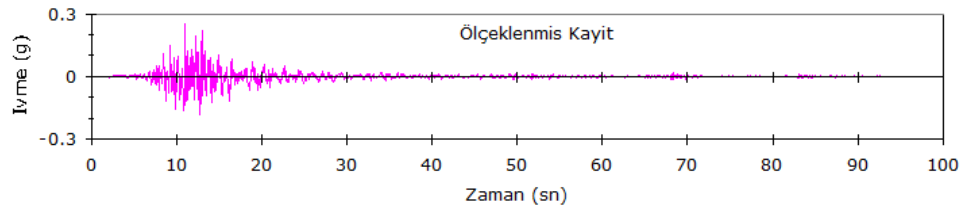
Şekil 3.80: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



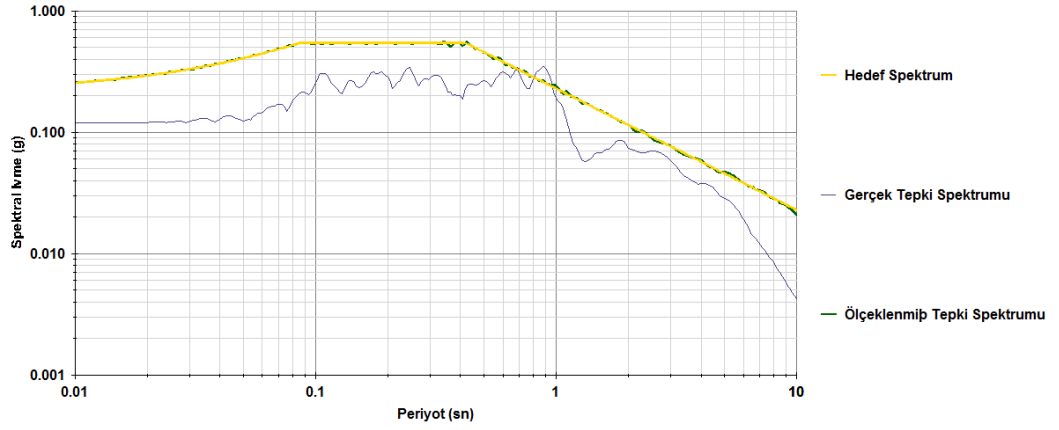
Şekil 3.81: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



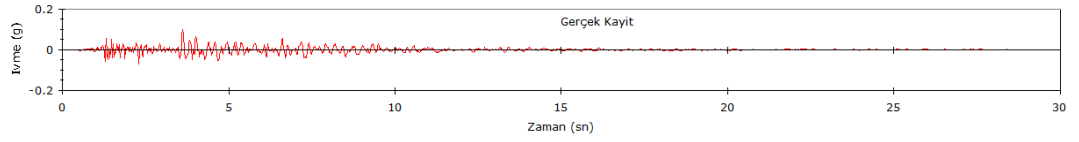
Şekil 3.82: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait gerçek ivme kaydı.



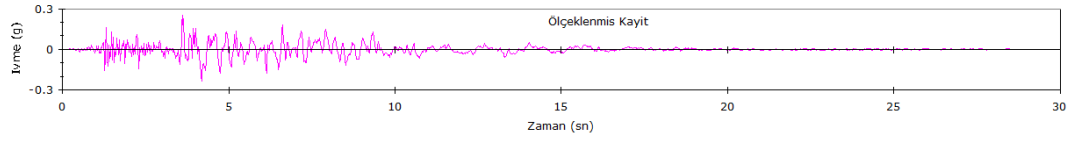
Şekil 3.83: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



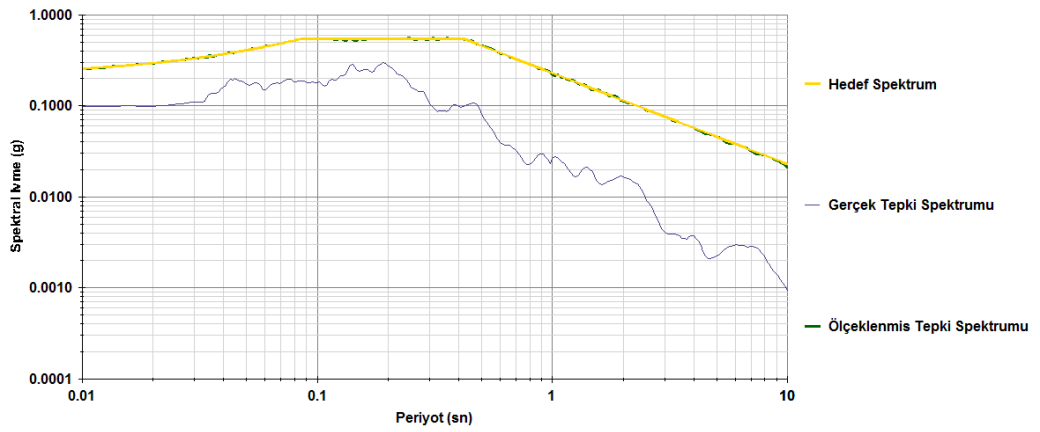
Şekil 3.84: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



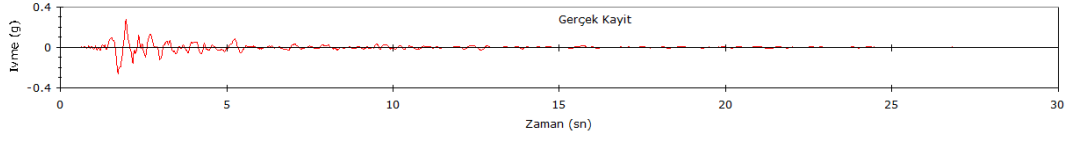
Şekil 3.85: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



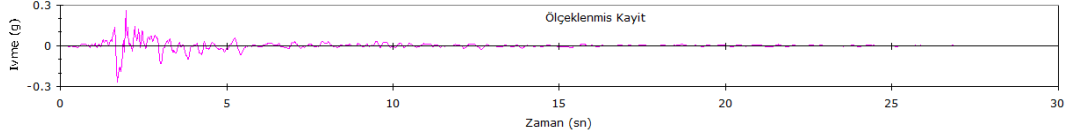
Şekil 3.86: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



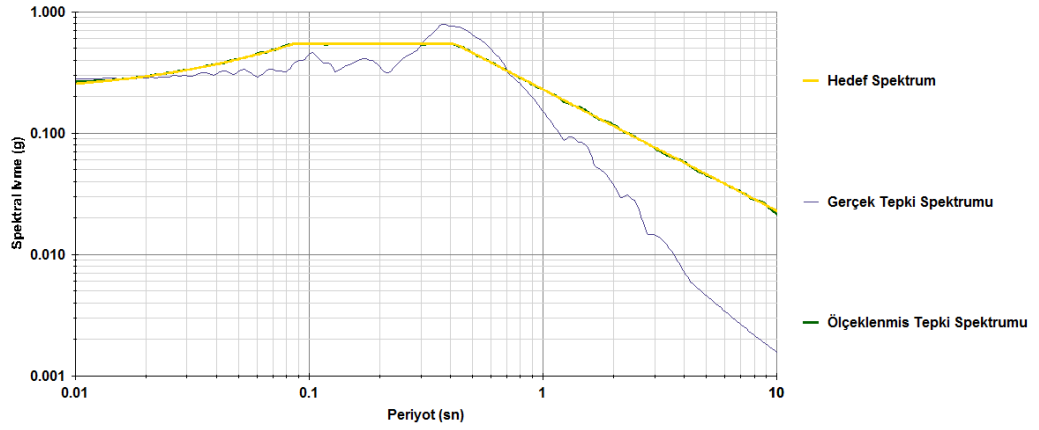
Şekil 3.87: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



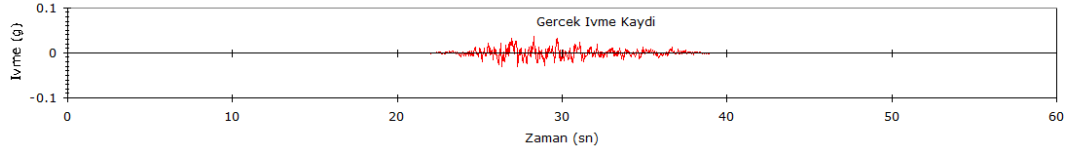
Şekil 3.88: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait gerçek ivme kaydı.



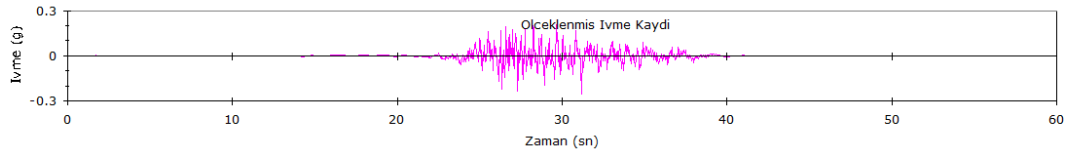
Şekil 3.89: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



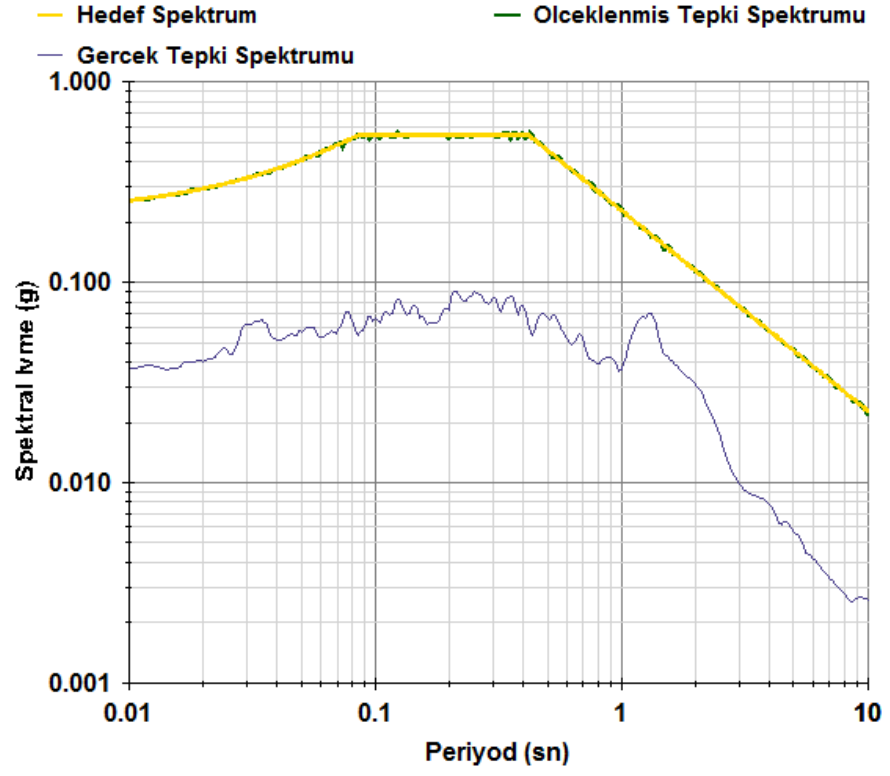
Şekil 3.90: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



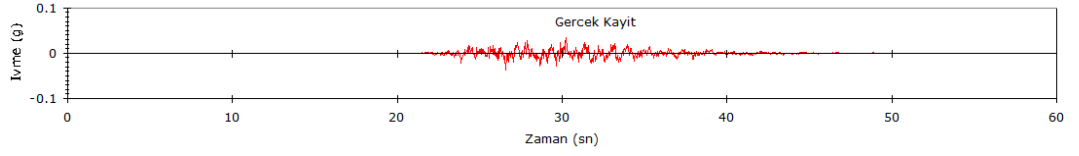
Şekil 3.91: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



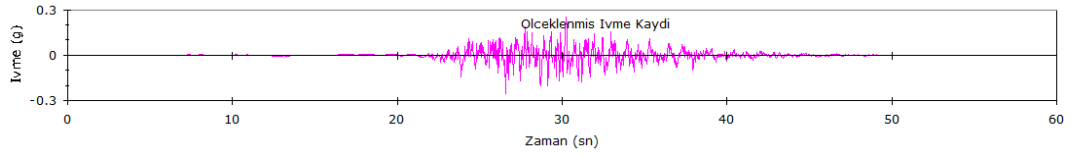
Şekil 3.92: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



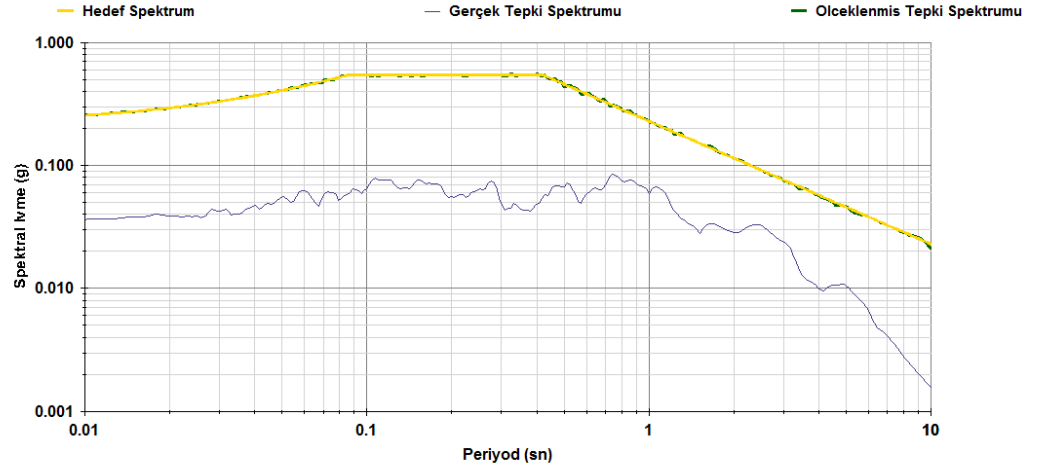
Şekil 3.93: D1-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



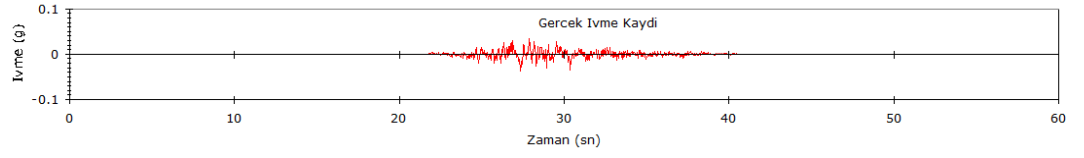
Şekil 3.94: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



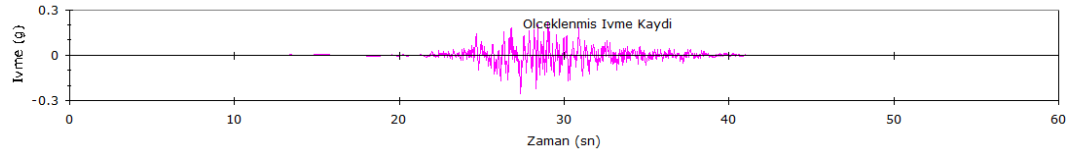
Şekil 3.95: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



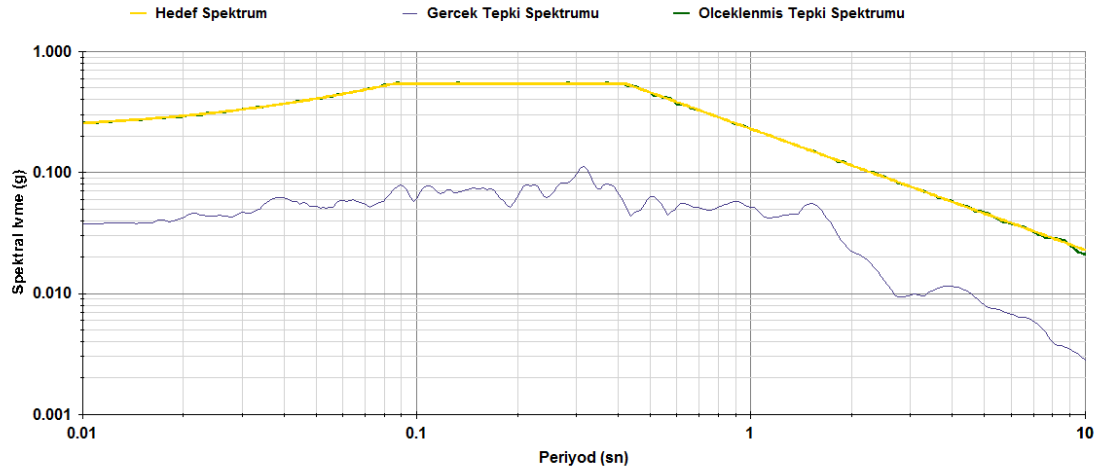
Şekil 3.96: D1-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



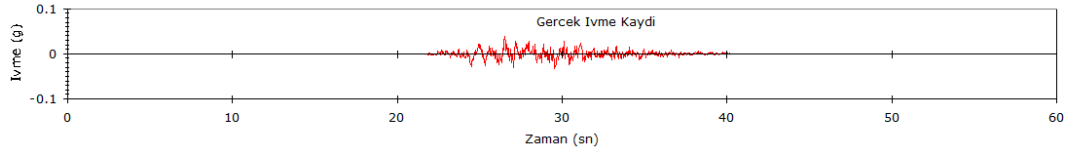
Şekil 3.97: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



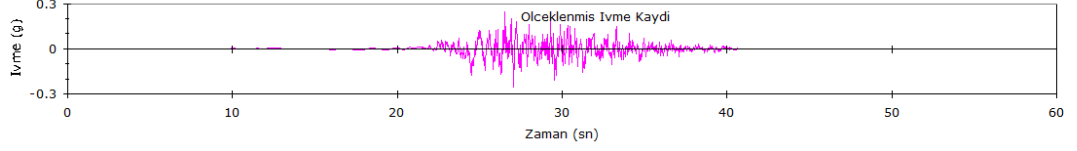
Şekil 3.98: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



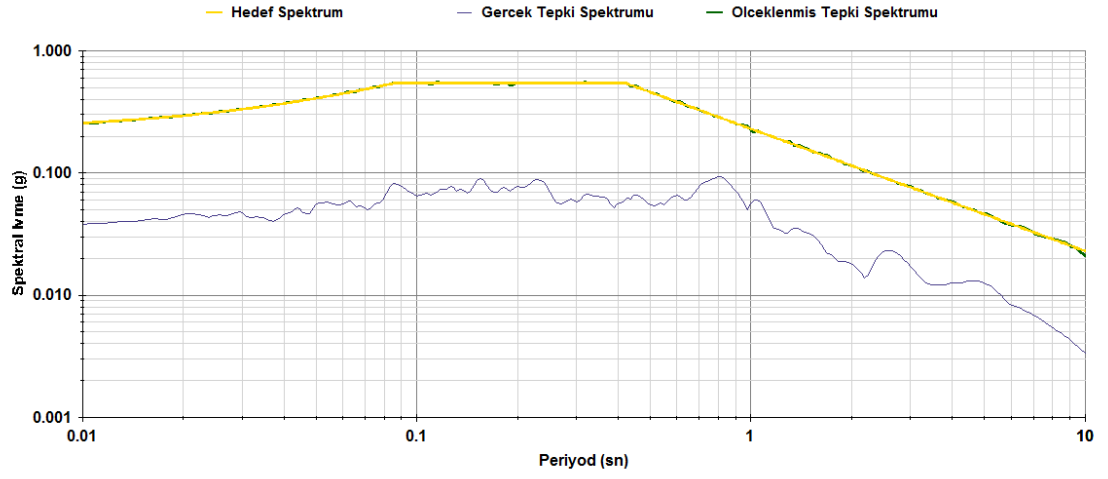
Şekil 3.99: D1-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



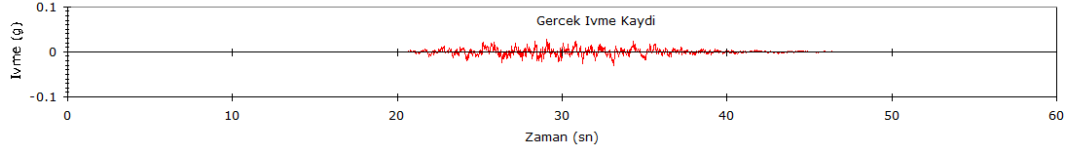
Şekil 3.100: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



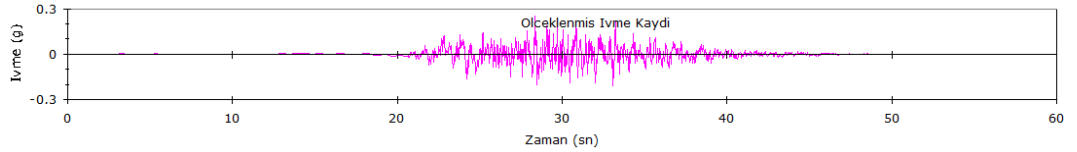
Şekil 3.101: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı



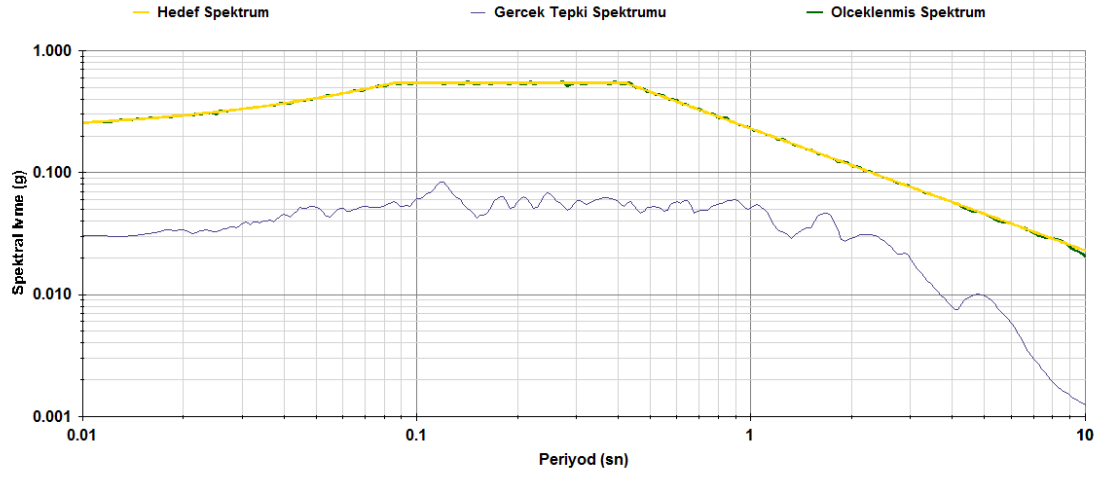
Şekil 3.102: D1-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



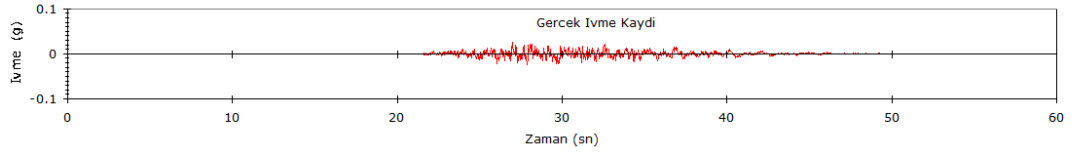
Şekil 3.103: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



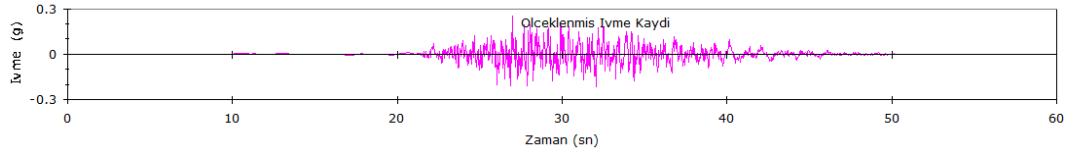
Şekil 3.104: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



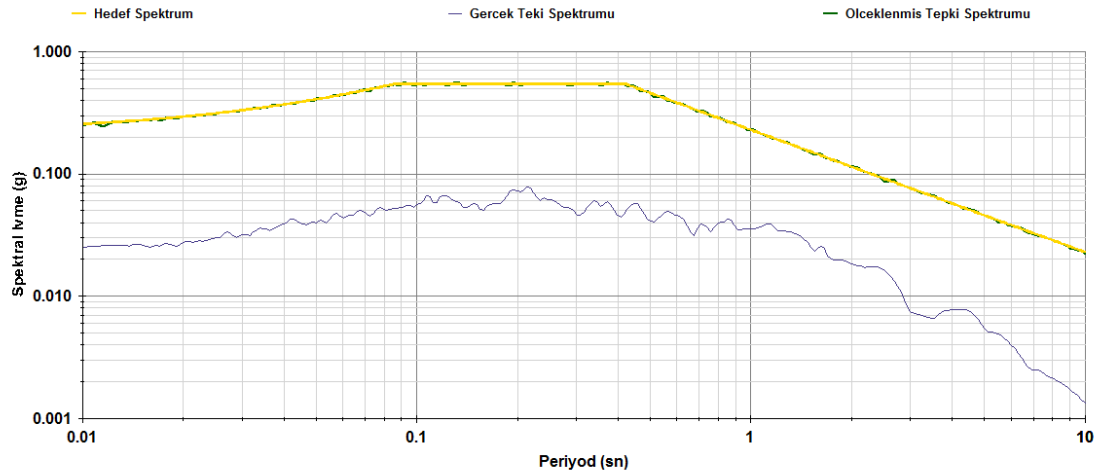
Şekil 3.105: D1-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



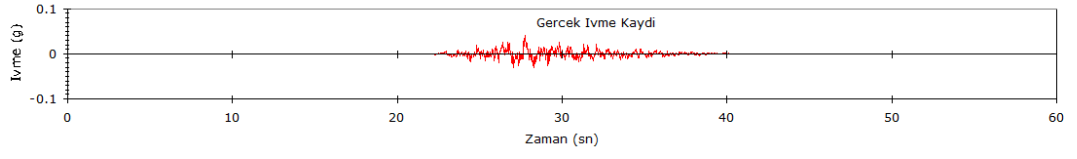
Şekil 3.106: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



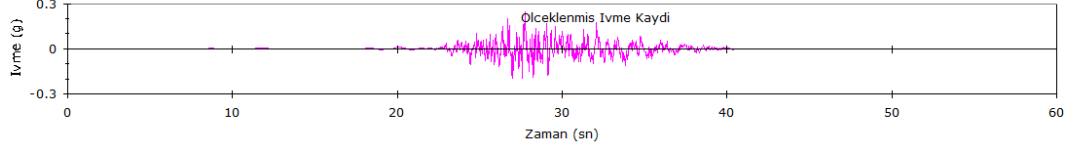
Şekil 3.107: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



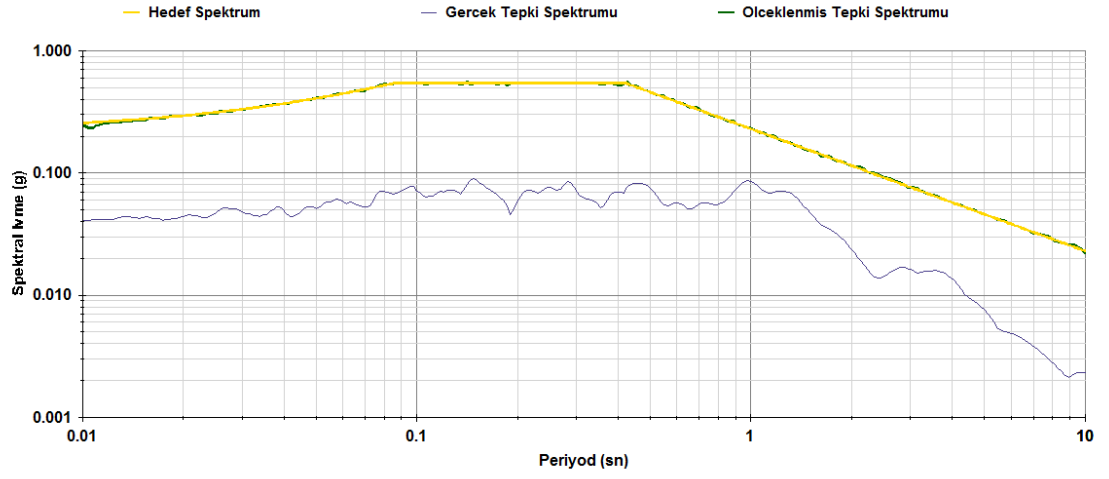
Şekil 3.108: D1-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



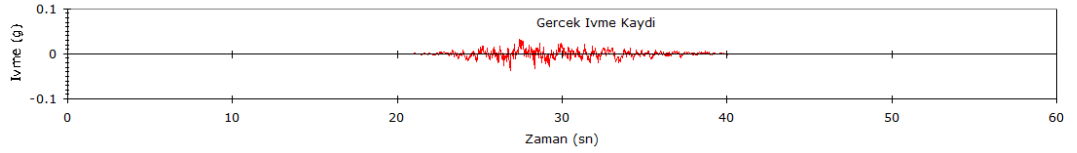
Şekil 3.109: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



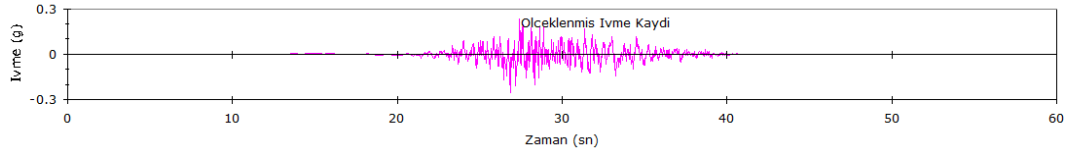
Şekil 3.110: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



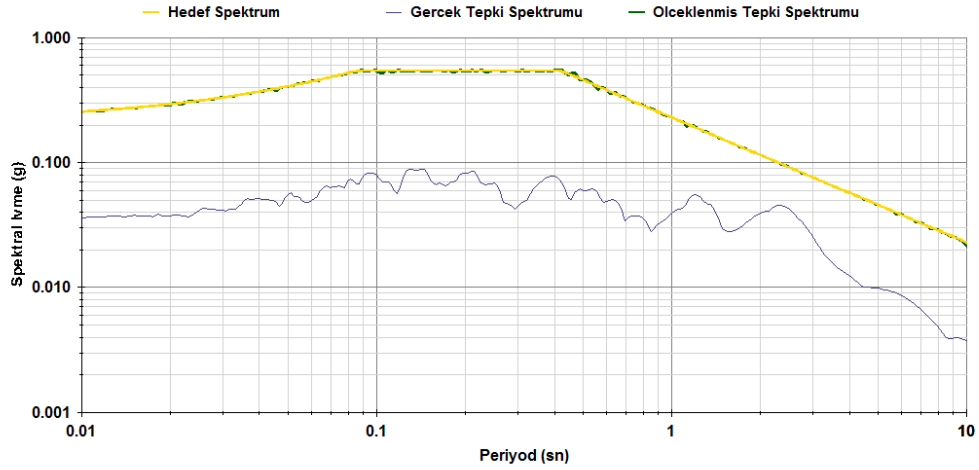
Şekil 3.111: D1-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



Şekil 3.112: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



Şekil 3.113: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



Şekil 3.114: D1-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.

3.5.2. D2 Tehlike Seviyeli Tepki Spektrumuna Ölçeklenmiş Gerçek ve Simülatif Kayıtlar

D2 tehlike seviyesine göre ölçeklenmiş gerçek ve simulative kayıtlar bu bölümde verilmektedir. Her bir kayda ait gerçek ivme kaydı, ölçeklenmiş ivme kaydı ve hedef spektruma ölçeklenmiş tepki spektrumu Şekil 3.115'ten itibaren verilmektedir.

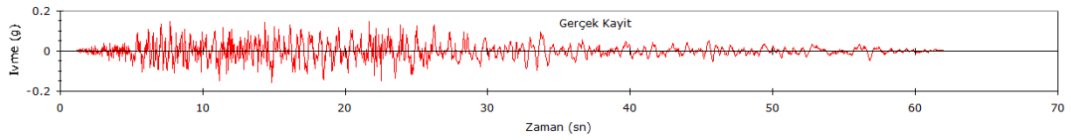
Tablo 3.13: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları

NGA #	Kayıt Adı	Mw	Gerçek PGA (g)	Vs30 m/s	RMS	Ölçek. Katsay.	Puan	Ölçeklenmiş PGA(g)	PGA ölçekleme katsayısı
164	D2_r1	6.53	0.1568	660	0.24	2.12	61	0.5932	3.6342
1611	D2_r2	7.14	0.1106	425	0.471	3.01	28	0.5807	5.148
1148	D2_r3	7.51	0.2138	523	0.532	1.52	37	0.5676	2.6106
1165	D2_r4	7.51	0.1524	811	0.311	2.19	42	0.5613	3.7388
1614	D2_r5	7.14	0.1064	481	0.372	3.12	37	0.5849	5.3549
1618	D2_r6	7.14	0.1182	660	0.286	2.82	43	0.5704	4.8225
1787	D2_r7	7.13	0.3366	685	0.378	0.99	49	0.6001	1.6933
4101	D2_r8	7.4	0.1694	826	0.319	1.9	54	0.5682	3.3689
4106	D2_r9	7.4	0.2688	701	0.468	1.23	39	0.5694	2.1206
265	D2_r10	6.33	0.621	660	0.511	0.54	29	0.5813	0.9171
1111	D2_r11	6.9	0.5028	609	0.432	0.66	34	0.5647	1.1336
451	D2_r12	6.19	0.7107	597	0.428	0.47	27	0.5951	0.8019
454	D2_r13	6.19	0.1144	730	0.621	2.91	24	0.571	4.9835
459	D2_r14	6.19	0.292	663	0.336	1.14	42	0.5423	1.9516
2739	D2_r15	6.2	0.1199	680	0.349	2.77	35	0.5707	4.7534
455	D2_r16	6.19	0.0983	1428	0.556	3.39	25	0.5745	5.7999
145	D2_r17	5.74	0.1574	597	0.4	2.11	27	0.5779	3.6215

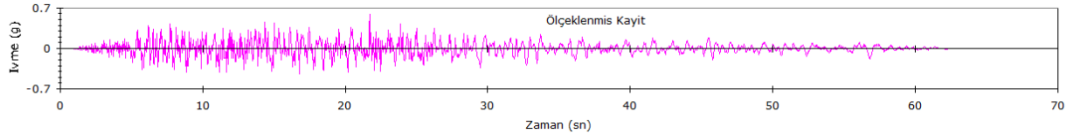
Tablo 3.14: D2 sınıfı deprem yer hareketi seviyesi tepki spektrumuna ölçeklenmesi için üretilen ivme kayıtlarının tepki spektrumuna ölçeklenme katsayıları.

Kayıt Adı	(Mw)	Gerçek PGA (g)	Vs30 (m/s)	RMS	Ölçekleme Katsayısı	Puan	Ölçeklenmiş PGA(g)	PGA ölçekleme katsayısı
d2-s1	7.5	0.1801	760	0.512	1.84	42	0.566	3.159
d2-s2	7.5	0.1986	760	0.484	1.67	41	0.5623	2.876
d2-s3	7.5	0.2102	760	0.534	1.58	40	0.5822	2.7079
d2-s4	7.5	0.187	760	0.473	1.79	42	0.5688	3.04
d2-s5	7.5	0.1867	760	0.487	1.79	43	0.5639	3.0604
d2-s6	7.5	0.1401	760	0.47	2.39	43	0.5689	4.0749
d2-s7	7.5	0.1704	760	0.473	1.94	44	0.5639	3.3402
d2-s8	7.5	0.2957	760	0.599	1.12	41	0.5717	1.9231

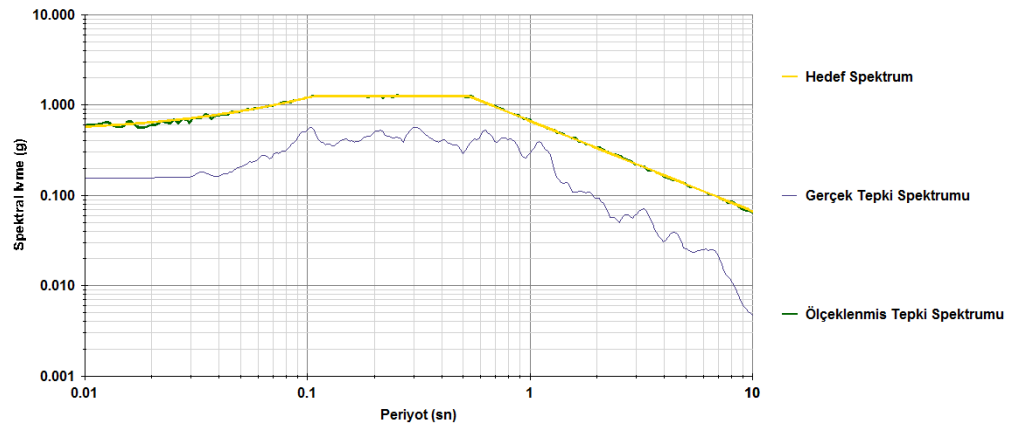
Hedef spektruma ölçeklenmiş gerçek ve simülatif ivme kayıtları;



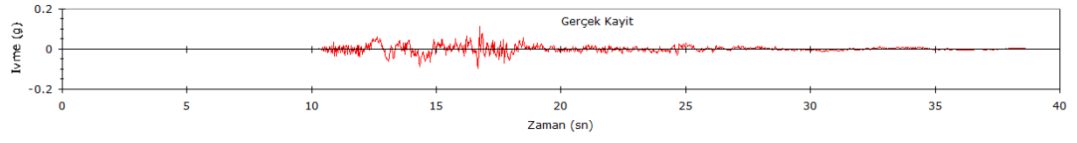
Şekil 3.115: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait gerçek ivme kaydı.



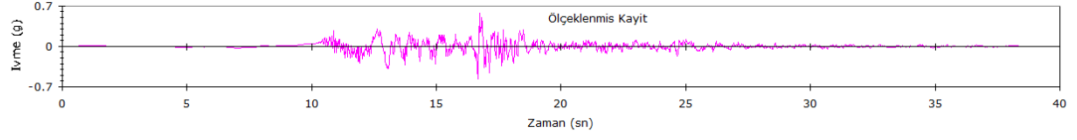
Şekil 3.116: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



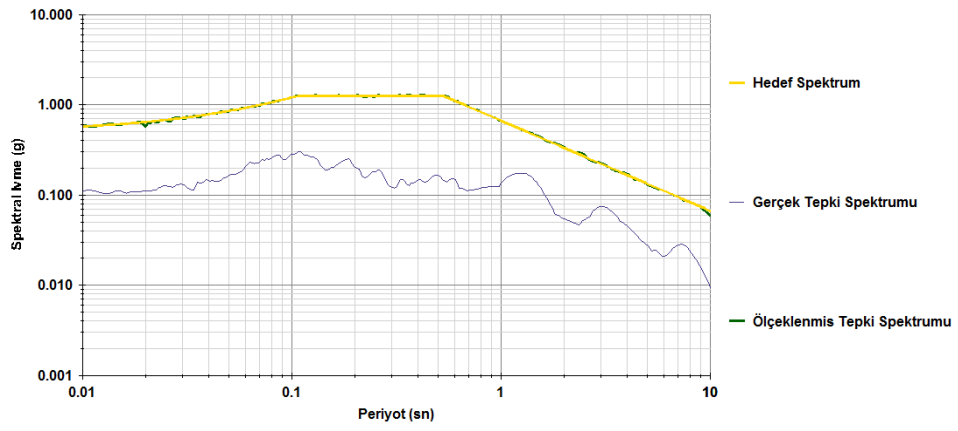
Şekil 3.117: NGA-164 no'lu Imperial Valley depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



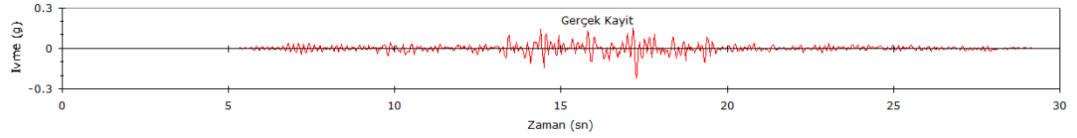
Şekil 3.118: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.



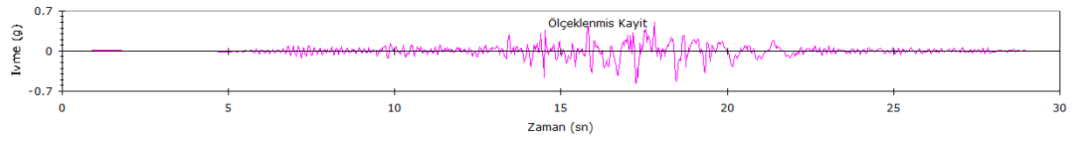
Şekil 3.119: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



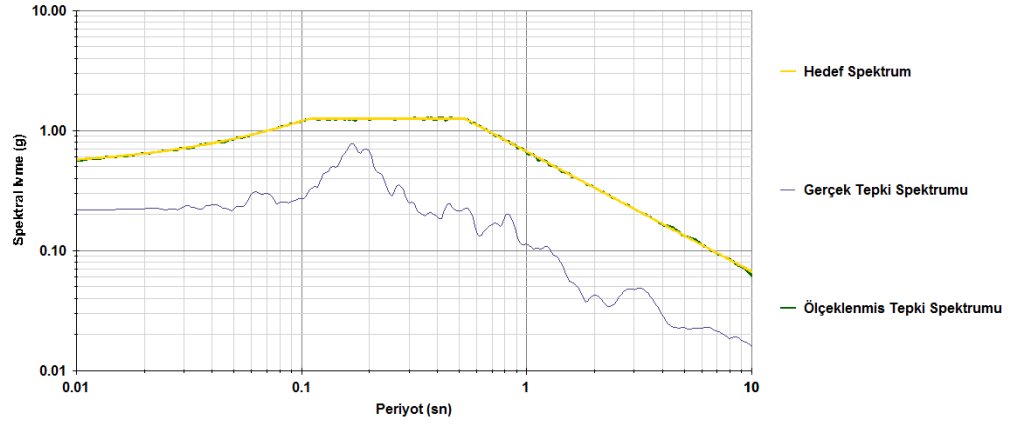
Şekil 3.120: NGA-1611 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



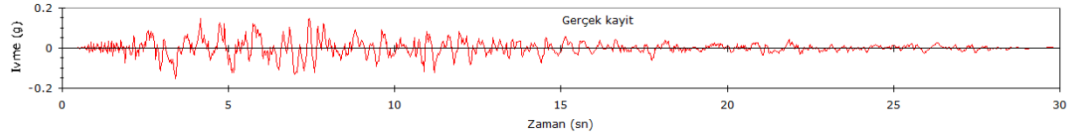
Şekil 3.121: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



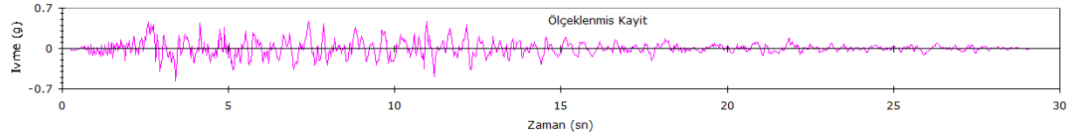
Şekil 3.122: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



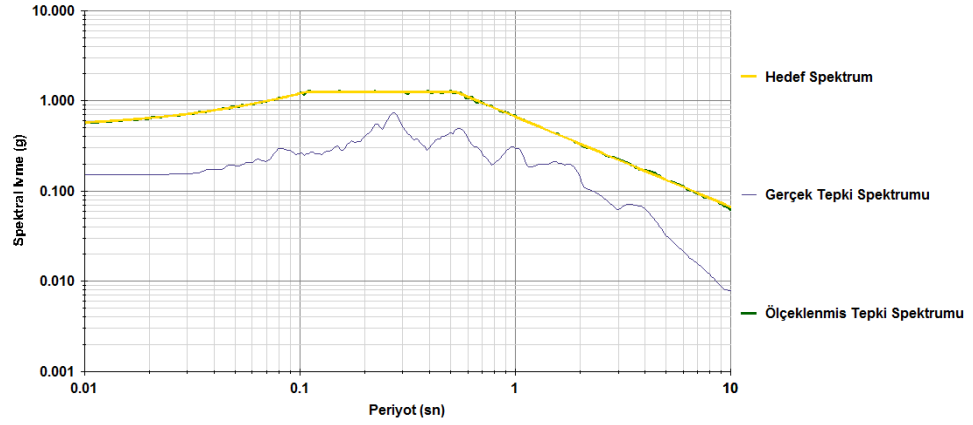
Şekil 3.123: NGA-1148 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



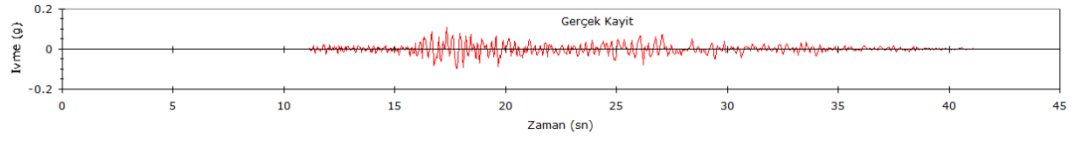
Şekil 3.124: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



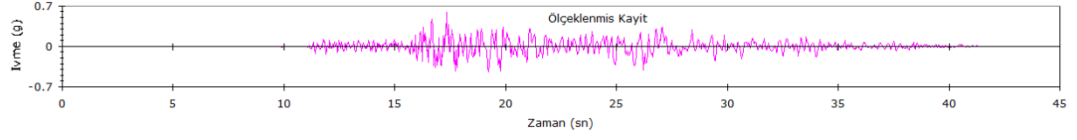
Şekil 3.125: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



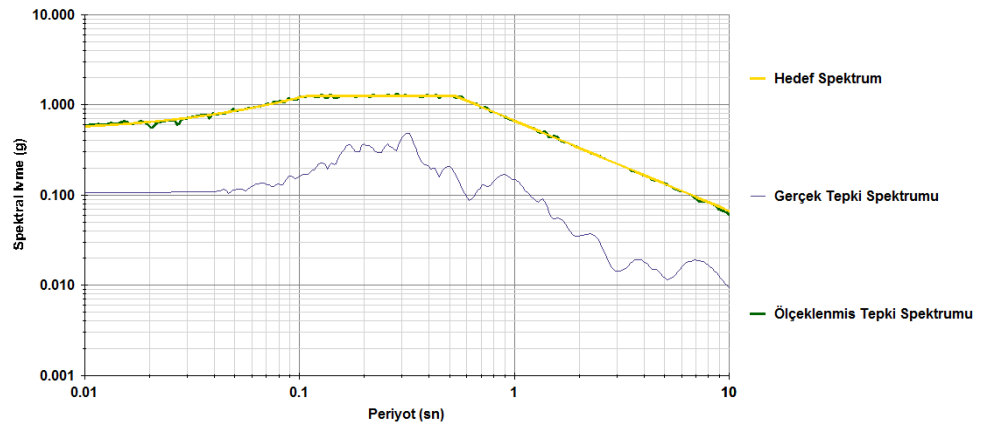
Şekil 3.126: NGA-1165 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



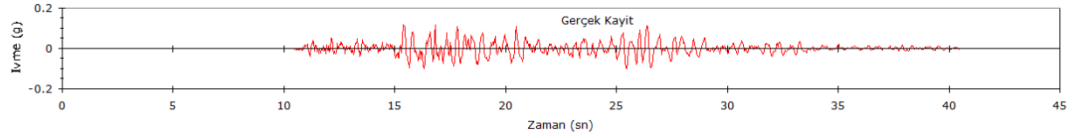
Şekil 3.127: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.



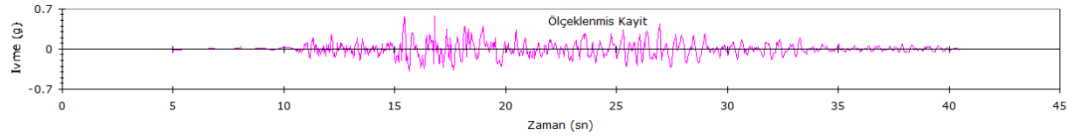
Şekil 3.128: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



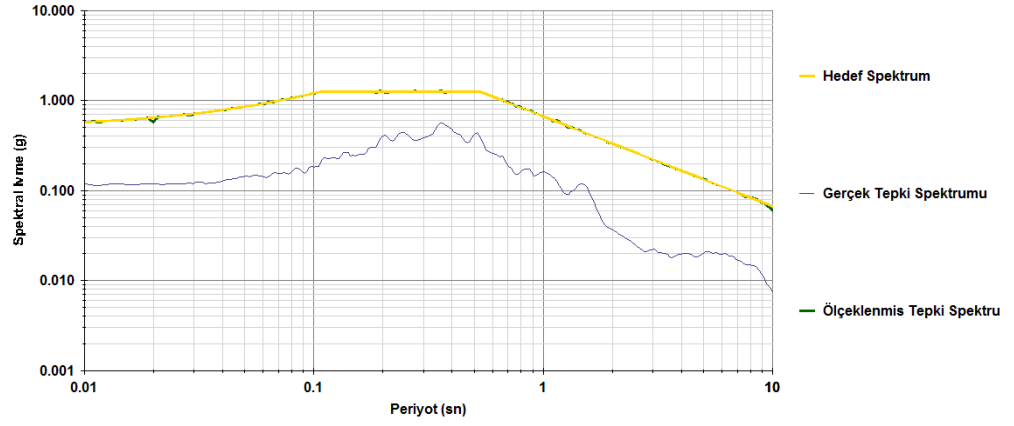
Şekil 3.129: NGA-1614 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



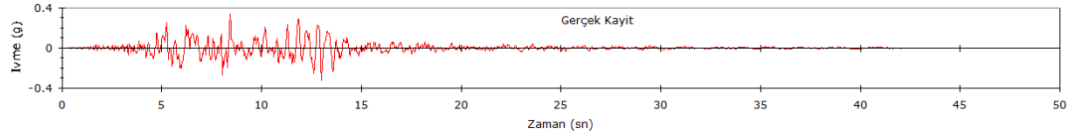
Şekil 3.130: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait gerçek ivme kaydı.



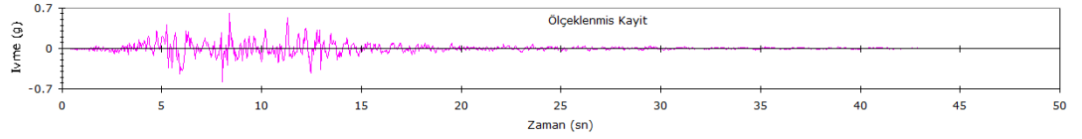
Şekil 3.131: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



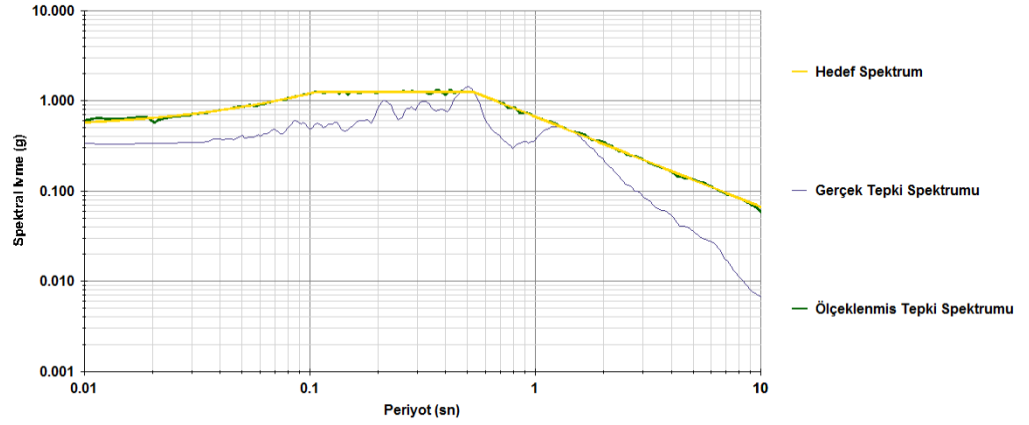
Şekil 3.132: NGA-1618 no'lu Düzce depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



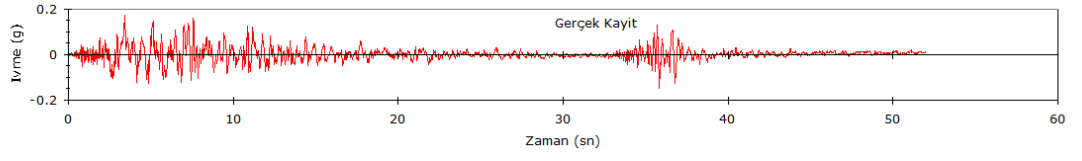
Şekil 3.133: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait gerçek ivme kaydı.



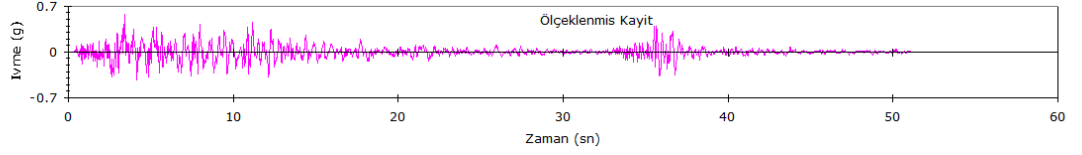
Şekil 3.134: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



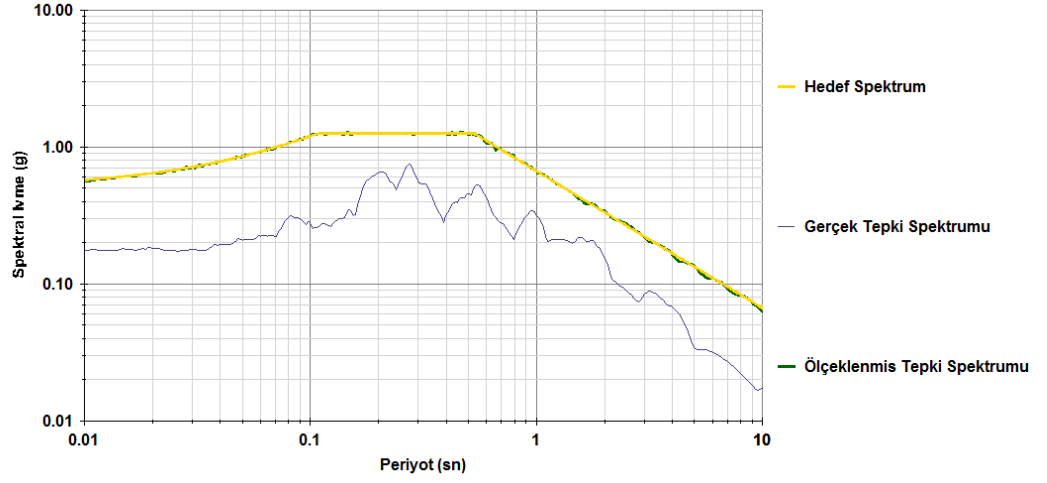
Şekil 3.135: NGA-1787 no'lu Hector Mine depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



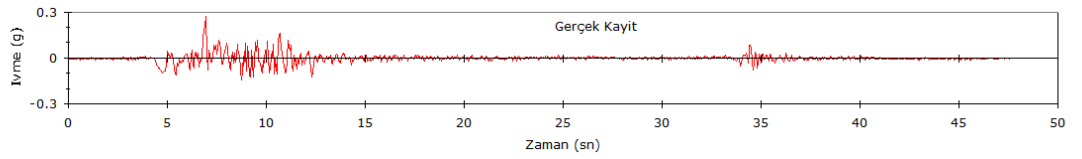
Şekil 3.136: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



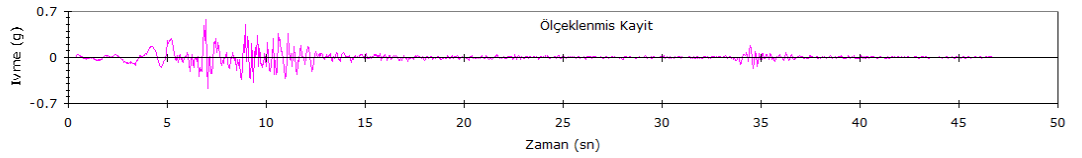
Şekil 3.137: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



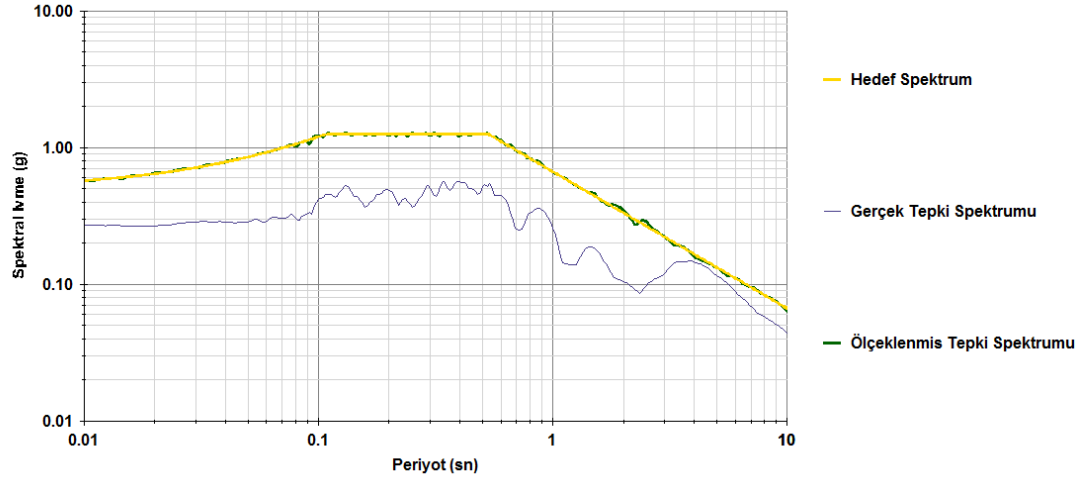
Şekil 3.138: NGA-4101 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



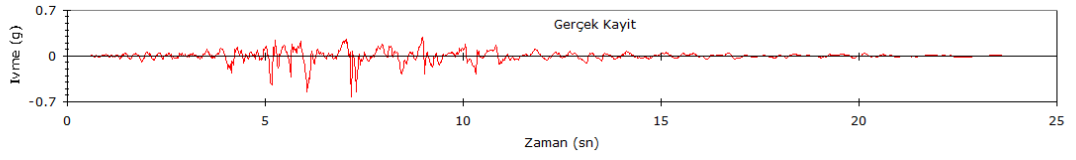
Şekil 3.139: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait gerçek ivme kaydı.



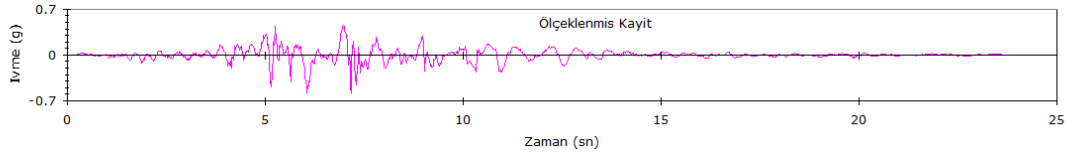
Şekil 3.140: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



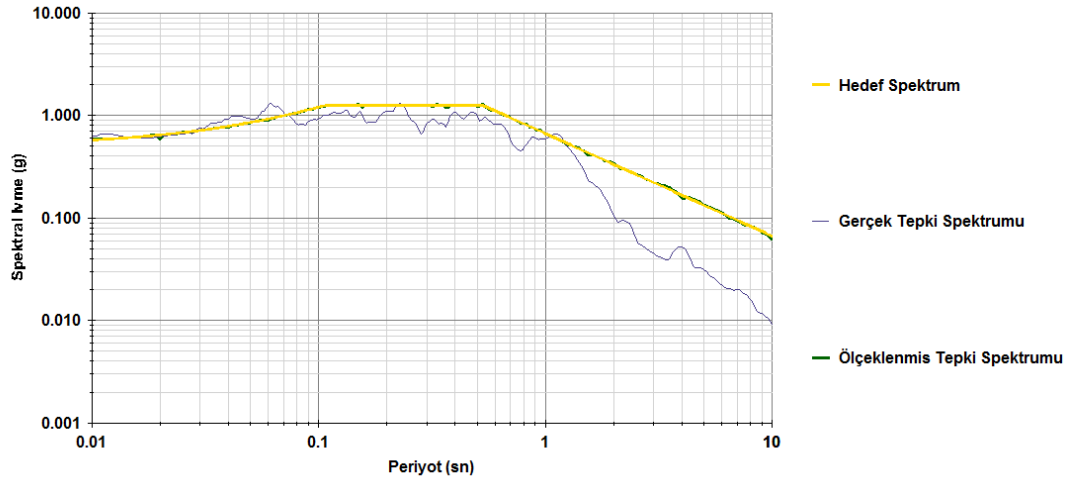
Şekil 3.141: NGA-4106 no'lu Kocaeli depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



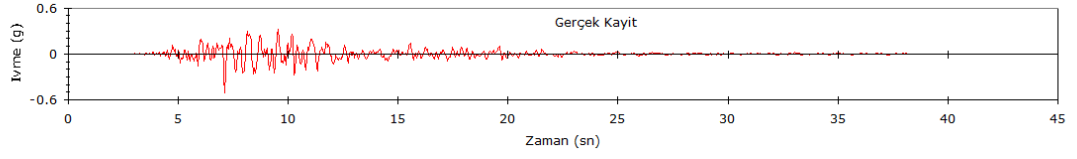
Şekil 3.142: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait gerçek ivme kaydı.



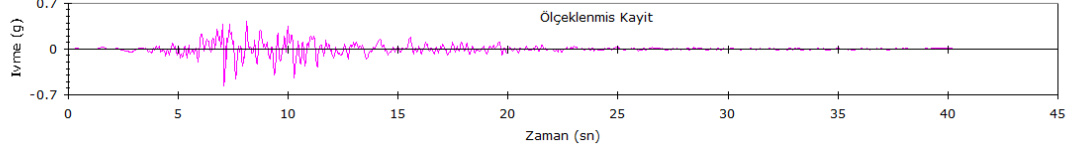
Şekil 3.143: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



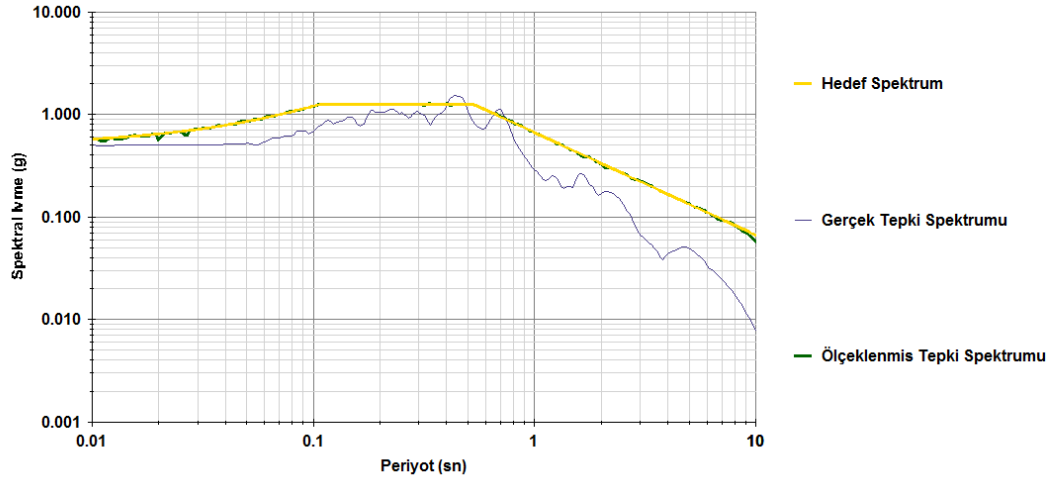
Şekil 3.144: NGA-265 no'lu Victoria-Mexico depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



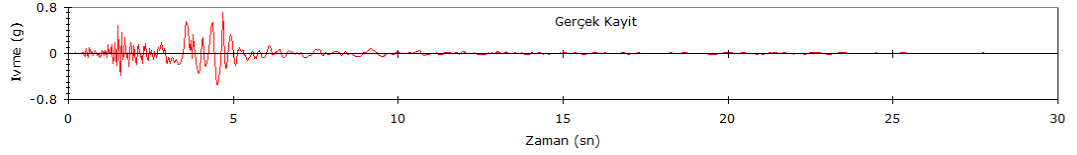
Şekil 3.145: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait gerçek ivme kaydı.



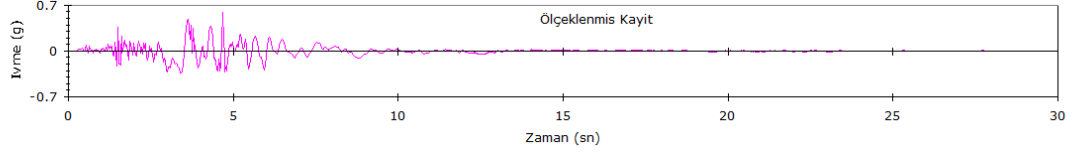
Şekil 3.146: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



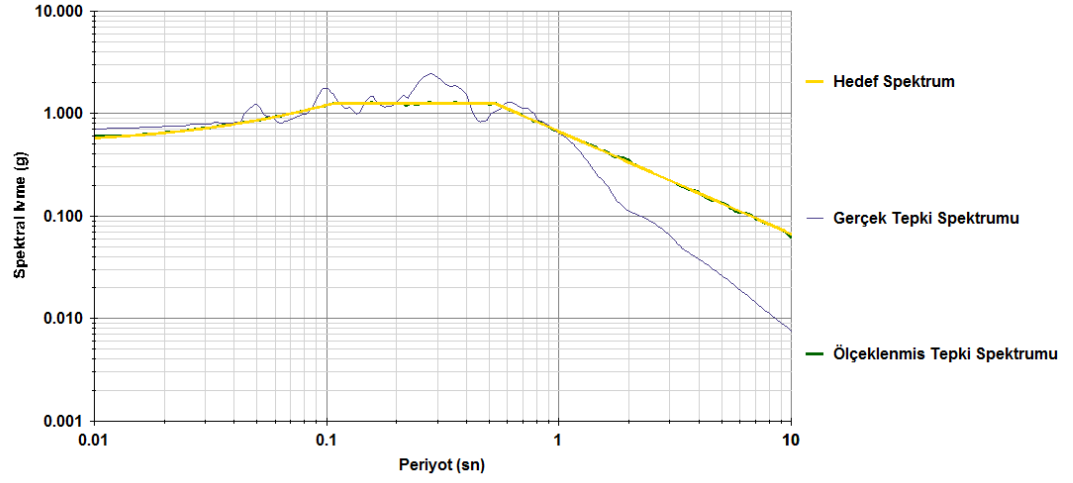
Şekil 3.147: NGA-1111 no'lu Kobe-Japan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



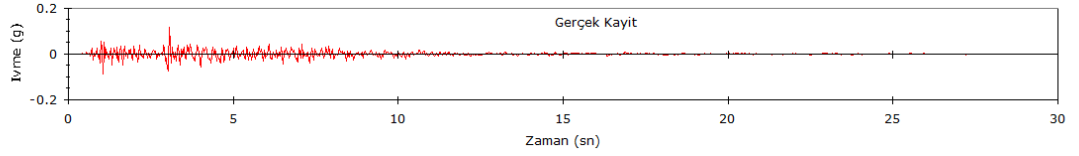
Şekil 3.148: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



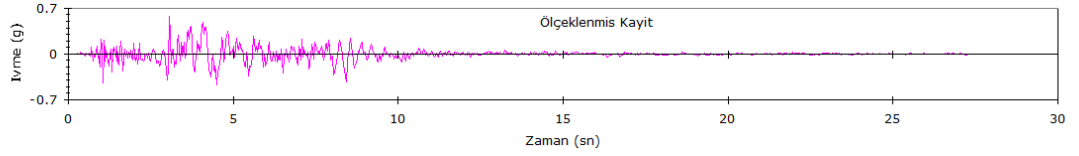
Şekil 3.149: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



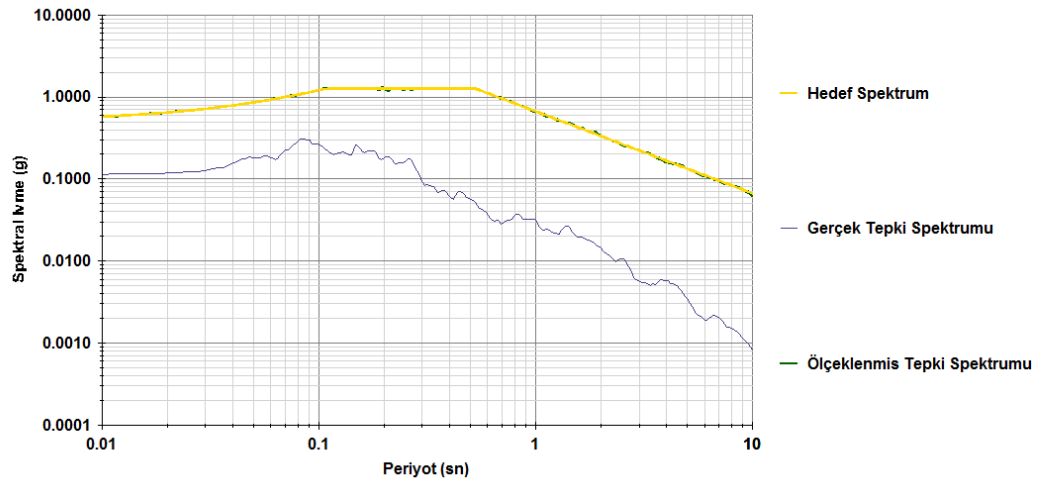
Şekil 3.150: NGA-451 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



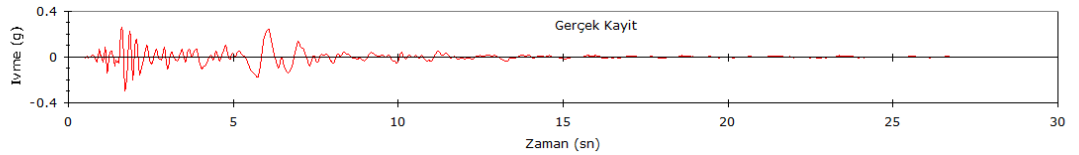
Şekil 3.151: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



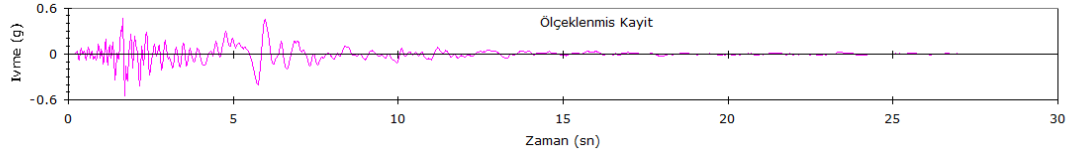
Şekil 3.152: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



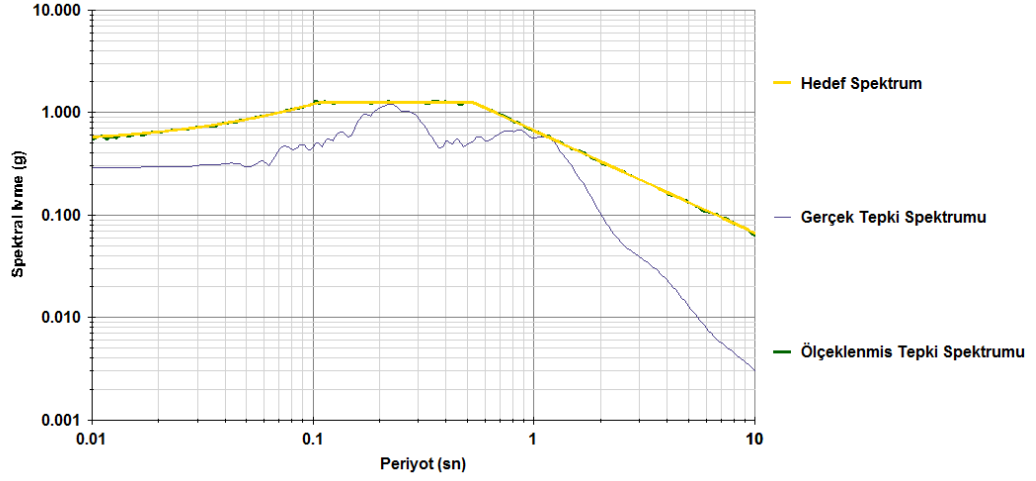
Şekil 3.153: NGA-454 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



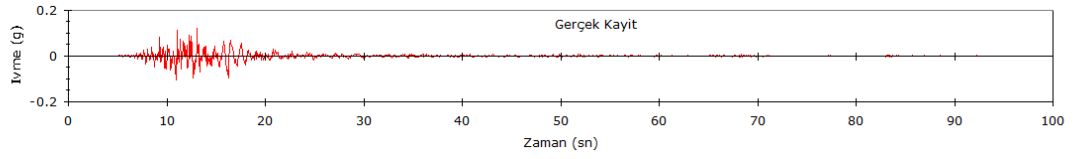
Şekil 3.154: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



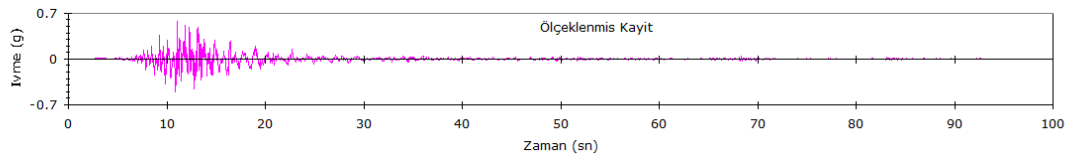
Şekil 3.155: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



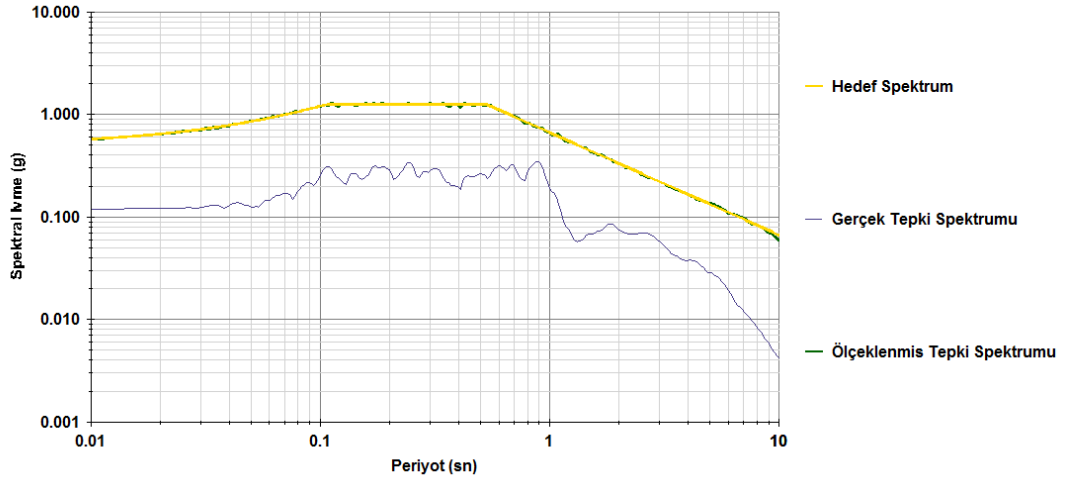
Şekil 3.156: NGA-459 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



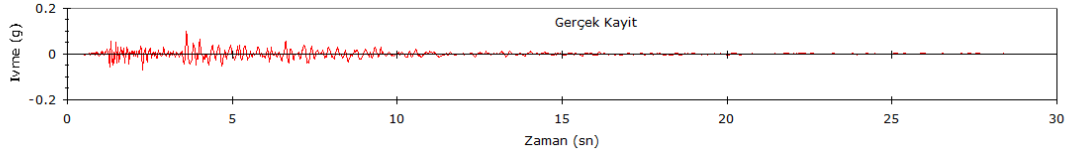
Şekil 3.157: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait gerçek ivme kaydı.



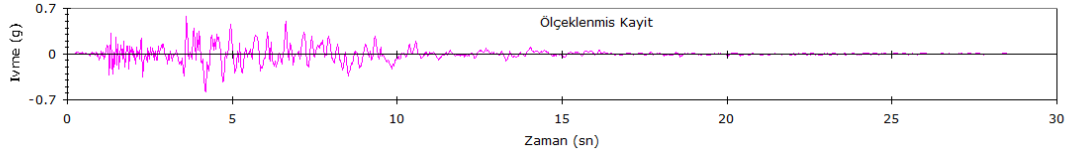
Şekil 3.158: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



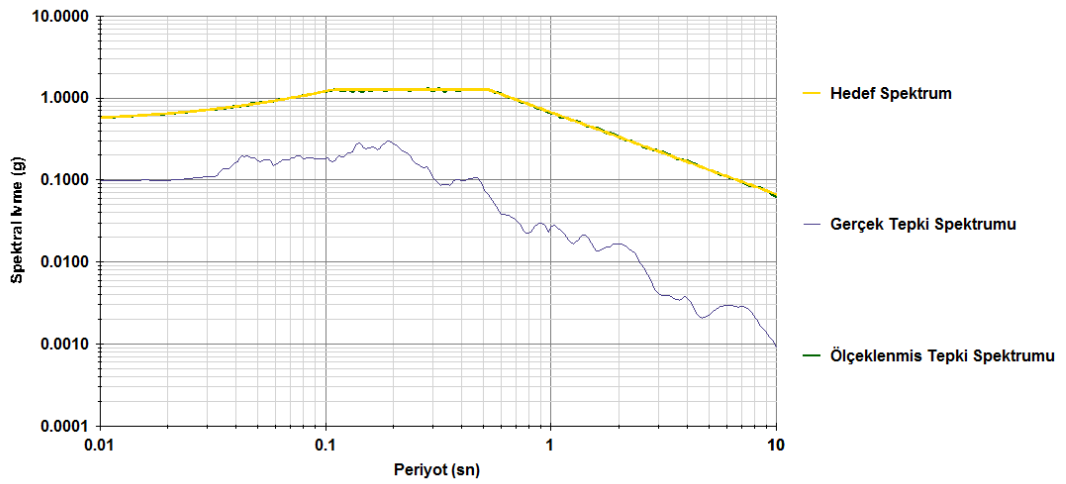
Şekil 3.159: NGA-2739 no'lu Chi-Chi, Taiwan depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



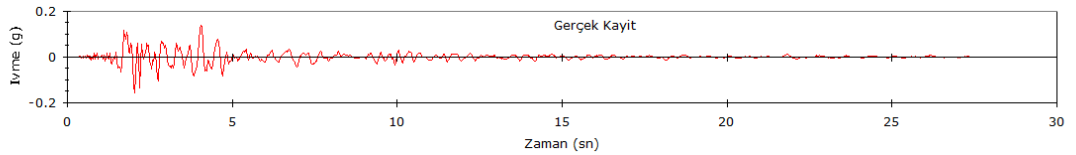
Şekil 3.160: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait gerçek ivme kaydı.



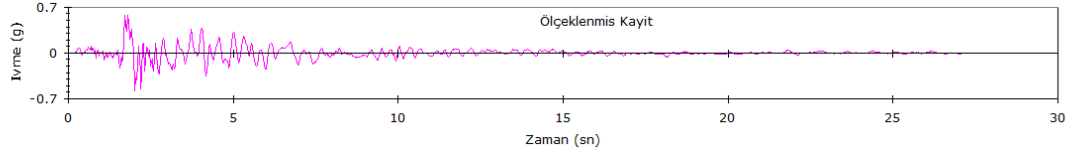
Şekil 3.161: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



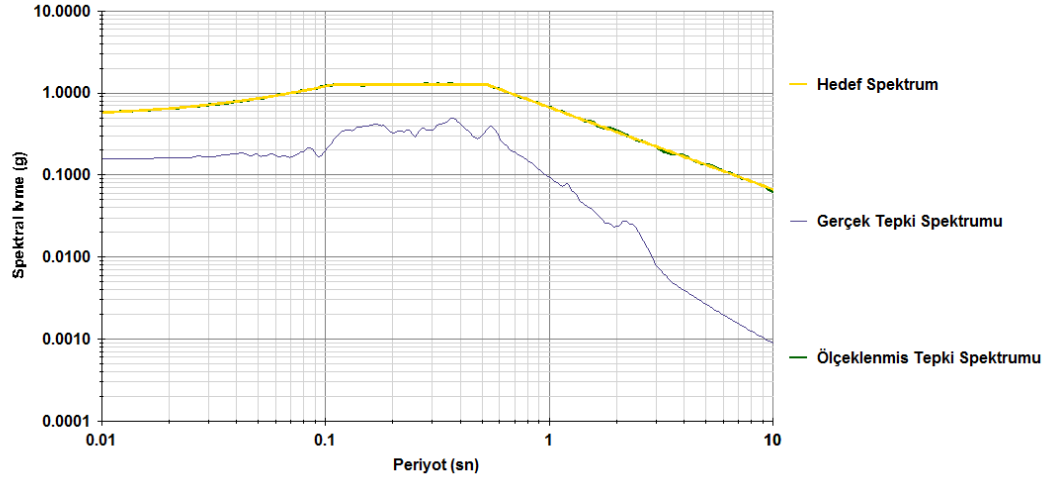
Şekil 3.162: NGA-455 no'lu Morgan Hill depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



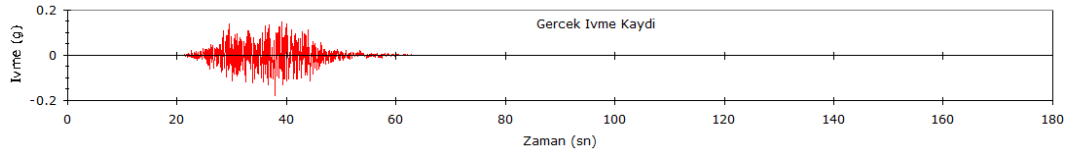
Şekil 3.163: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait gerçek ivme kaydı.



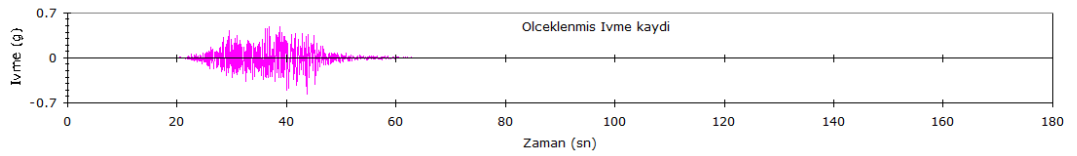
Şekil 3.164: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ivme kaydı



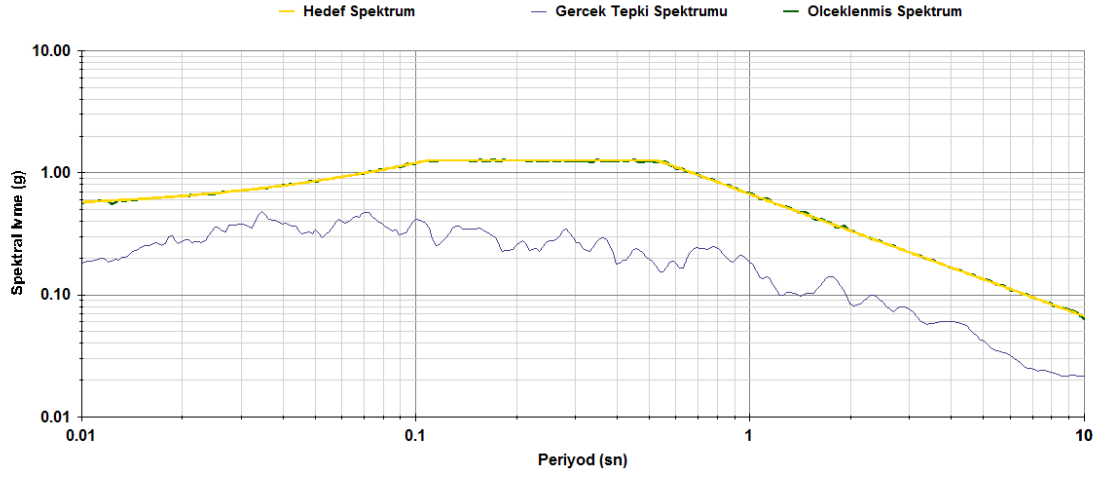
Şekil 3.165: NGA-145 no'lu Coyote Lake depremine ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



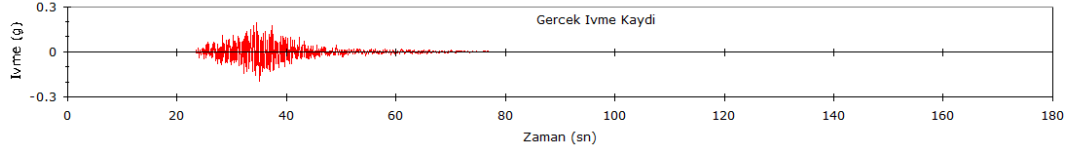
Şekil 3.166: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



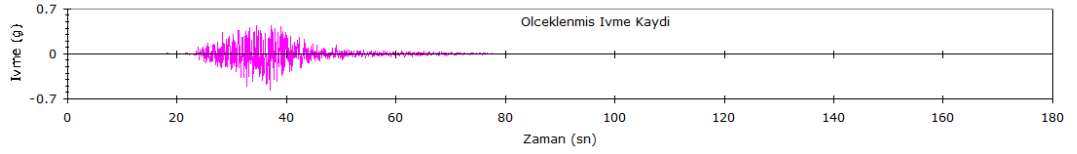
Şekil 3.167: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



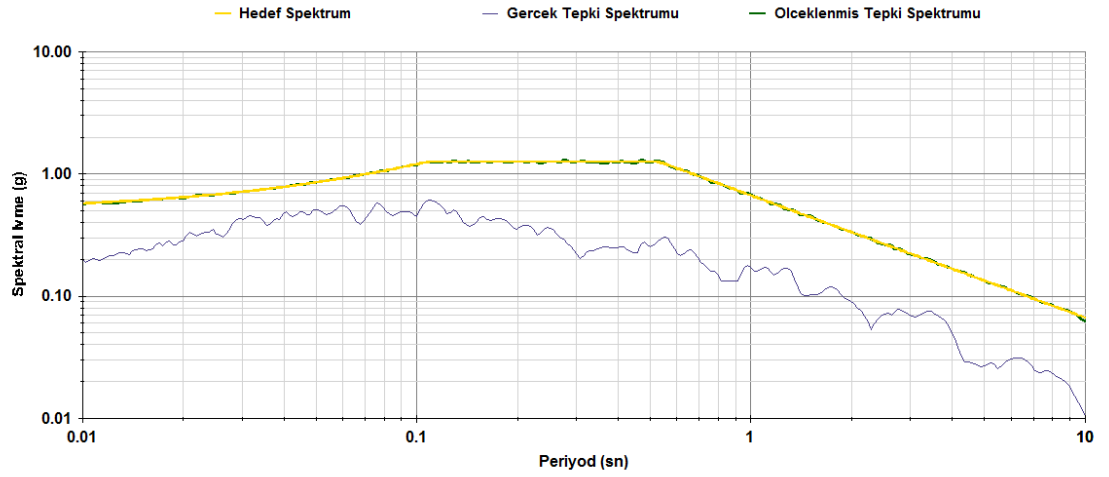
Şekil 3.168: D2-s1 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



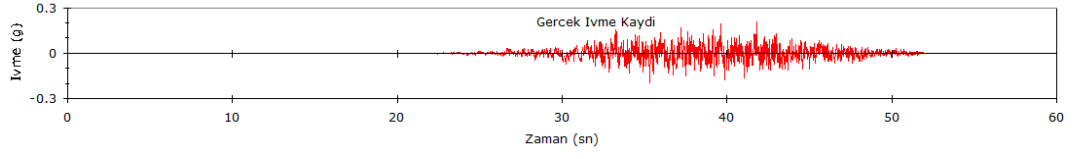
Şekil 3.169: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



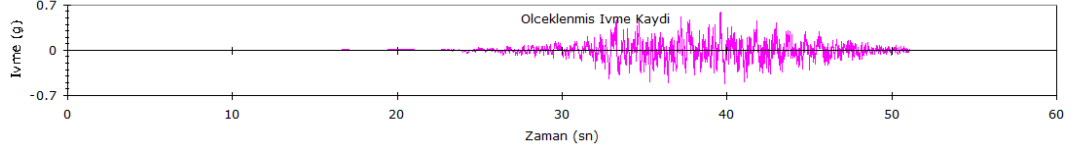
Şekil 3.170: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



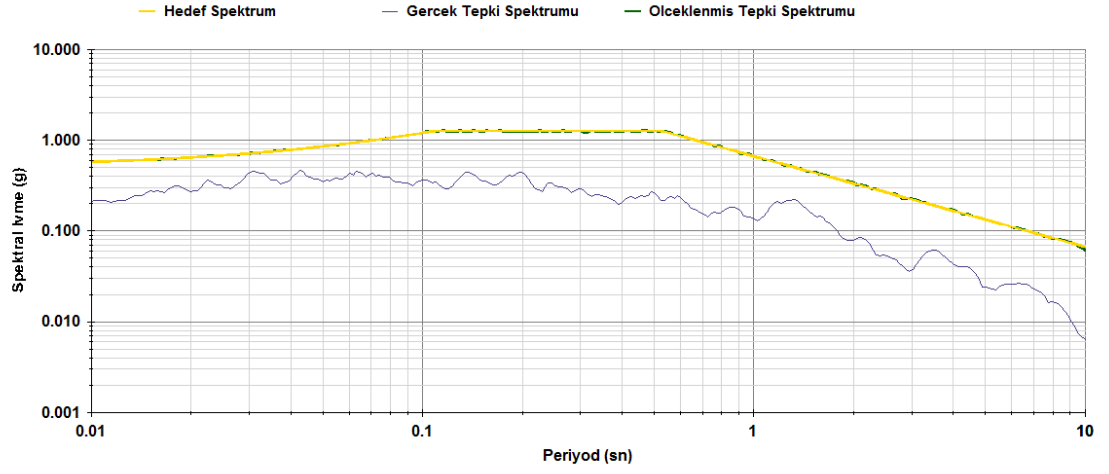
Şekil 3.171: D2-s2 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



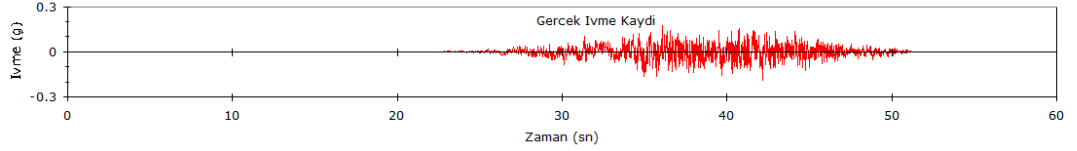
Şekil 3.172: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



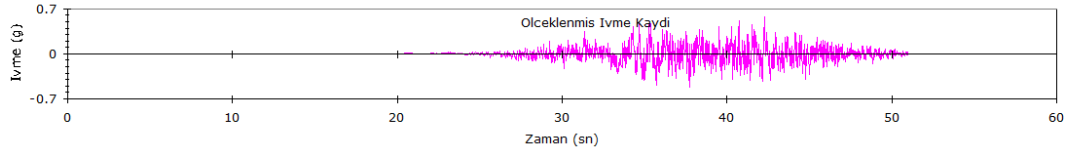
Şekil 3.173: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



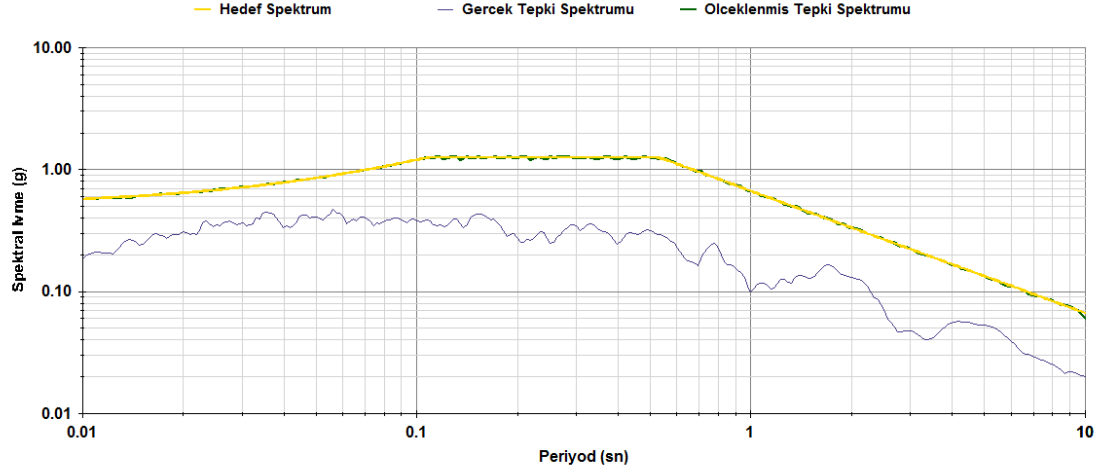
Şekil 3.174: D2-s3 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



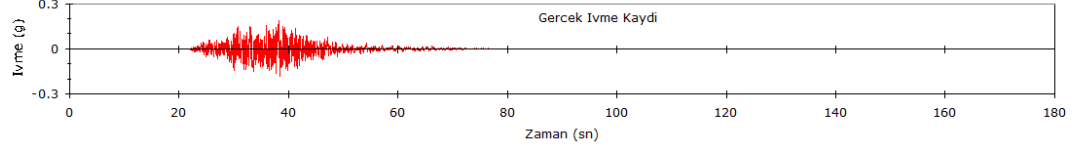
Şekil 3.175: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



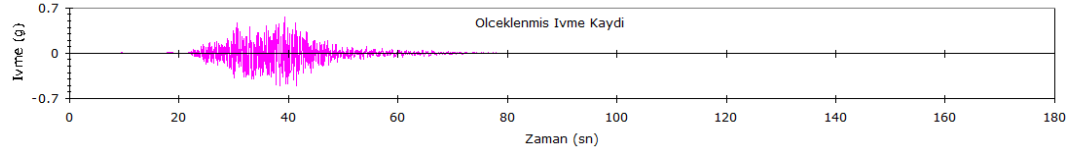
Şekil 3.176: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



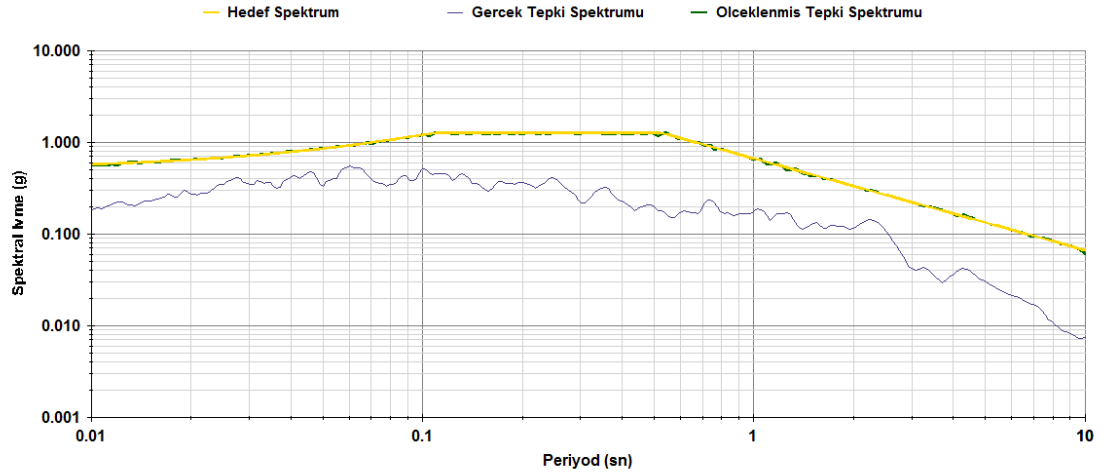
Şekil 3.177: D2-s4 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



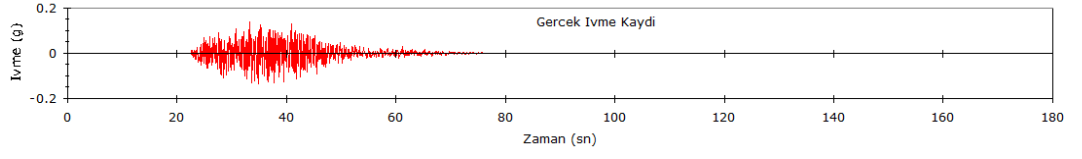
Şekil 3.178: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



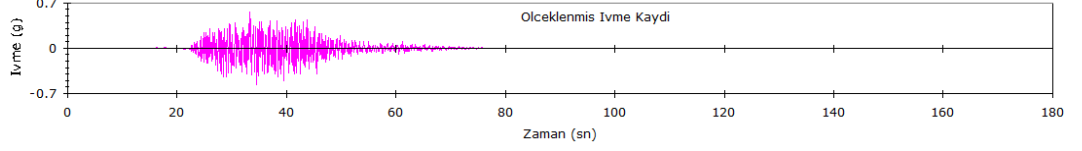
Şekil 3.179: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



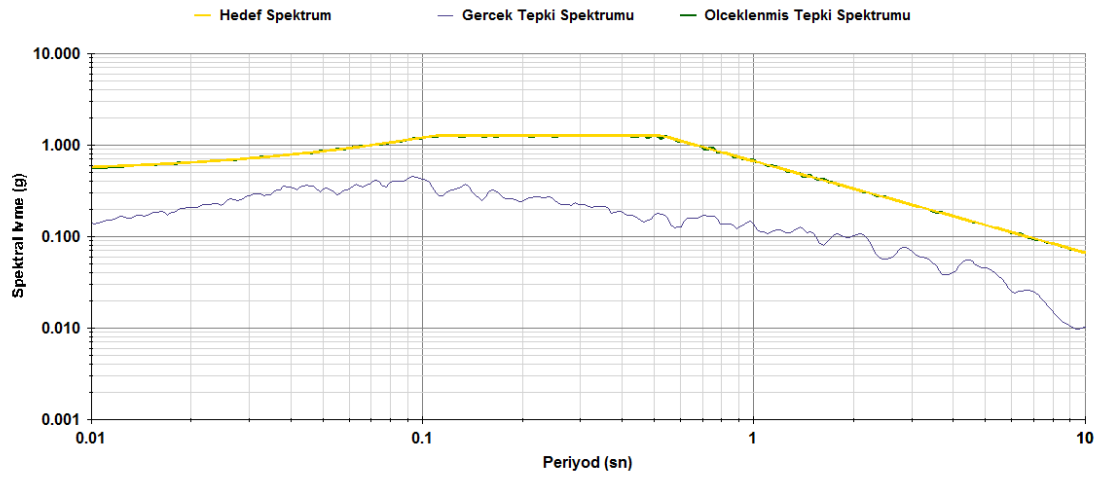
Şekil 3.180: D2-s5 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



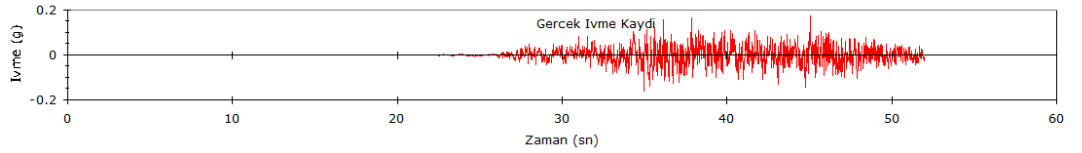
Şekil 3.181: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



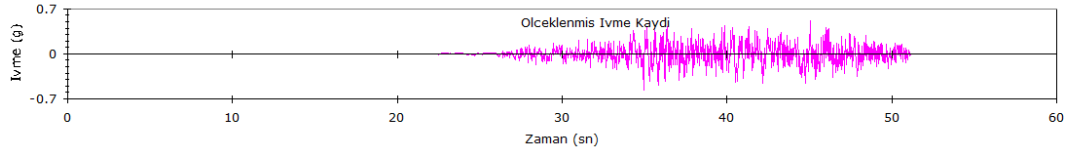
Şekil 3.182: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



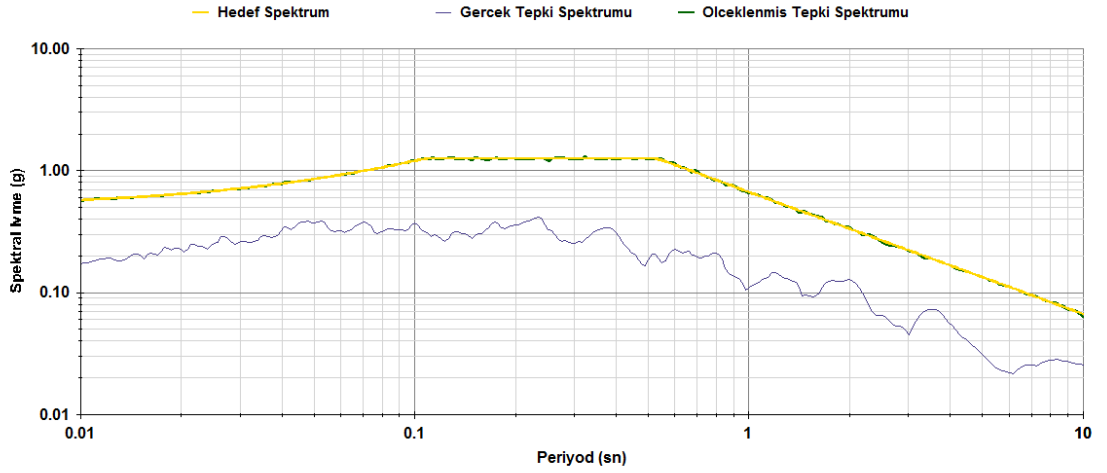
Şekil 3.183: D2-s6 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



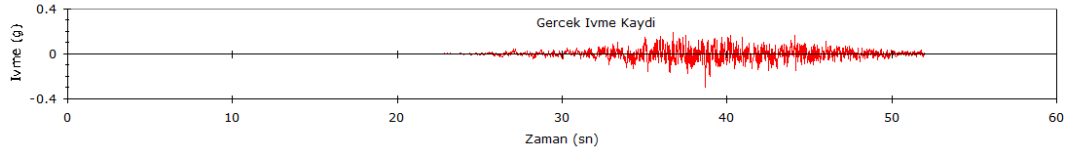
Şekil 3.184: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



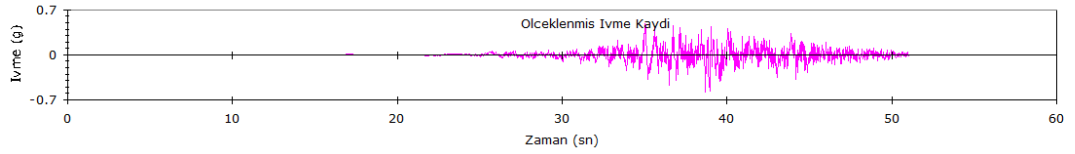
Şekil 3.185: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



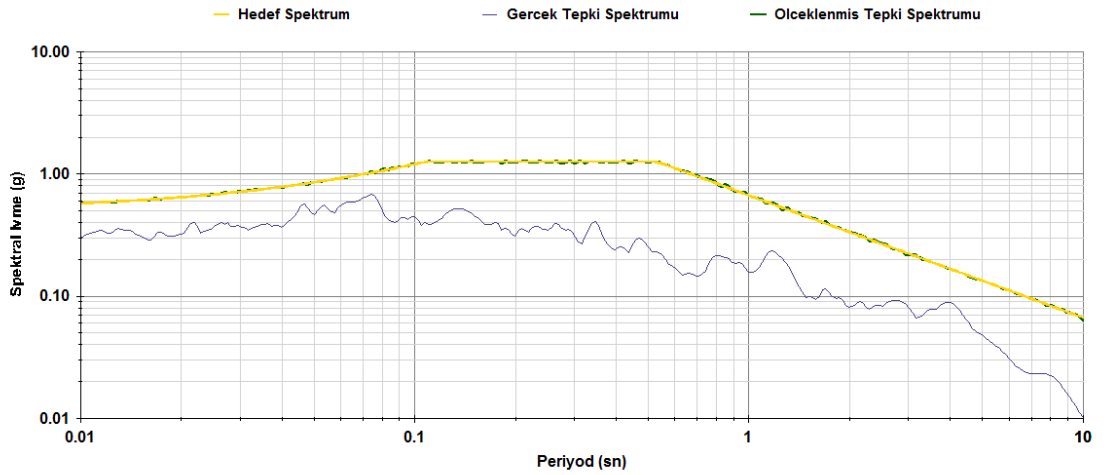
Şekil 3.186: D2-s7 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.



Şekil 3.187: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait gerçek ivme kaydı.



Şekil 3.188: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ivme kaydı.



Şekil 3.189: D2-s8 no'lu senaryo depreme ait ölçeklenmiş ve gerçek tepki spektrumu.

3.6. PLAXIS^{2D} YAZILIMI İLE DİNAMİK ANALİZ

PLAXIS özellikle Geoteknik Mühendisliği projelerinde deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXIS dinamik analiz modülü

ile zemindeki titreşim etkileri analiz edilebilmektedir. Dinamik yükün frekansı ortamın doğal frekansı düzeyinde veya daha fazla olduğunda titreşimlerin etkileri dinamik analizle hesaplanmak zorundadır. Düşük frekanslı titreşimler pseudo-statik analizle (eşdeğer statik analiz) hesaplanabilmektedir. Zemin yapısının dinamik davranışını modellerken, zemin altının eylemsizliği ve yükün zaman bağımlılığı dikkate alınır. Ayrıca, malzeme ve geometrinin sönümü de hesaba katılmalıdır. Dinamik etkilerin simülasyonu için, başlangıçta doğrusal-elastik modelden faydalanılabilir. Titreşimler çoğunlukla 3-D karakteristiklere sahip olmalarına rağmen, PLAXIS Professional Versiyon 8 de, dinamik model düzlem gerilme ve eksenel simetri koşulları ile sınırlıdır. PLAXIS i kullanarak zemin-yapı etkileşimini simüle etmek mümkündür. Burada bir titreşim kaynağının onu çevreleyen zemin üzerindeki etkisi çalışılır. Problemin üç boyutlu doğası gereği eksenel simetrik bir model kullanılır. Visköz etkiler sebebiyle oluşan sönümlenme etkisi Rayleigh sönümü vasıtasıyla dikkate alınır. Ayrıca eksenel simetri sebebiyle oluşan “geometrik sönüm” titreşimi azaltmada önemli olabilir. Gerçekte olmayan model sınırlarında dalga yansımalarından kaçınmak için, sınırlara ulaşan dalgaları absorbe edici özel koşullar uygulanmalıdır.

PLAXIS de bir dinamik analiz için çalışma sırası açıklamada takip edilir;

Girdi (Input):

- Genel ayarlar (General settings)
- Yükler ve Sınır koşulları
- Öntanımlı deplasmanlar
- Dinamik yük sistemi düzenleme
- Absorbe edici sınırlar
- Elastik parametreler
- Malzeme sönümü

Hesaplamalar (Calculations):

- Dinamik analizi seçim
- Parametreler
- Çarpanlar

Çıktı (Output):

- Animasyonlar
- Hızlar

- İvmeler

Eğriler (Curves):

- Hızlar
- İvmeler
- Girdi ve tepki spektrumu (response spectra)

Deprem problemleri;

Deprem problemlerinde dinamik yük kaynağı çoğunlukla modelin tabanı boyunca uygulanır ve yukarı doğru yayılan kayma dalgalarını netice verir. Bu tür problemler genellikle bir düzlem şekil değiştirme modeli kullanılarak simüle edilir. Düzlem gerilme modelinin geometrik sönümü içermediğine dikkat edin. Bu yüzden gerçekçi sonuçları elde etmek için malzeme sönümünü dahil etmek gerekli olabilir.

Yerçekimi ivmesi;

Varsayılan olarak, yerçekimi ivmesi $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ olarak ayarlıdır. Bu değer birim hacim ağırlığı γ dan $\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$ yu hesaplamak için kullanılır ($\rho = \gamma / g$).

Yükler ve sınır koşulları;

Dinamik analiz için geometri modelini oluşturduktan sonra, yükler ve sınır koşulları uygulanır. *Loads* menüsü bir dinamik analiz için özel koşulları tanıtmak için seçenekler içerir:

- Absorbent boundaries – Absorbe edici (yutucu) sınırlar
- Prescribed displacements - Öntanımlı deplasmanlar
- External loads (Disributed and Point loads) – Harici yükler (Yayılı ve Tekil yükler)
- Set dynamic load system – Dinamik yük sistemini ayarla
- Standard boundary conditions – Standart sınır koşulları

Standart sınırlar statik problem için kullanıldığı gibi dinamik hesaplamalar için de kullanılabilir. Deprem yükleme için standart sınır koşullarını oluşturmak için PLAXIS uygun bir varsayılan ayarlara sahiptir. Bu seçenek *Loads* menüsünden seçilebilir. *Standard eathquake boundaries* seçilmesi durumunda program otomatik olarak sağ ve sol düşey sınırlarda absorbe edici sınırlar ve tabanda ise $u_x=0.01 \text{ m}$ ve $u_y=0.00 \text{ m}$ olarak uygular.

Model parametreleri;

Bir dinamik analiz prensipte ek model parametreleri gerektirmez. Ancak, dalga hızlarını tanımlamak ve malzeme sönümünü dahil etmek için alternatif ve/veya ek parametreler kullanılabilir.

Dalga hızları V_p ve V_s ;

Malzeme parametreleri *Material properties* penceresinin Parameter sekmesinde tanımlanır. E ve ν elastik parametrelerini girerken, ilgili dalga hızları V_p ve V_s otomatik olarak üretilir, uygun bir birim hakim ağırlığının belirlenmesi sağlanır. Fakat, Mohr-Coulomb ve doğrusal elastik modeller için E ve ν parametrelerine alternatif olarak V_p ve V_s dalga hızlarını girebilirsiniz. O zaman ilgili E ve ν değerleri PLAXIS tarafından hesaplanmaktadır.

Rayleigh alpha (alfa) ve beta;

Bir zemindeki malzeme sönümü genellikle onun viskoz özellikleri, sürtünme ve plastikleşmenin meydana gelmesi sebepleriyle olur. Fakat, PLAXIS de zemin modelleri viskoziteyi o şekilde içermez. Yerine, kütle ve sistemin rijitliğiyle orantılı bir sönüm terimi (Rayleigh sönümü) varsayılır ki, o da şu şekildedir:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (3.5)$$

Burada C sönümü temsil ederken, M kütle, K rijitlik ve α (alfa) ve β (beta) Rayleigh katsayılarıdır.

Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesi;

Bir zemin yapısındaki sönümün, zeminin tepkisinin büyüklüğünü ve şeklini önemli ölçüde etkilediği iyi bilinir. Bununla birlikte, bu alanda oldukça fazla araştırma çalışması da yapılmasına rağmen, sönüm parametrelerini belirlemek için yaygın kabul edilmiş bir prosedürün geliştirilmesi konusunda çok az başarı sağlanmıştır. Bunun yerine, mühendislik amaçları için, malzeme ve geometrik sönüm için bazı önlemler hesaba katılır. Yaygın kullanılan bir mühendislik parametresi ξ sönüm oranıdır. Sonlu eleman yönteminde, Rayleigh sönümü, sönümün kütle ve sistemin rijitlik matrisi içinde etkidiğini kabul eden uygun sönüm ölçümlerinden birini oluşturur. Rayleigh alpha (alfa)

sistemin sönümünde kütlenin etkisini belirleyen parametredir. Alpha değeri ne kadar yüksek olursa, düşük frekanslar o kadar fazla sönümlenir. Rayleigh beta ise sistemin sönümünde rijitliğin etkisini belirleyen parametredir. Beta değeri ne kadar yüksek olursa yüksek frekanslar o kadar fazla sönümlenir.

3.7. FLAC^{3D} YAZILIMI İLE DİNAMİK ANALİZİ

FLAC^{3D}, üç boyutlu sürekli bir ortamın statik veya sürekli plastik akma durumunda sayısal analizlerini yapmak amacı ile geliştirilmiş bir sonlu farklar programıdır. FLAC, statik bir problemin çözümünde bile dinamik hareket denklemlerini algoritmasında kullanır. Bunu yapmasının amacı modellenen fiziksel sistem duraysız olsa bile sayısal çözümün duraylı olmasını sağlayabilmektir. Malzemeler üç boyutlu gridlere aktarılan polyhedral elemanlarla ifade edilir. Uygulanan yüklere ve sınır koşullarına göre her eleman öngörülen lineer veya nonlinear gerilme/şekil değiştirme kuralına uygun davranır. Malzeme akıp kabarmalı ve grid deforme olabilir ve tanımlanan malzemeyle beraber yer değiştirebilir. FLAC'ta plastik göçmeyi ve akmayı doğru bir şekilde modelleyebilmek için Lagrangian, hesaplama şeması, karışık-ayırıştırma zonlama tekniği kullanılmaktadır.

FLAC^{3D} 'de çözüm yöntemi şu üç yaklaşımla karakterize edilmektedir:

- (1) sonlu farklar yaklaşımı
- (2) ayırık-model yaklaşımı
- (3) dinamik-çözüm yaklaşımı

Sürekli ortamdaki hareket yasaları, bu yaklaşımlar ile düğüm noktalarındaki Newton yasalarının ayırık formlarına dönüştürülür. Bu şekilde oluşturulan basit diferansiyel denklem sistemi sonrasında nümerik olarak açık bir sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak çözülür.

Sistemdeki en küçük birim eleman tetrahedral, dört köşeli geometrik bir yapıya sahiptir. Bu köşe noktalarında, statik çözüm yöntemindeki en uygun konverjans değeri için gerçek olmayan kütlelerden ziyade gerçek kütleler kullanılmaktadır. Her bir tetrahedral alt-zon dört köşe noktasının her birine, kütlelerinin dörtte biri kadar (zon yoğunluğu ve

alandan hesaplanır) etki eder. Sonuçta, köşe noktası kütlesi daha sonra sekiz-köşeli zon olma durumunda ikiye bölünür. Sonlu-elemanlar terminolojisinde, $FLAC^{3D}$ parçalanmış kütleler ve diyagonal kütle matrisleri kullanır.

$FLAC^{3D}$ sonlu farklar programı sürekli bir üç boyutlu ortamın dengeye ulaşmasını veya kalıcı plastik akmaya maruz kaldığı durumdaki mekanik davranışını nümerik olarak modellemektedir. Ortamın mekaniği genel prensiplerden (şekil değiştirmenin tanımı, hareket kanunları) türetilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan matematiksel ifade, mekanik (stress) ve kinematik (şekil değiştirme oranı, hız) değişkenleri içeren bir dizi kısmi diferansiyel denklemdir. Modele dair bir diğer önemli konu ise, $FLAC^{3D}$ temelde denge durumuna yakın ortamın stress ve deformasyon durumu ile ilgilenmesine karşın hareketlilik denklemlerini de içermesidir.

$FLAC^{3D}$ 'ye **Lagrangian** formülasyonu adapte edilmiştir, ortamdaki bir nokta x_i , u_i , v_i vektör bileşenleri (yer değiştirme, hız, ivme) ile karakterize edilmektedir.

Stres: Ortamın belirtilen bir noktasındaki stress durumu simetrik stress tensörü σ_{ij} ile karakterize edilmektedir. Bir yüzeydeki birim normal (n) ile çekme vektörü (t), *Cauchy'nin* formülü ile verilmektedir (çekme pozitif).

$$t_i = \sigma_{ij} n_j \quad (3.6)$$

Şekil değiştirme ve dönme oranı: Ortamdaki partiküllerin v hızıyla hareket ettiği varsayıldığında, Sonsuz küçük bir zamanda dt , ortam $v_i dt$ dönüşümleriyle belirlenen sonsuz küçüklükte şekil değiştirmelere maruz kalır ve şekil değiştirme-oranı tensörleri şu şekilde yazılabilir;

$$\xi_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} + v_{j,i}) \quad (3.7)$$

Kısmi türevler, mevcut konum vektörü (x)'ne göre alınmaktadır.

Hareket ve Denge denklemi: Momentum prensibinin süreklilik formunun uygulanması *Cauchy'nin* hareket denklemini ortaya çıkarır:

$$\sigma_{ij,j} + \rho b_i = \rho \frac{dv_i}{dt} \quad (3.8)$$

ρ , ortamın birim hacmindeki kütleyi, b birim kütledeki gövde kuvvetini ve dv/dt hızın eleman türevini ifade etmektedir. Bu kanunlar, matematik modelde, ortamdaki temel hacmin, uygulanan kuvvetlerden kaynaklanan hareketini kontrol etmektedir. Belirtmek gerekir ki ortamın statik denge durumunda, ivme $d(v)/dt$ 'si sıfırdır ve aşağıdaki eşitlik dengenin kısmı diferansiyel denklemlerine indirger;

$$\sigma_{ij,j} + \rho b_i = 0 \quad (3.9)$$

FLAC^{3D} açık bir 'ilerleyen-zaman' sonlu farklar çözüm şeması kullanır; her bir zaman adımı için hesaplama sırası şu şekilde özetlenebilir;

- Düğüm noktaları hızlarından yeni şekil değiştirme oranları türetilir.
- Önceki şekil değiştirme oranlarından ve gerilmelerden yeni gerilmeler hesaplamak için temel eşitlikler kullanılır.
- Gerilme ve kuvvetlerden yeni düğüm noktası hızları ve deplasmanları türetmek için, hareket denklemleri çağırılır.

Bu sıra her zaman adımında tekrar edilir ve modeldeki maksimum dengelenmeyen kuvvet görüntülenir. Bu kuvvet sıfıra yaklaştıkça sistem denge durumuna ulaşır veya sıfır olmayan sabit bir değere ulaştığında sistemin bir kısmının veya tamamının, malzemenin kalıcı-durum (steady-state) (plastik) akmasında olduğunu gösterir.

Dinamik çözümde, statik çözüm şemasındaki gibi optimum konverjans (yakınsama) için grid noktalarında simgesel kütleler yerine gerçek kütleler kullanılması dışında, teori aynıdır. Her tetrahedral (dört yüzlü) alt-zonu, kütlelerinin (zon yoğunluğu ve alanından hesaplanan) dörtte birini, ilgili dört grid noktasına atar. İki katman içeren sekiz-köşeli zonların olması durumunda, nihai grid noktaları kütleleri sonrasında ikiye bölünür. Sonlu elemanlar terminolojisinde, FLAC^{3D} toplu kütleler ve bir diyagonal kütle matrisi kullanılır.

Kritik zaman adımı hesaplaması şu şekilde verilmektedir;

$$\Delta t_{crit} = \min \left\{ \frac{v}{C_p A_{max}^f} \right\} \quad (3.10)$$

C_p = p -dalga hızı

V = tetrahedral alt-zon hacmi

A_{max}^f = tetrahedral alt-zonlarıyla bağlantılı maksimum yüzey alanı

Min {} fonksiyonu tüm zonları kapsayarak, yapısal ve arayüz modüllerinden katkı içerir.

0.5 oranında bir güvenlik faktörü kullanılır çünkü yukarıdaki eşitlik kritik zaman adımının yalnızca bir kestirimidir. Böylece, rijitlik-orantılı olmayan sönümlenme kullanıldığında dinamik analizde kullanılan zaman adımı Δt_d 'dir;

$$\Delta t_d = \Delta t_{cric}/2 \quad (3.11)$$

Eğer rijitlik-orantılı sönümlenme kullanılırsa, stabilite için zaman adımı azaltılmalıdır. Belytschko (1983), rijitlik-orantılı sönümlenme etkisini içeren, kritik zaman adımı için bir formül geliştirmiştir;

$$\Delta t_\beta = \left\{ \frac{2}{\omega_{max}} \right\} (\sqrt{1 + \lambda^2} - \lambda) \quad (3.12)$$

ω_{max} , sistemin en yüksek öz frekansıdır ve λ bu frekans değerindeki kritik sönümlemenin oranıdır. Hem ω_{max} hem de λ FLAC^{3D}'da hesaplanır. Hesaplamalar;

$$\omega_{max} = \frac{2}{\Delta \tau d} \quad (3.13)$$

$$\lambda = \frac{0.4\beta}{\Delta \tau d} \quad (3.14)$$

$$\beta = \xi_{min}/\omega_{min} \quad (3.15)$$

ξ_{min} ve ω_{min} , Rayleigh sönümlenme için belirtilen sönümlenme oranı ve açılal frekans değeridir.

Dinamik analiz için, maksimum sabit zaman adımı modeldeki en büyük malzeme rijitliği ve en küçük zon ile belirlenir.

$$G = \rho.Vs^2 \quad (3.16)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.17)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (3.18)$$

$$Vs \left(\frac{m}{sn} \right) = 51.5 \times N^{0.516} \quad \text{İyisan (1996)} \quad (3.19)$$

$$Vp \left(\frac{km}{sn} \right) = 0.9409 + 2.0947.Vs - 0.8206.Vs^2 + 0.2683.Vs^3 - 0.0251.Vs^4$$

$$\text{Brocher (2005b)} \quad (3.20)$$

$$(\varphi) = \sqrt{20 * (N_1)_{60}} + 20 \quad \text{Hatanaka ve Uchida (1996)} \quad (3.21)$$

Eşitliklerde;

φ : İçsel Sürtünme Açısı (Derece)

G : Kayma Modülü (Pa)

ρ : Birim Hacim Ağırlık (Kg/m³)

Vs : Kayma Dalga Hızı (m/sn)

Vp : P-Dalga Hızı (km/sn)

E : Elastisite Modülü (Pa)

K : Bulk Modülü (Pa)

ν : Poisson oranı 'nı ifade etmektedir.

FLAC'da zemini karakterize eden ve özelliklerini tanımlayan birkaç farklı zemin modeli bulunmaktadır. Bunlardan en genel problemlere hitab eden, elastik-mükemmel plastik olarak çalışan Mohr-Coulomb modelidir. Modelin akma kriteri (σ_1 , σ_3) düzleminde ifade edilmektedir (Şekil 3.190). Akma zarfı $f(\sigma_1, \sigma_3) = 0$, Mohr-Coulomb

akma kriteri ($f^s = 0$) ile A noktasından B noktasına tanımlanmaktadır (Eşitlik 3.22) ve $f^t = 0$ formundaki çekme yenilmesi kriteri B noktasından C noktasına Eşitlik 3.23 ile tanımlanmaktadır.

$$f^s = \sigma_1 - \sigma_3 \cdot N_\varphi + 2 \cdot c \cdot \sqrt{N_\varphi} \quad (3.22)$$

$$f^t = \sigma_3 - \sigma^t \quad (3.23)$$

Eşitliklerde;

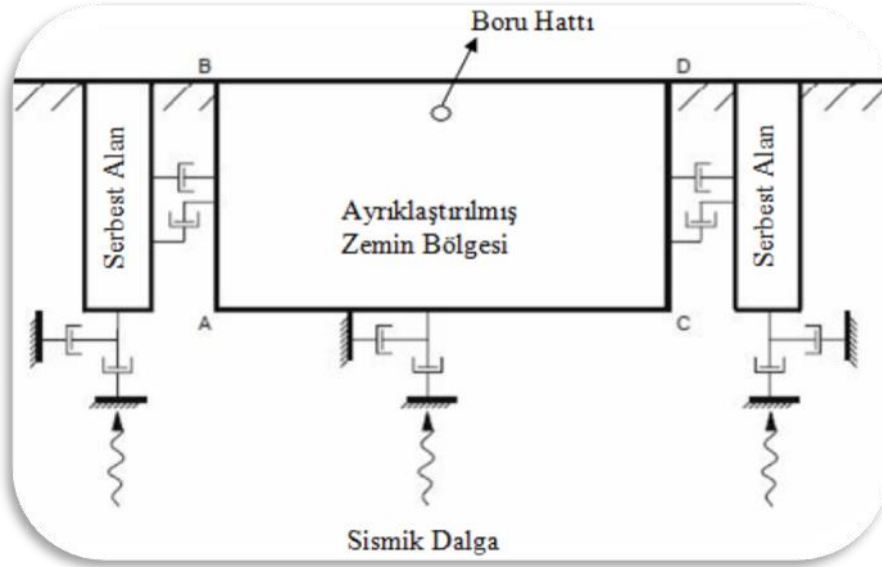
φ : İçsel Sürtünme Açısı

c : kohezyon

σ^t : çekme gerilmesi

$$N_\varphi : \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

Akma fonksiyonu iki fonksiyon yardımıyla ifade edilir; bunlar sırasıyla g^s ve g^t ile gösterilen kayma plastik yenilmesi ve çekme plastik yenilmesidir. Bu yöntem küçük-şekil değiştirme artışları için geçerlidir, her adımda sadece bir akma kuralı ve karşılık gelen plastik akma durumdaki gerilme düzeltilmesi uygulanabilmektedir. Akma durumu başladığı andan itibaren, teoride yumuşama veya pekleşme özelliği gösteren zeminde kohezyon, içsel sürtünme açısı, dilatasyon ve çekme direnci parametrelerinde azalma veya artış gözlemlenirken, Mohr-Coulomb modelinde bu parametreler analiz boyunca sabit kalmaktadır. Bu bakımdan dinamik zemin koşullarında, Lineer bir zemin davranışı sunmaktadır.



Şekil 3.191: Dinamik analiz için kullanılan serbest alan sınır şartları (FLAC 3D, Dynamic Analysis, Manual).

Nümerik modelde sisteme verilen giriş dalgasının frekans içeriği ve dalga hızı, nümerik dalga yayılımının karakteristiğini etkilemektedir. Kuhlemeyer ve Lysmer yaptıkları çalışmada nümerik modelde dalga yayılımının etkilenmemesi için eleman boyutu hakkında öneride bulunmuşlardır. Buna göre matematiksel modelde kullanılacak maksimum eleman boyutunun diğer bir deyişle zon aralıklarının, frekans içeriğinin maksimum değerinin $1/10$ 'undan daha küçük olması istenmektedir. Aksi takdirde nümerik modele verilen giriş dalgasındaki frekans içeriğinde eksilmeler olacak, zemin modeli yüksek frekans içeriklerini okuyamayacaktır.

3.8. KAYITLARIN TASARIMA ETKISINI INCELEMEK İÇİN SEÇİLEN GEOTEKNİK PROBLEMLER

Seçilen ve üretilip ölçeklenen kayıtların geoteknik yapılara etkisini araştırmak için iki farklı model seçilmiştir. Biri Tekirdağ'da bulunan Asya Port liman projesi diğeri ise aynı bölgede yer alan gömülü çelik doğalgaz boru hattına ait bir kesit içeren çalışmadır. Asya Port liman projesi'nin liman kazıkları ön ve arka olmak üzere iki tip sırasıyla çelik ve betonarme olarak tasarlanmıştır, gömülü boru ise çelik silindirik 12 inch çapındadır. Modellere ait ayrıntı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

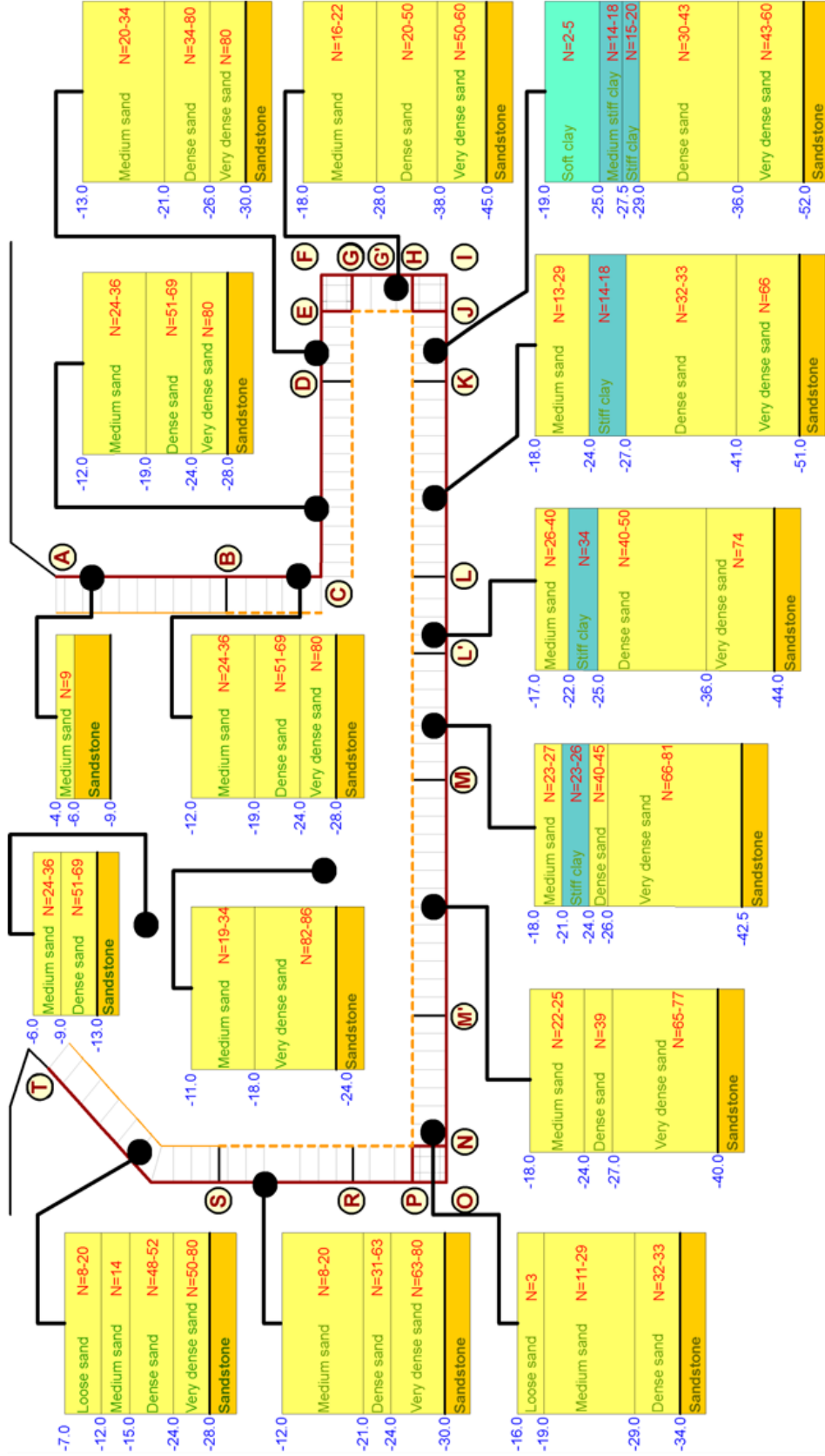
3.8.1. Liman Kazıkları

Çalışma alanı olarak seçilen Tekirdağ bölgesinde mevcut olan Asya Port liman projesi ölçeklenen gerçek ve simülatif ivme kayıtlarını incelemek için seçilen geoteknik problemlerden bir tanesidir. PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak elde edilen dinamik analiz sonuçlarında, ivme kayıt seçiminin ve sayısının tasarımı ne şekilde etkilediği tartışılmıştır.

Asya Port Barbaros, Tekirdağ'da yer almaktadır, Şekil 3.192'de limana ait genel bir görüntü verilmektedir.



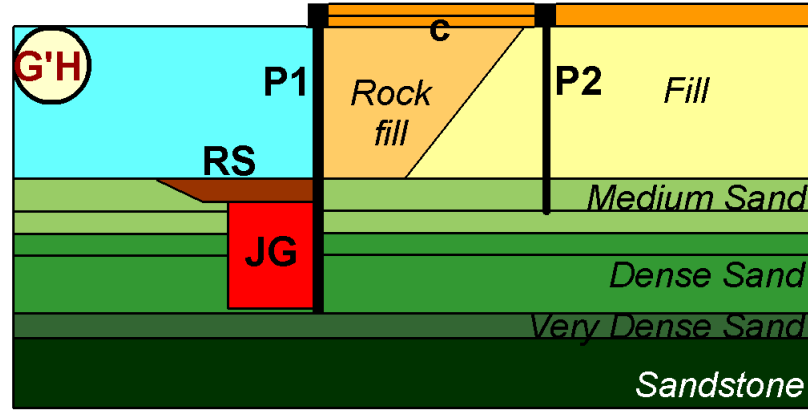
Şekil 3.192: Asya Port limanı, dolgu yapım aşaması.



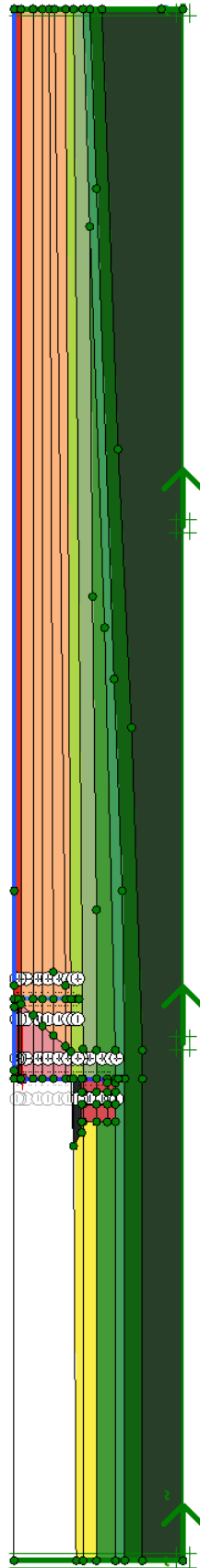
Şekil 3.193: Çalışma alanında yer alan zemin kesitleri şeması

Asya Port liman projesindeki rıhtım duvarları zemin Rıhtım kazığı tasarımı ve ön ve arka tüp şeklinde kazıklardan oluşmaktadır. Ön çelik kazıklar arka betonarme kazıklara çelik kablolarla tutturulmuştur. Limanın stabilitesini arttırmak için, tüp şeklindeki çelik boruların deniz kıyısındaki kısımları çelik kazıklarla desteklenmiştir. Liman tasarımında PIANC, 2001 düzenlemeleri esas alınmıştır buna göre D1 deprem seviyesinde hasar görmemesi, D2 deprem seviyesinde ise onarılabilir düzeyde kalması istenmektedir.

Her bir deprem için kesit kuvvetleri hesaplanmış ve tasarıma etkisi incelenmiştir. ASCE Standartlarındaki (ASCE/SEI 7-05) öneriler baz alınarak, deplasmanlar ve moment değerleri için ortalama ‘dizayn değerleri’ alınmıştır. Aşağıdaki şekilde limanın GH zemin kesitine ait şematik bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 3.194: GH zemin kesiti [JG=Jet-Grout kolonları, RS=Kaya surşarjı, c=çelik kablo].



Şekil 3.195: GH' zemin kesitinin PLAXIS modeli

Zemin kesitinde de görüldüğü üzere doğal zemin tabakalarının modülüsleri gömülmeye bağlı olarak artmaktadır bu sebeple bu tabakalar ‘Küçük şekil değiştirmelerle pekleşen zemin’ olarak tanımlanmaktadır (Hardening Soil with Small Strain Model (HS)). Arka dolguda ise modulus artışı olmadığı için Mohr-Coulomb (MC) modeli kullanılmıştır.

Tablo 3.15: PLAXIS zemin profilinde tanımlanan zemin tabakaları ve kullanılan PLAXIS zemin modeli

Malzeme	Zemin Modeli
Kaya dolgu (su üzerinde)	Mohr-Coulomb
Kaya dolgu (su altında)	Mohr-Coulomb
Dolgu	Mohr-Coulomb
Kaya Sürşarjı (RS)	Mohr-Coulomb
Kompozit zemin (CS) (jet-grout+zemin)	Mohr-Coulomb
Jet-grout kolonları (JG) (Discrete)	Mohr-Coulomb
Kil, silt, kum	HS
Kumtaşı	Mohr-Coulomb

Parameter	Soft clay	Medium stiff clay	Stiff clay	Loose sand	Medium sand-1	Medium sand-2	Dense sand-1	Dense sand-2	Very dense sand
Constitutive Model	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS
Material type	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained
Unit weight, γ (kN/m ³)	18	18.5	19	18.5	19	19.2	19.4	19.6	20.5
Initial void ratio, e_{ini}	1	0.8	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
Permeability coefficient, k (m/day)	0.022	0.022	0.022	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Secant soil modulus, E_{50} (kPa)	10	20	30	35	50	70	100	140	200
Oedometric soil mod., E_{oed} (kPa)	10	20	30	35	50	70	100	140	200
UR soil modulus, E_{ur} (kPa)	30	60	90	105	150	210	300	420	600
Stress dependency coefficient, m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Poisson's ratio for UR, ν_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Reference stress, p^{ref} , kPa	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Failure ratio, R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Cohesion, c (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Friction angle, ϕ (°)	25	27	28	30	32	32	34	34	36
Dilation angle, ψ (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Damping ratio	Rayleigh Damping (Corresponding values are given below)								

Şekil 3.196: Analizde kullanılan dolgu, kompozit zemin ve jet-grout kolonlarının parametreleri

Parameter	Fill (Each layer)	Rock Fill-1 (Above water)	Rock Fill-2 (Below water)	Surcharge Rock (SR)	Composite Soil (CS)	Jet-grout columns (JG)	Sandstone	Liquefiable soil (During Earthquake)
Constitutive Model	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
Material type	Undrained	Drained	Drained	Drained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained
Unit weight, γ (kN/m ³)	19	20	19	20	20	23	22	19
Initial void ratio, e_{ini}	0.7	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.4	0.6
Permeability coefficient, k (m/day)	0.022	8.64	8.64	8.64	0.022	0.022	0.022	0.248
Max. elasticity modulus, E_{max} (MPa)	180	500	250	500	900	2,500	2,500	30
Poisson's ratio	0.35	0.25	0.3	0.25	0.3	0.25	0.25	0.35
Cohesion, c (kPa)	0	0	0	0	300	1,250	1,250	1
Friction angle, ϕ (°)	32	40	35	40	0	0	0	15
Dilation angle, ψ (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
Damping ratio	Rayleigh Damping (Corresponding values are given below)							

Şekil 3.197: Doğal kum zemine ait parametreler.

3.8.2. Gömülü Boru Modeli

Kayıtların geoteknik tasarıma etkisini araştırmak için, depremlerden ciddi şekilde etkilenen ve büyük risk arz eden gömülü çelik boru modellenmiş ve ölçeklenmiş kayıtlar kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Boru hatları depremler sırasında ve sonrasında en büyük risk arzeden (doğalgaz boruları) buna karşın aynı zamanda ihtiyaç duyulan (su şebeke hattı) can-damarı yapısal elemanlardır. Bu nedenle hem deprem sırasında hem de deprem sonrasında hasar görmeleri kabul edilmeyen bir durumdur. Çelik borular, dinamik deprem yükü altında burulma özelliği göstererek yüksek deformasyonlara uğramaktadırlar. Moment değişimi çok düşük oranlarda kalmasına karşın çok yüksek deplasman değerleri veren elemanlardır. Bu nedenle analiz edilen boru modelinde deplasmanlar esas alınmıştır ve deplasman kriteri incelenmiştir. Kayıt sayısının ve kayıt seçiminin deplasmanlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Zemine yerleştirilmiş gömülü çelik borunun dinamik durumdaki davranışları FLAC^{3D} sonlu farklar nümerik analiz yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

Zemin profili kumlu ve çakıllı sert bir zemin olarak belirlenmiş, SPT sayılarından ve zemin kayma dalga hızlarından yararlanılarak, dinamik özellikler belirlenmiştir. Zemin profili sıkı kum, ince daneli kum, çakıl ve kumtaşıdan oluşmaktadır. Zemin profiline ait indeks özellikleri ve mukavemet parametreleri Tablo 3.16’de verilmiştir. Zemine ait diğer özellikler hesaplanırken bölüm 3.6. FLAC3D ile Dinamik Analiz’de anlatılan eşitliklerden faydalanılmıştır.

Hazırlanan nümerik modelin boyutları mümkün olduğunca gerçeğe yakın seçilmiştir. Boru uzunluğu 13 m olacak şekilde çapı 12 inch olan boru hattı, yüzeyden 1.40 m derine yerleştirilmiştir. Boru hattının gömülü bulunduğu zemin kütesinin genişliği 8 m’dir. Ana kaya derinliği 18 m’dir.

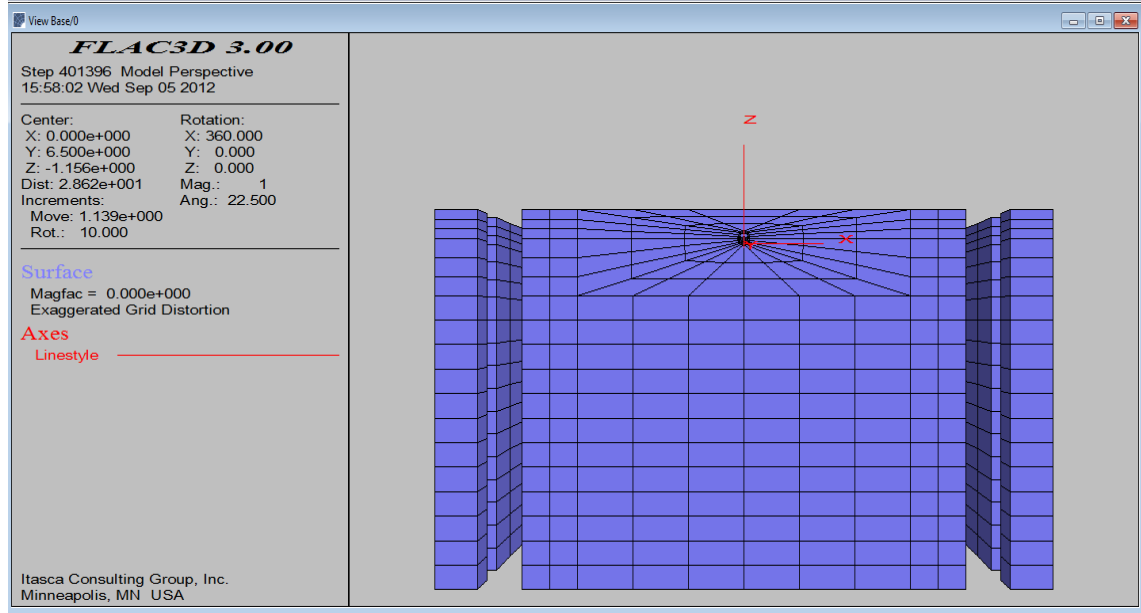
Boru modellenirken, FLAC^{3D} yazılımında tanımlı stres, deplasman ve hız alabilen ‘shell’ eleman kullanılmıştır. Eleman malzemesi tanımlanırken yoğunluğu 7900 kg/m³ olan çelik kullanılmıştır.

Bu çalışmada zemin özelliklerini modelleyebilmek için elastik-mükemmel plastik çalışan bölüm 3.6. FLAC3D ile Dinamik Analiz’de anlatılan Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Problemi doğru çözüme taşımak için öncelikle sınır şartlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sınır şartları olarak sonsuz zemin bölgesini

ayrıklaştırmada zeminin devamlılığını sağlayabilmek için ve sınırlarda dalga yansımalarını önleyebilmek için FLAC 3D içeriğinde bulunan serbest alan (Free-Field) sınır koşulları kullanılmıştır (Şekil 3.198).

Tablo 3.16: Nümerik Modelde Kullanılan Zemin Sınıfı Özellikleri

Zemin türü	Tabaka Kalınlığı (m)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Bulk Modülü (Pa)	Kayma Modülü (Pa)	Kohezyon (Pa)	İçsel Sürtünme Açısı (φ)
Yapay Dolgu	4.00	1800	2.10×10^8	3.61×10^7	0	33
Çakıl	1.50	1900	2.76×10^9	4.16×10^7	0	40.25
İnce-Orta Taneli Kum	5.00	1950	2.92×10^9	5.28×10^7	0	39
Kumtaşı_1	1.50	2000	3.28×10^9	8.13×10^7	40×10^4	41
Kumtaşı_2	1.50	2200	4.94×10^9	2.96×10^8	50×10^4	41
Kumtaşı_3	4.50	2500	6.48×10^9	6.27×10^8	60×10^4	41



Şekil 3.198: Free-Field Sınır Koşullarını Gösteren Modelin Geometrisi

Kuhlemeyer ve Lysmer'in nümerik modelde dalga yayılımının etkilenmemesi için eleman boyutu hakkında yaptıkları çalışma esas alınarak, bu çalışmadaki maksimum zon aralığı 1 m olarak seçilmiştir. Denkleme göre;

$$\Delta l \leq \frac{\lambda}{10}$$

Burada;

λ : dalga boyu

Δl : En büyük zon aralığı

Sistemin doğal salınım modunun temel frekansına bağlı olarak;

$$f = \frac{V_s}{\lambda}$$

$$V_s = \frac{G}{\rho}$$

Burada;

λ : En büyük dalga boyu

V_s : Kayma Dalgası Yayılım Hızı

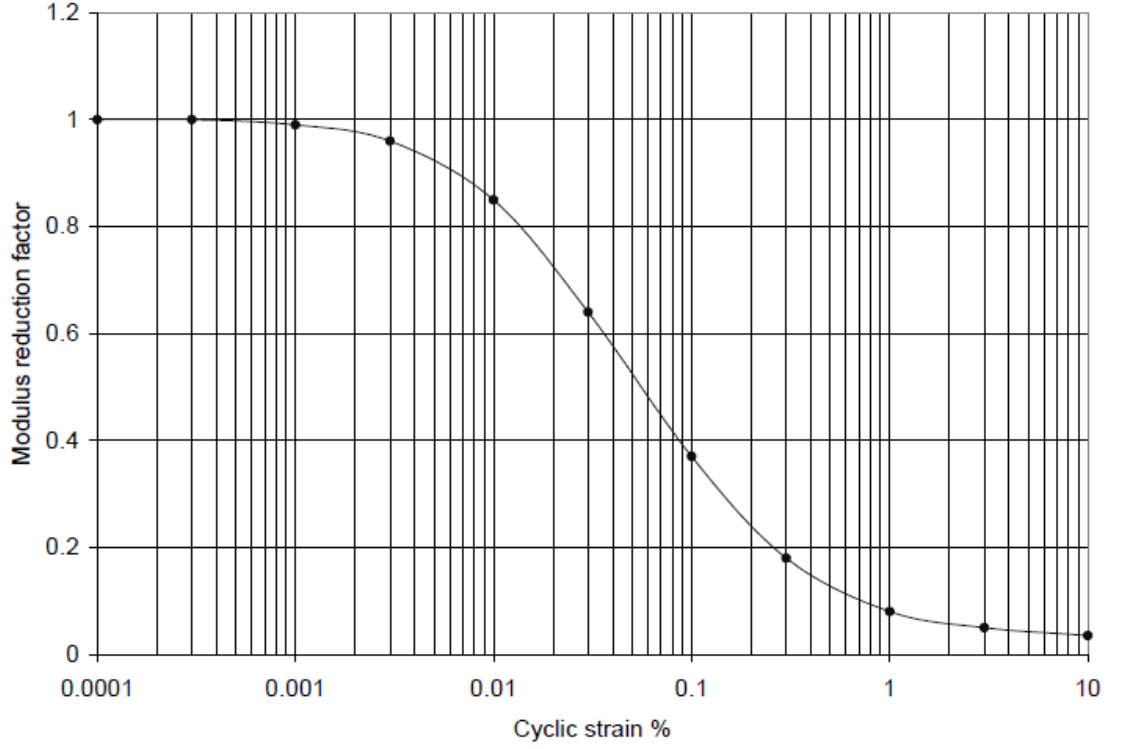
G : Kayma Modülü

ρ : Birim Hacim Ağırlık

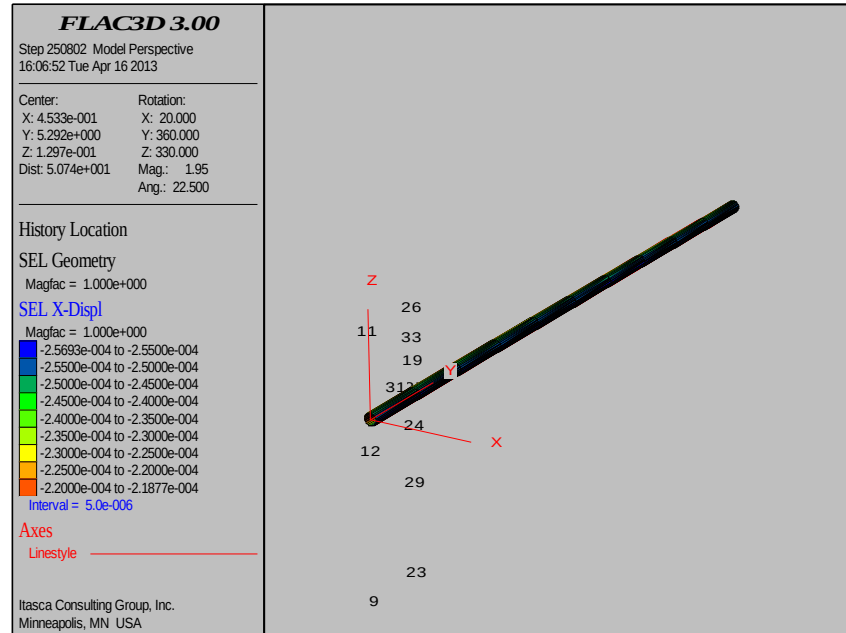
Zemin deprem sırasında tekrarlı yüklere maruz kalır, bu durumda zeminin dinamik özellikleri gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özellikleri diye iki grup olarak tanımlanır. Gerilme-şekil değiştirme özellikleri olarak genellikle dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin ve bunların birim şekil değiştirmeye bağlı olarak değişimlerinin bulunması anlaşılır.

Bu çalışmada zemin sönüm oranı olarak %5 oranında 'Rayleigh Damping' ve her zemin tabakası için farklı olan 'Hysteretic Damping' modülü kullanılmıştır. Yöntemde farklı zemin türleri için deneysel olarak elde edilmiş, maksimum ve minimum şekil değiştirme değerleri girilerek, analiz süresince değişen şekil değiştirme değerlerine karşılık gelen sönüm oranları elde edilmektedir (Şekil 3.199). Analizde yatay yönde (borunun x eksenine paralel) verilen gerçek ve simülatif ivme kayıtları 0.01-25 Hz arası

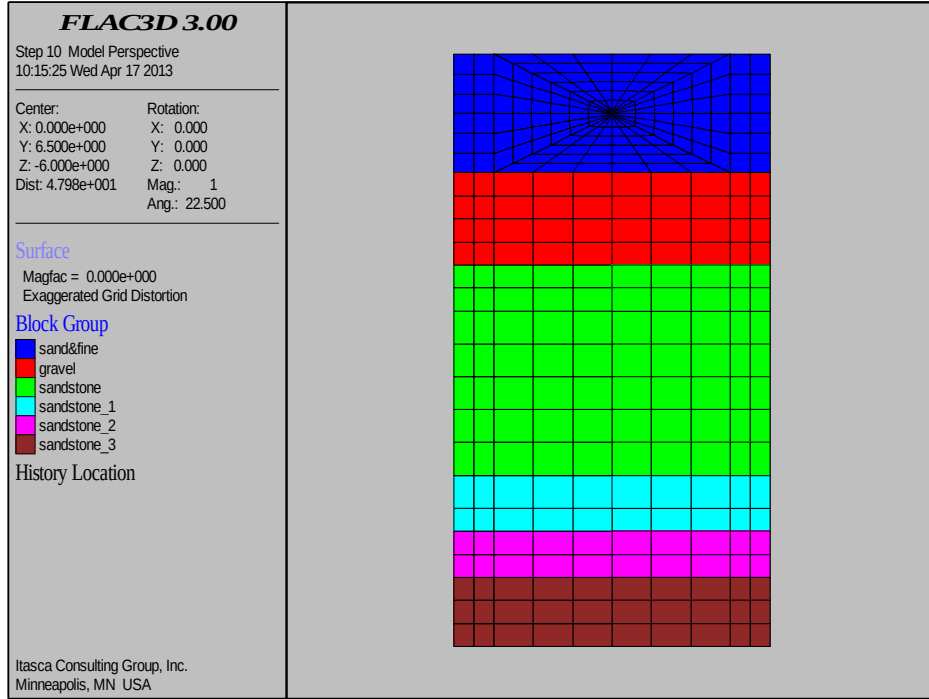
Butterworth filtreleme yapılmıştır. Yer hareketi kayıtlarına ait ivme-zaman ve genlik spektrum grafikleri Bölüm 3’te verilmiştir.



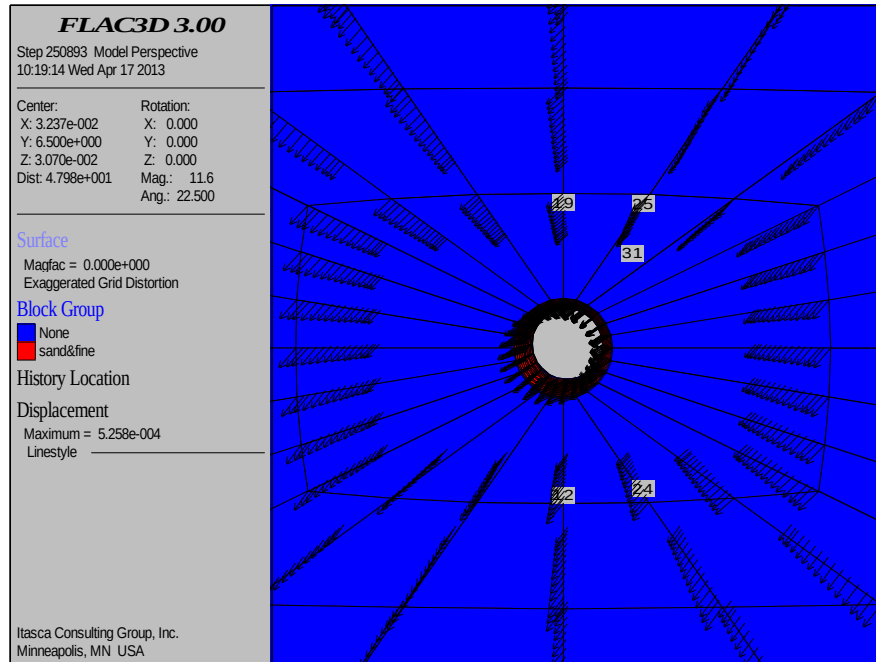
Şekil 3.199: Kum için geliştirilen Modulus azalış eğrisi (Seed & Idriss, 1970). (FLAC3D Manual).



Şekil 3.200: 13 metre uzunluğundaki silindirik borunun eksenel konumu



Şekil 3.201: Zemin sınıfını tanımlayan tabakalar ve üç boyutlu modelin geometrisi.



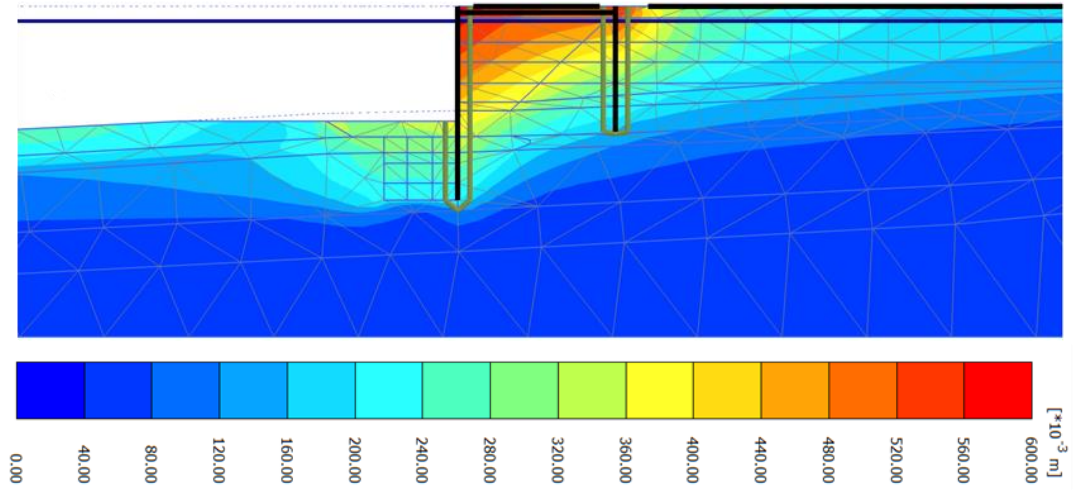
Şekil 3.202: Dinamik analiz sonrasında boru çevresinde ve gömülü bulunduğu zemin kütleğinde meydana gelen deplasman vektörleri.

4. BULGULAR

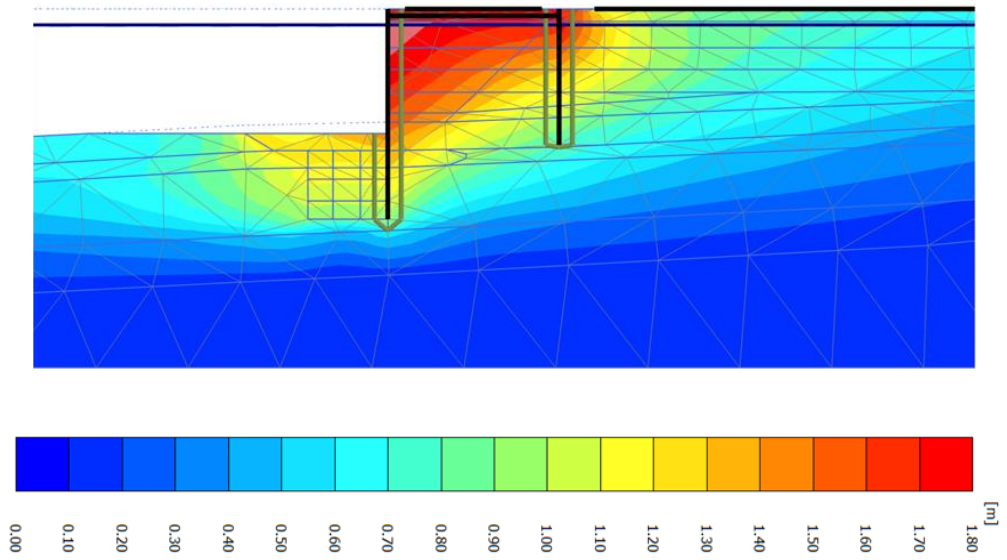
Bu bölümde D1 ve D2 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek ve simülatif kayıtların liman kazıkları tasarımına ve gömülü borularda deplasman kriterine etkisi anlatılmaktadır. Liman kazıkları için yapılan D2 tehlike seviyeli analizde simule edilmiş kayıtlar [0.01-20 Hz] ve [0.01-15 Hz] aralığında filtrelenmiş, toplamda 24 simule edilmiş kayıt ve 17 gerçek kaydın liman kazıkları tasarımına etkisi incelenmiştir. Gömülü boru modeli için ise yalnızca deplasman kriteri incelenmiştir.

4.1. GERÇEK VE SIMULE EDİLMİŞ KAYITLARIN LIMAN KAZIKLARINDA DEPLASMAN VE KESİT TESİRLERİNE ETKİSİ

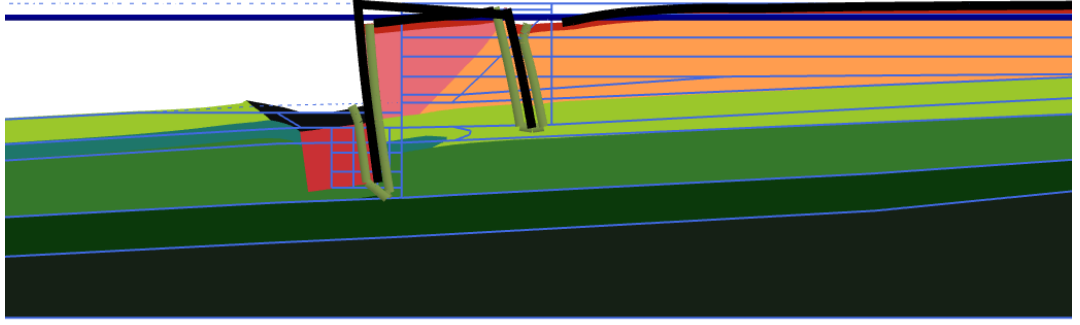
PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı ile liman modelinin GH' kesitinde yapılan analiz sonuçları bu bölümde verilmektedir. Asyaport liman projesi ön kazıklar silindirik çelik arka kazıklar silindirik betonarme olmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Ön çelik kazıklar, 2184/18, 2184/20 ve 2184/24 olmak üzere üç farklı et kalınlığında sırasıyla P1, P2 ve P3 olarak isimlendirilmiştir. 17 gerçek ve 24 simule edilmiş kayıt ile yapılan D1 ve D2 analiz sonuçları tablo olarak deplasman, güvenlik gerilmesi ve dizayn moment değerlerini içerecek şekilde sunulmuştur. Liman kazıkları modelinde D2 deprem tehlike seviyesi için PIANC, 2001(International Association for Navigation) düzenlemeleri kapsamında ön kazıklar için emniyet gerilmesi kriteri, arka kazıklar için ise dizayn moment kriteri incelenmiştir. $\sigma_x = (M/W) + N/A < \sigma_{y.x_{buckling}}$ eşitliğinde verilen emniyet gerilmesi denklemine göre, M ölçülen moment değerini, W mukavemet momentini, N eksenel kuvveti ve A kesit alanını temsil etmektedir, $x_{buckling}$ ise burulmayı temsil eden katsayıdır. Emniyet gerilmesi σ_x 'in $\sigma_{y.x_{buckling}}$ 'den küçük olması beklenmektedir.



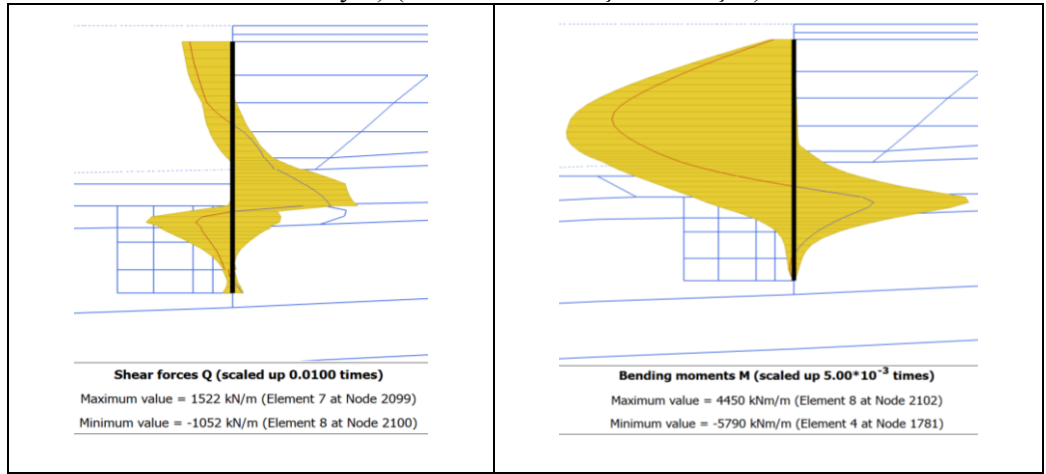
Şekil 4.1: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deplasman kontürleri (D1-r7 kaydı).



Şekil 4.2: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deplasman kontürleri (D2-r7 kaydı)



Şekil 4.3: PLAXIS 2D liman kazıkları model GH' zemin profil kesiti deforme olmuş mesh (D2-r7 kaydı) (5 kat abartılarak çizdirilmiştir).



Şekil 4.4: GH' zemin profil kesitinde yer alan tüp şekilli çelik ön kazıkların deplasman ve kesit tesiri kuvvetleri (D2-r7).

Ön kazıkların D1 tehlike seviyeli analiz sonucuna göre deplasman kriteri;

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
✓ r1	18.0	1401	8361
✓ r2	5.7	1395	4922
✓ r3	3.0	1395	5465
✓ r4	10.0	1395	6199
✓ r5	11.9	1401	6350
✓ r6	10.1	1401	7000
✓ r7	10.0	1401	7063
✓ r8	5.0	1402	5793
✓ r9	7.0	1402	6915
✓ r10	4.0	1402	6208
✓ r11	7.3	1402	6717
✓ r12	5.0	1402	6137
✓ r13	5.4	1402	6542
✓ r14	4.0	1402	5862
✓ r15	9.0	1402	7016
✓ r16	2.5	1402	5303
✓ r17	0.3	1402	4858
✓ s1	9.0	1394	7058
✓ s2	7.3	1394	6877
✓ s3	3.0	1394	7313
✓ s4	5.8	1394	6950
✓ s5	9.7	1394	7276
✓ s6	8.6	1394	7007
✓ s7	7.7	1394	6974
✓ s8	6.0	1394	6392

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine} \text{ (cm)}$		
7.0	<	30.0

Şekil 4.5: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek ve simule edilmiş kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 7.0 cm'dir.

D1 tehlike seviyeli ön kazık analiz sonuçlarında deplasmanlar 30 cm'den küçük olduğu için tasarımı etkileyen bir durum söz konusu değildir. Tasarım kriteri değişmediğinden ötürü yalnızca deplasmanlar incelenmiştir.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
☑ r1	18.0	1401	8361	D	t	s
☑ r2	5.7	1395	4922	mm	mm	m
☑ r3	3.0	1395	5465	2184	20	2.785
☑ r4	10.0	1395	6199			
☑ r5	11.9	1401	6350			
☑ r6	10.1	1401	7000			
☑ r7	10.0	1401	7063			
				Deplasman Kriteri		
				$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)		
				8.5	<	30.0

Şekil 4.6: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 8.5 cm'dir.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
☑ r8	5.0	1402	5793	D	t	s
☑ r9	7.0	1402	6915	mm	mm	m
☑ r10	4.0	1402	6208	2184	20	2.785
☑ r11	7.3	1402	6717			
☑ r12	5.0	1402	6137			
☑ r13	5.4	1402	6542			
☑ r14	4.0	1402	5862			
☑ r15	9.0	1402	7016			
☑ r16	2.5	1402	5303			
☑ r17	0.3	1402	4858			
				Deplasman Kriteri		
				$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)		
				5.0	<	30.0

Şekil 4.7: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen gerçek kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 5.0 cm'dir.

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
✓ s1	9.0	1394	7058	D	t	s
✓ s2	7.3	1394	6877	mm	mm	m
✓ s3	3.0	1394	7313	2184	20	2.785
✓ s4	5.8	1394	6950			
✓ s5	9.7	1394	7276			
✓ s6	8.6	1394	7007			
✓ s7	7.7	1394	6974			
✓ s8	6.0	1394	6392			
				Deplasman Kriteri		
				$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)		
				8.4	<	30.0

Şekil 4.8: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen simule edilmiş kayıtlar ile elde edilen deplasman değerleri, ortalama deplasman değeri 8.4 cm'dir.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	
☒ r1	18.0	1401	8361	Tüp Şeklinde Çelik Kazık
☐ r2	-	-	-	
☐ r3	-	-	-	
☒ r4	10.0	1395	6199	
☒ r5	11.9	1401	6350	
☒ r6	10.1	1401	7000	
☒ r7	10.0	1401	7063	
☐ r8	-	-	-	Deplasman Kriteri
☐ r9	-	-	-	
☐ r10	-	-	-	
☐ r11	-	-	-	
☐ r12	-	-	-	
☐ r13	-	-	-	
☐ r14	-	-	-	
☒ r15	9.0	1402	7016	Deplasman Kriteri
☐ r16	-	-	-	
☐ r17	-	-	-	
☐ s1	-	-	-	
☐ s2	-	-	-	
☐ s3	-	-	-	
☐ s4	-	-	-	
☒ s5	9.7	1394	7276	Deplasman Kriteri
☐ s6	-	-	-	
☐ s7	-	-	-	
☐ s8	-	-	-	

Tüp Şeklinde Çelik Kazık

D	t	s
mm	mm	m

2184 20 2.785

Deplasman Kriteri

 $\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)

11.2 < 30.0

Şekil 4.9: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen maksimum deplasman veren 7 adet gerçek ve simüle edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 11.2 cm'dir.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☒ r1	18.0	1401	8361
☐ r2	-	-	-
☐ r3	-	-	-
☒ r4	10.0	1395	6199
☒ r5	11.9	1401	6350
☒ r6	10.1	1401	7000
☒ r7	10.0	1401	7063
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☐ r10	-	-	-
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☒ r15	9.0	1402	7016
☐ r16	-	-	-
☐ r17	-	-	-
☒ s1	9.0	1394	7058
☐ s2	-	-	-
☐ s3	-	-	-
☐ s4	-	-	-
☒ s5	9.7	1394	7276
☒ s6	8.6	1394	7007
☒ s7	7.7	1394	6974
☐ s8	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık

D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri

$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)

10.4 < 30.0

Şekil 4.10: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen minimum deplasman veren 10 adet gerçek ve simule edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 10.4 cm'dir.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D1 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☐ r2	-	-	-
☒ r3	3.0	1395	5465
☐ r4	-	-	-
☐ r5	-	-	-
☐ r6	-	-	-
☐ r7	-	-	-
☒ r8	5.0	1402	5793
☐ r9	-	-	-
☒ r10	4.0	1402	6208
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☒ r14	4.0	1402	5862
☐ r15	-	-	-
☒ r16	2.5	1402	5303
☒ r17	0.3	1402	4858
☐ s1	-	-	-
☐ s2	-	-	-
☒ s3	3.0	1394	7313
☐ s4	-	-	-
☐ s5	-	-	-
☐ s6	-	-	-
☐ s7	-	-	-
☐ s8	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{MudLine}$ (cm)		
3.1	<	30.0

Şekil 4.11: D1 tehlike tepki spektrumuna ölçeklenen minimum deplasman veren 7 adet gerçek ve simule edilmiş kayıt, ortalama deplasman değeri 3.1 cm'dir.

Mw, Rjb, RMS, ölçekleme katsayısı, ölçeklenmiş PGA ve Vs parametrelerine göre 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri;

Max-Mw-7		Min-Mw-7	
Kayıt No	Mw	Kayıt No	Mw
L1-r3	7.51	L1-r17	5.74
L1-r4	7.51	L1-r16	6.19
L2-r8	7.4	L1-r14	6.19
L1-r9	7.4	L1-r12	6.19
L1-r2	7.28	L1-r13	6.19
L1-r6	7.14	L1-r15	6.2
L1-r5	7.14	L1-r10	6.33
Max-Mw-10		Min-Mw-10	
Kayıt No	Mw	Kayıt No	Mw
L1-r3	7.51	L1-r17	5.74
L1-r4	7.51	L1-r16	6.19
L2-r8	7.4	L1-r14	6.19
L1-r9	7.4	L1-r12	6.19
L1-r2	7.28	L1-r13	6.19
L1-r6	7.14	L1-r15	6.2
L1-r5	7.14	L1-r10	6.33
L1-r7	7.13	L1-r1	6.53
L1-r11	6.9	L1-r11	6.9
L1-r1	6.53	L1-r7	7.13

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-Mw-7	7.5	3.2
7	Min-Mw-7	4.3	2.7
10	Max-Mw-10	8.8	4.2
10	Min-Mw-10	6.6	5

Şekil 4.12: Max Mw manyitüdlü kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Max-Joyner Boore uzaklığı-7		Min-Joyner Boore uzaklığı-7	
Kayıt No	RJB	Kayıt No	RJB
L1-r1	15.2	L1-r12	0.2
L1-r16	14.9	L2-r8	0.63
L1-r13	14.8	L1-r2	2.2
L1-r10	13.8	L1-r4	3.6
L1-r15	12.4	L1-r9	4.87
L1-r5	11.5	L1-r17	5.3
L1-r3	10.6	L1-r11	7.1
Max-Joyner Boore uzaklığı-10		Min-Joyner Boore uzaklığı-10	
Kayıt No	RJB	Kayıt No	RJB
L1-r1	15.2	L1-r12	0.2
L1-r16	14.9	L2-r8	0.63
L1-r13	14.8	L1-r2	2.2
L1-r10	13.8	L1-r4	3.6
L1-r15	12.4	L1-r9	4.87
L1-r5	11.5	L1-r17	5.3
L1-r3	10.6	L1-r11	7.1
L1-r7	10.3	L1-r6	8
L1-r14	9.8	L1-r14	9.8
L1-r6	8	L1-r7	10.3

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-Joyner Boore uzaklığı-7	7.7	5.7
7	Min-Joyner Boore uzaklığı-7	5.8	3
10	Max-Joyner Boore uzaklığı-10	7.8	4.9
10	Min-Joyner Boore uzaklığı-10	6.4	3.1

Şekil 4.13: Max Rjb mesafeli kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Max-RMS-7		Min-RMS-7	
Kayıt No	RMS	Kayıt No	RMS
D1-r1	0.683	D1-r10	0.079
D1-r14	0.683	D1-r13	0.227
D1-r8	0.674	D1-r2	0.239
D1-r4	0.647	D1-r9	0.312
D1-r5	0.646	D1-r17	0.348
D1-r7	0.575	D1-r16	0.348
D1-r15	0.558	D1-r3	0.361

Max-RMS-10		Min-RMS-10	
Kayıt No	RMS	Kayıt No	RMS
D1-r1	0.683	D1-r10	0.079
D1-r14	0.683	D1-r13	0.227
D1-r8	0.674	D1-r2	0.239
D1-r4	0.647	D1-r9	0.312
D1-r5	0.646	D1-r17	0.348
D1-r7	0.575	D1-r16	0.348
D1-r15	0.558	D1-r3	0.361
D1-r6	0.545	D1-r11	0.402
D1-r12	0.446	D1-r12	0.446
D1-r11	0.402	D1-r6	0.545

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-RMS-7	9.7	4.6
7	Min-RMS-7	4	2.3
10	Max-RMS-10	9	4.1
10	Min-RMS-10	5	2.8

Şekil 4.14: Max RMS değerli kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Max-Ölçekleme Katsayısı-7		Min-Ölçekleme Katsayısı-7	
Kayıt No	SF	Kayıt No	SF
D1-r16	5.49	D1-r2	0.68
D1-r13	4.72	D1-r12	0.76
D1-r15	4.5	D1-r10	0.92
D1-r5	4.04	D1-r11	1.07
D1-r6	3.39	D1-r7	1.6
D1-r1	3.19	D1-r14	1.85
D1-r8	3.09	D1-r17	1.93

Max-Ölçekleme Katsayısı-10		Min-Ölçekleme Katsayısı-10	
Kayıt No	SF	Kayıt No	SF
D1-r16	5.49	D1-r2	0.68
D1-r13	4.72	D1-r12	0.76
D1-r15	4.5	D1-r10	0.92
D1-r5	4.04	D1-r11	1.07
D1-r6	3.39	D1-r7	1.6
D1-r1	3.19	D1-r14	1.85
D1-r8	3.09	D1-r17	1.93
D1-r3	2.47	L1-r9	2
D1-r4	2.46	L1-r4	2.46
D1-r9	2	L1-r3	2.47

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-Ölçekleme Katsayısı-7	8.8	5.2
7	Min-Ölçekleme Katsayısı-7	5.2	3
10	Max-Ölçekleme Katsayısı-10	8.2	4.7
10	Min-Ölçekleme Katsayısı-10	5.6	3.1

Şekil 4.15: Max ölçekleme katsayısına (SF) sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Max-Ölçeklenmiş-PGA-7		Min-Ölçeklenmiş-PGA-7	
Kayıt No	S-PGA	Kayıt No	S-PGA
D1-r17	0.2661	D1-r14	0.2486
D1-r12	0.261	D1-r5	0.2506
D1-r13	0.2579	D1-r4	0.2512
D1-r8	0.2574	D1-r7	0.2527
D1-r11	0.2558	D1-r16	0.2539
D1-r6	0.2556	D1-r9	0.2540
D1-r1	0.2555	D1-r3	0.2544

Max-Ölçeklenmiş-PGA-10		Min-Ölçeklenmiş-PGA-10	
Kayıt No	S-PGA	Kayıt No	S-PGA
D1-r17	0.2661	D1-r14	0.2486
D1-r12	0.261	D1-r5	0.2506
D1-r13	0.2579	D1-r4	0.2512
D1-r8	0.2574	D1-r7	0.2527
D1-r11	0.2558	D1-r16	0.2539
D1-r6	0.2556	D1-r9	0.2540
D1-r1	0.2555	D1-r3	0.2544
D1-r10	0.2554	D1-r15	0.255
D1-r2	0.2552	D1-r2	0.2552
D1-r15	0.255	D1-r10	0.2554

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-Ölçeklenmiş-PGA-7	7.3	5.6
7	Min-Ölçeklenmiş-PGA-7	6.9	3.8
10	Max-Ölçeklenmiş-PGA-10	7	4.7
10	Min-Ölçeklenmiş-PGA-10	6.7	3.4

Şekil 4.16: Max ölçeklenmiş PGA değerine sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Max-Vs-7		Min-Vs-7	
Kayıt No	Vs	Kayıt No	Vs
D1-r16	1428	D1-r5	481
D1-r8	826.114	D1-r3	523
D1-r4	811	D1-r17	597.1
D1-r13	729.6	D1-r12	597.1
D1-r9	701.075	D1-r11	609
D1-r7	684.9	D1-r10	659.6
D1-r2	684.9	D1-r1	659.6

Max-Vs-10		Min-Vs-10	
Kayıt No	Vs	Kayıt No	Vs
D1-r16	1428	D1-r5	481
D1-r8	826.114	D1-r3	523
D1-r4	811	D1-r17	597.1
D1-r13	729.6	D1-r12	597.1
D1-r9	701.075	D1-r11	609
D1-r7	684.9	D1-r10	659.6
D1-r2	684.9	D1-r1	659.6
D1-r15	680	D1-r6	659.6
D1-r14	663.3	D1-r14	663.3
D1-r10	659.6	D1-r15	680

Kayıt Sayısı	Parametre	$\Delta d(ort)$	Standart Sapma
7	Max-Vs-7	6.5	2.7
7	Min-Vs-7	7.1	6
10	Max-Vs-10	6.3	2.16
10	Min-Vs-10	7.3	5.2

Şekil 4.17: Max Vs değerine sahip olan kayıtlarla oluşturulan 7’li ve 10’lu gerçek kayıt paketleri.

Tablo 4.1: Gerçek ve simule edilmiş kayıtlarla hazırlanan paketler ve deplasman değerli, maksimum deplasman 9.8 cm'dir.

D1-Çelik Kazık	Paket No	Seçim Kriteri	d(ort)- cm	d(ort)-SD
	K-1	7 max Mw-(Gerçek Kayıt)	7.5	3.2
	K-2	7 min Mw-(Gerçek Kayıt)	4.3	2.7
	K-3	7 max Vs-(Gerçek Kayıt)	6.5	2.7
	K-4	7 min Vs-(Gerçek Kayıt)	7.1	6
	K-5	7 max RMS-(Gerçek Kayıt)	9.7	4.6
	K-6	7 min RMS-(Gerçek Kayıt)	4	2.3
	K-7	7 max SF-(Gerçek Kayıt)	8.8	5.2
	K-8	7 min SF-(Gerçek Kayıt)	5.2	3
	K-9	7 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	7.3	5.6
	K-10	7 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	6.9	3.8
	K-11	7 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	7.7	5.7
	K-12	7 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	5.8	3
	K-13	3 max Mw+4 min Mw	4.3	3
	K-14	3 max Rjb+4 min Rjb	7.4	5.2
	K-15	4 max S-PGA+3 min S-PGA	5.9	3.9
	K-16	8 simule edilmiş kayıt	7.1	2.2
	K-17	ilk 7 gerçek kayıt	9.8	4.7
	K-18	son 10 gerçek kayıt	5	2.5

Tablo 4.1'de verilen gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleri 5 cm'den küçük ve büyük deplasman veren paketler şeklinde sınıflandırıldığında Tablo 4.2 elde edilmektedir. Min moment manyitüdlü-Mw kayıtlar düşük deplasman verirken, max moment manyitüdlü kayıtlar yüksek deplasman vermektedir. Max RMS değerli kayıtlar yüksek deplasman verirken min RMS değerli kayıtlar düşük deplasman vermektedir.

Tablo 4.2: Deplasman değerlerine göre sınıflandırılan gerçek kayıt paketleri.

D1 Tehlike Seviyeli Çelik Kazık Deplasman Değerleri-Δd (cm)	
≤ 5 cm veren kayıt paketleri	>5 cm veren kayıt paketleri
7 min Mw (Gerçek Kayıt)	7 max Mw (Gerçek Kayıt)
7 min RMS (Gerçek Kayıt)	7 max RMS (Gerçek Kayıt)²
3 max Mw+4 min Mw Gerçek Kayıt	3 max Rjb+4 min Rjb (Gerçek Kayıt)
Son 10 gerçek kayıt	İlk 7 gerçek kayıt

Ön kazıkların D2 tehlike seviyeli analiz sonucuna göre güvenlik gerilmesi değişimi;

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☒ r1	91.4	1276	7000
☒ r2	17.8	1116	4450
☒ r3	12.7	1153	5162
☒ r4	29.7	1166	5615
☒ r5	44.2	1138	5150
☒ r6	43.4	1201	5573
☒ r7	46.0	1220	5385
☒ r8	38.9	1246	5733
☒ r9	29.6	1127	6232
☒ r10	21.0	1142	5456
☒ r11	28.9	1140	6373
☒ r12	8.3	1091	4736
☒ r13	15.7	1081	5754
☒ r14	20.3	1131	5973
☒ r15	31.4	1164	5507
☒ r16	17.0	1166	5347
☒ r17	30.9	1129	6139
☒ s1[0-25Hz]	64.1	1228	6412
☒ s2[0-25Hz]	52.7	1259	6152
☒ s3[0-25Hz]	43.0	1210	6839
☒ s4[0-25Hz]	37.5	1170	5634
☒ s5[0-25Hz]	59.8	1264	6420
☒ s6[0-25Hz]	23.1	1234	6243
☒ s7[0-25Hz]	50.4	1226	6567
☒ s8[0-25Hz]	45.8	1253	6609
☒ s9[0-20Hz]	56.4	1227	6440
☒ s10[0-20Hz]	79.3	1326	6457
☒ s11[0-20Hz]	37.7	1202	6210
☒ s12[0-20Hz]	47.4	1218	5711
☒ s13[0-20Hz]	49.0	1203	5286
☒ s14[0-20Hz]	37.7	1222	6339
☒ s15[0-20Hz]	37.7	1227	6473
☒ s16[0-20Hz]	50.9	1215	6677
☒ s17[0-15Hz]	56.7	1228	6446
☒ s18[0-15Hz]	55.8	1325	6458
☒ s19[0-15Hz]	37.8	1202	6212
☒ s20[0-15Hz]	47.4	1218	5713
☒ s21[0-15Hz]	48.9	1205	5290
☒ s22[0-15Hz]	38.2	1223	6339
☒ s23[0-15Hz]	37.8	1227	6473
☒ s24[0-15Hz]	50.8	1217	6668

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
40.8	<	109

Dizayn Değerleri	
N_d	M_d
kN	kNm
3,343	16,686

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
247	< 264

Şekil 4.18: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre tüm kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 247 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☒ r1	91.4	1276	7000
☒ r2	17.8	1116	4450
☒ r3	12.7	1153	5162
☒ r4	29.7	1166	5615
☒ r5	44.2	1138	5150
☒ r6	43.4	1201	5573
☒ r7	46.0	1220	5385
☒ r8	38.9	1246	5733
☒ r9	29.6	1127	6232
☒ r10	21.0	1142	5456
☒ r11	28.9	1140	6373
☒ r12	8.3	1091	4736
☒ r13	15.7	1081	5754
☒ r14	20.3	1131	5973
☒ r15	31.4	1164	5507
☒ r16	17.0	1166	5347
☒ r17	30.9	1129	6139
☐ s1[0-25Hz]	-	-	-
☐ s2[0-25Hz]	-	-	-
☐ s3[0-25Hz]	-	-	-
☐ s4[0-25Hz]	-	-	-
☐ s5[0-25Hz]	-	-	-
☐ s6[0-25Hz]	-	-	-
☐ s7[0-25Hz]	-	-	-
☐ s8[0-25Hz]	-	-	-
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
31.0	<	109

Dizayn Değerleri	
N _d	M _d
kN	kNm
3,225	15,659

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
233	< 264

Şekil 4.19: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre sadece gerçek kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 233Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
☐ r1	-	-	-	D	t	s
☐ r2	-	-	-	mm	mm	m
☐ r3	-	-	-	2184	20	2.785
☐ r4	-	-	-	Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
☐ r5	-	-	-			
☐ r6	-	-	-			
☐ r7	-	-	-			
☐ r8	-	-	-			
☐ r9	-	-	-			
☐ r10	-	-	-			
☐ r11	-	-	-			
☐ r12	-	-	-			
☐ r13	-	-	-	$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
☐ r14	-	-	-			
☐ r15	-	-	-	47.1	<	109
☐ r16	-	-	-	Dizayn Değerleri		
☐ r17	-	-	-			
☒ s1[0-25Hz]	64.1	1228	6412	N _d	M _d	
☒ s2[0-25Hz]	52.7	1259	6152	kN	kNm	
☒ s3[0-25Hz]	43.0	1210	6839	3,427	17,711	
☒ s4[0-25Hz]	37.5	1170	5634	Yapısal Kontrol		
☒ s5[0-25Hz]	59.8	1264	6420			
☒ s6[0-25Hz]	23.1	1234	6243			
☒ s7[0-25Hz]	50.4	1226	6567			
☒ s8[0-25Hz]	45.8	1253	6609			
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-	σ_x	$\sigma_{x,rd}$	
				MPa	MPa	
				261	<	264

Şekil 4.20: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre filtrelenmemiş simule edilen kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 261 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☐ r2	-	-	-
☐ r3	-	-	-
☐ r4	-	-	-
☐ r5	-	-	-
☐ r6	-	-	-
☐ r7	-	-	-
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☐ r10	-	-	-
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☐ r15	-	-	-
☐ r16	-	-	-
☐ r17	-	-	-
☒ s1[0-25Hz]	64.1	1228	6412
☒ s2[0-25Hz]	52.7	1259	6152
☒ s3[0-25Hz]	43.0	1210	6839
☒ s4[0-25Hz]	37.5	1170	5634
☒ s5[0-25Hz]	59.8	1264	6420
☒ s6[0-25Hz]	23.1	1234	6243
☒ s7[0-25Hz]	50.4	1226	6567
☒ s8[0-25Hz]	45.8	1253	6609
☒ s9[0-20Hz]	56.4	1227	6440
☒ s10[0-20Hz]	79.3	1326	6457
☒ s11[0-20Hz]	37.7	1202	6210
☒ s12[0-20Hz]	47.4	1218	5711
☒ s13[0-20Hz]	49.0	1203	5286
☒ s14[0-20Hz]	37.7	1222	6339
☒ s15[0-20Hz]	37.7	1227	6473
☒ s16[0-20Hz]	50.9	1215	6677
☒ s17[0-15Hz]	56.7	1228	6446
☒ s18[0-15Hz]	55.8	1325	6458
☒ s19[0-15Hz]	37.8	1202	6212
☒ s20[0-15Hz]	47.4	1218	5713
☒ s21[0-15Hz]	48.9	1205	5290
☒ s22[0-15Hz]	38.2	1223	6339
☒ s23[0-15Hz]	37.8	1227	6473
☒ s24[0-15Hz]	50.8	1217	6668

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	20	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
47.7	<	109

Dizayn Değerleri	
N _d	M _d
kN	kNm
3,427	17,414

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
257	< 264

Şekil 4.21: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilen tüm kayıtların verdiği güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 257 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☒ r2	17.8	1116	4450
☒ r3	12.7	1153	5162
☒ r4	29.7	1166	5615
☒ r5	44.2	1138	5150
☒ r6	43.4	1201	5573
☐ r7	-	-	-
☒ r8	38.9	1246	5733
☒ r9	29.6	1127	6232
☐ r10	-	-	-
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☐ r15	-	-	-
☐ r16	-	-	-
☐ r17	-	-	-
☐ s1[0-25Hz]	-	-	-
☐ s2[0-25Hz]	-	-	-
☐ s3[0-25Hz]	-	-	-
☐ s4[0-25Hz]	-	-	-
☐ s5[0-25Hz]	-	-	-
☐ s6[0-25Hz]	-	-	-
☐ s7[0-25Hz]	-	-	-
☐ s8[0-25Hz]	-	-	-
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	18	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
30.9	<	109

Dizayn Değerleri	
N _d	M _d
kN	kNm
3,241	15,085

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
250	< 256

Şekil 4.22: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet max Mw'lu kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 250 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☐ r2	-	-	-
☐ r3	-	-	-
☐ r4	-	-	-
☐ r5	-	-	-
☐ r6	-	-	-
☐ r7	-	-	-
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☒ r10	21.0	1142	5456
☐ r11	-	-	-
☒ r12	8.3	1091	4736
☒ r13	15.7	1081	5754
☒ r14	20.3	1131	5973
☒ r15	31.4	1164	5507
☒ r16	17.0	1166	5347
☒ r17	30.9	1129	6139
☐ s1[0-25Hz]	-	-	-
☐ s2[0-25Hz]	-	-	-
☐ s3[0-25Hz]	-	-	-
☐ s4[0-25Hz]	-	-	-
☐ s5[0-25Hz]	-	-	-
☐ s6[0-25Hz]	-	-	-
☐ s7[0-25Hz]	-	-	-
☐ s8[0-25Hz]	-	-	-
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	18	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
20.7	<	109

Dizayn Değerleri	
N _d	M _d
kN	kNm
3,145	15,481

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
255	< 256

Şekil 4.23: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet min Mw'lu kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 255 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m
☒ r1	91.4	1276	7000
☒ r2	17.8	1116	4450
☐ r3	-	-	-
☐ r4	-	-	-
☒ r5	44.2	1138	5150
☐ r6	-	-	-
☒ r7	46.0	1220	5385
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☒ r10	21.0	1142	5456
☐ r11	-	-	-
☒ r12	8.3	1091	4736
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☐ r15	-	-	-
☐ r16	-	-	-
☒ r17	30.9	1129	6139
☐ s1[0-25Hz]	-	-	-
☐ s2[0-25Hz]	-	-	-
☐ s3[0-25Hz]	-	-	-
☐ s4[0-25Hz]	-	-	-
☐ s5[0-25Hz]	-	-	-
☐ s6[0-25Hz]	-	-	-
☐ s7[0-25Hz]	-	-	-
☐ s8[0-25Hz]	-	-	-
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-

Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
D	t	s
mm	mm	m
2184	18	2.785

Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
37.1	<	109

Dizayn Değerleri	
N _d	M _d
kN	kNm
3,227	15,244

Yapısal Kontrol	
σ_x	$\sigma_{x,rd}$
MPa	MPa
252	< 256

Şekil 4.24: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet max ölçeklenmiş PGA'li kayıtların güvenlik gerilmesi 18 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 256 Mpa'dır.

ÇELİK KAZIK (ÖN KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	Δd cm	N kN/m	M kNm/m	Tüp Şeklinde Çelik Kazık		
☐ r1	-	-	-	D	t	s
☐ r2	-	-	-	mm	mm	m
☒ r3	12.7	1153	5162	2184	20	2.785
☒ r4	29.7	1166	5615			
☐ r5	-	-	-			
☒ r6	43.4	1201	5573			
☐ r7	-	-	-	Deplasman Kriteri ($\Delta d < D/2$)		
☒ r8	38.9	1246	5733	$\Delta d = d_{TOP} - d_{Bottom}$ (cm)		
☒ r9	29.6	1127	6232	29.1	<	109
☐ r10	-	-	-			
☒ r11	28.9	1140	6373			
☐ r12	-	-	-			
☐ r13	-	-	-	Dizayn Değerleri		
☒ r14	20.3	1131	5973	N _d	M _d	
☐ r15	-	-	-	kN	kNm	
☐ r16	-	-	-	3,248	16,177	
☐ r17	-	-	-			
☐ s1[0-25Hz]	-	-	-	Yapısal Kontrol		
☐ s2[0-25Hz]	-	-	-	σ_x	$\sigma_{x,rd}$	
☐ s3[0-25Hz]	-	-	-	MPa	MPa	
☐ s4[0-25Hz]	-	-	-	240	<	264
☐ s5[0-25Hz]	-	-	-			
☐ s6[0-25Hz]	-	-	-			
☐ s7[0-25Hz]	-	-	-			
☐ s8[0-25Hz]	-	-	-			
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-			

Şekil 4.25: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre 7 adet min ölçeklenmiş PGA'lı kayıtların güvenlik gerilmesi 20 mm'lik et kalınlığına sahip 2184 mm çapındaki çelik kazık için 240 Mpa'dır.

Arka kazıkların D2 tehlike seviyeli analiz sonucuna göre dizayn moment değişimi;

BETONARME KAZIK (ARKA KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	N kN/m	S kN/m	M kNm/m
✓ r1	475	614	2220
✓ r2	434	306	1404
✓ r3	410	411	1661
✓ r4	441	444	1759
✓ r5	417	487	1913
✓ r6	467	452	2061
✓ r7	450	453	1523
✓ r8	464	461	1966
✓ r9	424	401	1592
✓ r10	445	491	1826
✓ r11	431	363	1510
✓ r12	475	423	1615
✓ r13	391	378	1543
✓ r14	450	319	1357
✓ r15	447	415	1798
✓ r16	430	411	1504
✓ r17	480	255	1106
✓ s1[0-25Hz]	441	401	1550
✓ s2[0-25Hz]	452	487	1966
✓ s3[0-25Hz]	458	473	1878
✓ s4[0-25Hz]	448	503	2108
✓ s5[0-25Hz]	476	418	1600
✓ s6[0-25Hz]	481	518	2042
✓ s7[0-25Hz]	454	488	2110
✓ s8[0-25Hz]	465	488	1950
✓ s9[0-20Hz]	458	370	1536
✓ s10[0-20Hz]	449	496	1878
✓ s11[0-20Hz]	460	485	2025
✓ s12[0-20Hz]	449	457	2013
✓ s13[0-20Hz]	471	481	1852
✓ s14[0-20Hz]	461	517	2190
✓ s15[0-20Hz]	442	549	2140
✓ s16[0-20Hz]	471	457	1924
✓ s17[0-15Hz]	458	370	1536
✓ s18[0-15Hz]	450	497	1880
✓ s19[0-15Hz]	461	484	2023
✓ s20[0-15Hz]	449	457	2009
✓ s21[0-15Hz]	471	481	1855
✓ s22[0-15Hz]	462	517	2190
✓ s23[0-15Hz]	442	550	2144
✓ s24[0-15Hz]	471	458	1923

Betornarma Kazık

D mm	s mm	Donatı
1400	2.785	28f32

Yapısal Kontrol

N _{design} kNm	N _{capacity} kNm
1,255	#N/A #N/A

M _{design} kNm	M _{capacity} kNm
5,073	< 5,200

**Donatı- Moment Kapasitesi
(kNm)**

24φ32	D1	4500
26φ32	D2	4900
28φ32	D3	5200
30φ32	D4	5500
32φ32	D5	5900
34φ32	D6	6200

Şekil 4.26: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek ve simule edilmiş kayıtların dizayn momenti D3 donatı tipi için 5073 kNm’dir.

BETONARME KAZIK (ARKA KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	N kN/m	S kN/m	M kNm/m
✓ r1	475	614	2220
✓ r2	434	306	1404
✓ r3	410	411	1661
✓ r4	441	444	1759
✓ r5	417	487	1913
✓ r6	467	452	2061
✓ r7	450	453	1523
✓ r8	464	461	1966
✓ r9	424	401	1592
✓ r10	445	491	1826
✓ r11	431	363	1510
✓ r12	475	423	1615
✓ r13	391	378	1543
✓ r14	450	319	1357
✓ r15	447	415	1798
✓ r16	430	411	1504
✓ r17	480	255	1106
□ s1[0-25Hz]	-	-	-
□ s2[0-25Hz]	-	-	-
□ s3[0-25Hz]	-	-	-
□ s4[0-25Hz]	-	-	-
□ s5[0-25Hz]	-	-	-
□ s6[0-25Hz]	-	-	-
□ s7[0-25Hz]	-	-	-
□ s8[0-25Hz]	-	-	-
□ s9[0-20Hz]	-	-	-
□ s10[0-20Hz]	-	-	-
□ s11[0-20Hz]	-	-	-
□ s12[0-20Hz]	-	-	-
□ s13[0-20Hz]	-	-	-
□ s14[0-20Hz]	-	-	-
□ s15[0-20Hz]	-	-	-
□ s16[0-20Hz]	-	-	-
□ s17[0-15Hz]	-	-	-
□ s18[0-15Hz]	-	-	-
□ s19[0-15Hz]	-	-	-
□ s20[0-15Hz]	-	-	-
□ s21[0-15Hz]	-	-	-
□ s22[0-15Hz]	-	-	-
□ s23[0-15Hz]	-	-	-
□ s24[0-15Hz]	-	-	-

Betornarma Kazık

D mm	s m	Donatı
1400	2.785	26f32

Yapısal Kontrol

N _{design} kNm	N _{capacity} kNm
1,160	#N/A #N/A
M _{design} kNm	M _{capacity} kNm
4,646	< 4,900

**Donatı- Moment Kapasitesi
(kNm)**

24φ32	D1	4500
26φ32	D2	4900
28φ32	D3	5200
30φ32	D4	5500
32φ32	D5	5900
34φ32	D6	6200

Şekil 4.27: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtların dizayn momenti D2 donatı tipi için 4646 kNm'dir.

BETONARME KAZIK (ARKA KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	N kN/m	S kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☐ r2	-	-	-
☐ r3	-	-	-
☐ r4	-	-	-
☐ r5	-	-	-
☐ r6	-	-	-
☐ r7	-	-	-
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☐ r10	-	-	-
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☐ r15	-	-	-
☐ r16	-	-	-
☐ r17	-	-	-
☒ s1[0-25Hz]	441	401	1550
☒ s2[0-25Hz]	452	487	1966
☒ s3[0-25Hz]	458	473	1878
☒ s4[0-25Hz]	448	503	2108
☒ s5[0-25Hz]	476	418	1600
☒ s6[0-25Hz]	481	518	2042
☒ s7[0-25Hz]	454	488	2110
☒ s8[0-25Hz]	465	488	1950
☒ s9[0-20Hz]	458	370	1536
☒ s10[0-20Hz]	449	496	1878
☒ s11[0-20Hz]	460	485	2025
☒ s12[0-20Hz]	449	457	2013
☒ s13[0-20Hz]	471	481	1852
☒ s14[0-20Hz]	461	517	2190
☒ s15[0-20Hz]	442	549	2140
☒ s16[0-20Hz]	471	457	1924
☒ s17[0-15Hz]	458	370	1536
☒ s18[0-15Hz]	450	497	1880
☒ s19[0-15Hz]	461	484	2023
☒ s20[0-15Hz]	449	457	2009
☒ s21[0-15Hz]	471	481	1855
☒ s22[0-15Hz]	462	517	2190
☒ s23[0-15Hz]	442	550	2144
☒ s24[0-15Hz]	471	458	1923

Betonaarma Kazık

D mm	s m	Donatı
1400	2.785	30f32

Yapısal Kontrol

N _{design} kNm	N _{capacity} kNm
1,323	#N/A #N/A

M _{design} kNm	M _{capacity} kNm
5,375	< 5,500

Donatı- Moment Kapasitesi
(kNm)

24φ32	D1	4500
26φ32	D2	4900
28φ32	D3	5200
30φ32	D4	5500
32φ32	D5	5900
34φ32	D6	6200

Şekil 4.28: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simüle edilmiş kayıtların dizayn momenti D4 donatı tipi için 5375 kNm'dir.

BETONARME KAZIK (ARKA KAZIK) - D2 DEPREM SEVİYESİ

Kayıt #	N kN/m	S kN/m	M kNm/m
☐ r1	-	-	-
☐ r2	-	-	-
☐ r3	-	-	-
☐ r4	-	-	-
☐ r5	-	-	-
☐ r6	-	-	-
☐ r7	-	-	-
☐ r8	-	-	-
☐ r9	-	-	-
☐ r10	-	-	-
☐ r11	-	-	-
☐ r12	-	-	-
☐ r13	-	-	-
☐ r14	-	-	-
☐ r15	-	-	-
☐ r16	-	-	-
☐ r17	-	-	-
☒ s1[0-25Hz]	441	401	1550
☒ s2[0-25Hz]	452	487	1966
☒ s3[0-25Hz]	458	473	1878
☒ s4[0-25Hz]	448	503	2108
☒ s5[0-25Hz]	476	418	1600
☒ s6[0-25Hz]	481	518	2042
☒ s7[0-25Hz]	454	488	2110
☒ s8[0-25Hz]	465	488	1950
☐ s9[0-20Hz]	-	-	-
☐ s10[0-20Hz]	-	-	-
☐ s11[0-20Hz]	-	-	-
☐ s12[0-20Hz]	-	-	-
☐ s13[0-20Hz]	-	-	-
☐ s14[0-20Hz]	-	-	-
☐ s15[0-20Hz]	-	-	-
☐ s16[0-20Hz]	-	-	-
☐ s17[0-15Hz]	-	-	-
☐ s18[0-15Hz]	-	-	-
☐ s19[0-15Hz]	-	-	-
☐ s20[0-15Hz]	-	-	-
☐ s21[0-15Hz]	-	-	-
☐ s22[0-15Hz]	-	-	-
☐ s23[0-15Hz]	-	-	-
☐ s24[0-15Hz]	-	-	-

Betornarma Kazık

D mm	s m	Donatı
1400	2.785	30f32

Yapısal Kontrol

N _{design} kNm	N _{capacity} kNm
1,313	#N/A #N/A
M _{design} kNm	M _{capacity} kNm
5,293	< 5,500

**Donatı- Moment Kapasitesi
(kNm)**

24φ32	D1	4500
26φ32	D2	4900
28φ32	D3	5200
30φ32	D4	5500
32φ32	D5	5900
34φ32	D6	6200

Şekil 4.29: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre filtrelenmemiş simüle edilmiş kayıtların dizayn momenti D4 donatı tipi için 5293 kNm'dir.

4.2. GERÇEK VE SIMULE EDİLMİŞ KAYITLARIN GÖMÜLÜ BORULARDA DEPLASMANA ETKİSİ

FLAC 3D sonlu farklar yazılımı ile kullanılan gerçek ve simule edilmiş kayıtlarla yapılan dinamik analiz sonucunda gömülü borularda D1 tehlike seviyesi deplasman değerlerinin D2 tehlike seviyesi deplasman değerlerine göre daha düşük çıktığı görülmüştür. Toplamda D1 tehlike seviyesi için 17 adet, D2 tehlike seviyesi için 17 adet gerçek kayıt ve aynı şekilde D1 tehlike seviyesi için 24 simule edilmiş kayıt, D2 seviyesi için 24 simule edilmiş kayıt kullanılmıştır. İlk etapta D1 ve D2 tehlike seviyeleri için simule edilen 8'er kayıt iki aşamalı olarak filtrelenmiş, [0.01-20 Hz] ve [0.01-15 Hz] frekans aralığında yeni kayıtlar elde edilmiştir. Bu durumda her bir tehlike seviyesi için 24 simule edilmiş kayıt elde edilmiştir. Gömülü boru modelinde moment değerleri borunun ataleti düşük olduğundanda dolayı düşük çıkmaktadır, hasar oluşturacak bir etki görülmemektedir, dolayısıyla sadece deplasman kriteri ele alınmıştır.

Tablo 4.3: D1 tehlike seviyesi gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleri sonucuna göre gömülü borudaki ortalama deplasman değerleri ve standart sapmaları

D1- Gömülü Boru	Paket No	Seçim Kriteri	d(ort)- cm	d(ort)-SD
	B-1	7 max Mw-(Gerçek Kayıt)	6.8	5
	B-2	7 min Mw-(Gerçek Kayıt)	8.68	5
	B-3	7 max Vs-(Gerçek Kayıt)	9.89	5
	B-4	7 min Vs-(Gerçek Kayıt)	5.17	3
	B-5	7 max RMS-(Gerçek Kayıt)	8.73	6
	B-6	7 min RMS-(Gerçek Kayıt)	8.08	5
	B-7	7 max SF-(Gerçek Kayıt)	6.48	6
	B-8	7 min SF-(Gerçek Kayıt)	8.97	5
	B-9	7 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	5.79	3
	B-10	7 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	7.62	6
	B-11	7 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	6.75	5
	B-12	7 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	8.45	5
	B-13	rastgele seçilen 7 gerçek kayıt	7.86	8
	B-14	3 max Mw+4 min Mw	5.59	2
	B-15	3 max Rjb+4 min Rjb	7.38	3
	B-16	4 max S-PGA+3 min S-PGA	6.63	3
	B-17	8 simule edilmiş kayıt	2.53	1
	B-18	ilk 7 gerçek kayıt	6.63	6
	B-19	son 10 gerçek kayıt	8.57	5

Tablo 4.3'te verilen kayıt paketlerine göre 7 adet max Mw manyitüdlü kayıt paketi 7 adet min Mw manyitüdlü kayıt paketinde daha düşük deplasman vermektedir. Bu durum yüksek manyitüd ile deplasman arasında doğrusal bir ilişki bulunmadığını göstermektedir.

Deplasman değerleri arasındaki en belirgin fark ivme kaydının alındığı ana kayadaki kayma dalga hızı-Vs parametresinde görülmektedir. 7 adet max Vs kayıt paketi 7 adet min Vs kayıt paketinden daha yüksek deplasman vermektedir.

Max uzaklıktaki-Rjb 7 adet kayıt içeren paket min uzaklıktaki 7 adet kayıt içeren paketten daha düşük deplasman vermektedir. Buna göre, Rjb ile deplasman arasında bir ilişki olduğu söylenebilir.

Tablo 4.4: D2 tehlike seviyesi gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleri sonucuna göre gömülü borudaki ortalama deplasman değerleri ve standart sapmaları

D2- Gömülü Boru	Paket No	Seçim Kriteri	d(ort)- cm	d(ort)-SD
	G-1	7 max Mw-(Gerçek Kayıt)	11.2	7
	G-2	7 min Mw-(Gerçek Kayıt)	16.5	11
	G-3	7 max Vs-(Gerçek Kayıt)	17.9	9
	G-4	7 min Vs-(Gerçek Kayıt)	13.7	12
	G-5	7 max RMS-(Gerçek Kayıt)	14	10
	G-6	7 min RMS-(Gerçek Kayıt)	13.2	8
	G-7	7 max SF-(Gerçek Kayıt)	12.9	9
	G-8	7 min SF-(Gerçek Kayıt)	12.9	8
	G-9	7 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	11.7	10
	G-10	7 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	15.1	9
	G-11	7 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	12.6	9
	G-12	7 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	17.4	11
	G-13	Rastgele seçilen 7 gerçek kayıt		
	G-14	3 max Mw+4 min Mw	15.7	10
	G-15	3 max Rjb+4 min Rjb	13.4	10
	G-16	4 max S-PGA+3 min S-PGA	12.6	8
	G-17	8 simule edilmiş kayıt	5.1	1
	G-18	7 gerçek kayıt	9.2	4
	G-19	10 gerçek kayıt	18.3	11

Tablo 4.4'te 7 adet max Mw manyitüdlü kayıt paketi 7 adet min Mw manyitüdlü kayıt paketinde daha düşük deplasman vermektedir. D1 tehlike seviyesinde olduğu gibi Mw ile deplasman arasında ters ilişki bulunmaktadır.

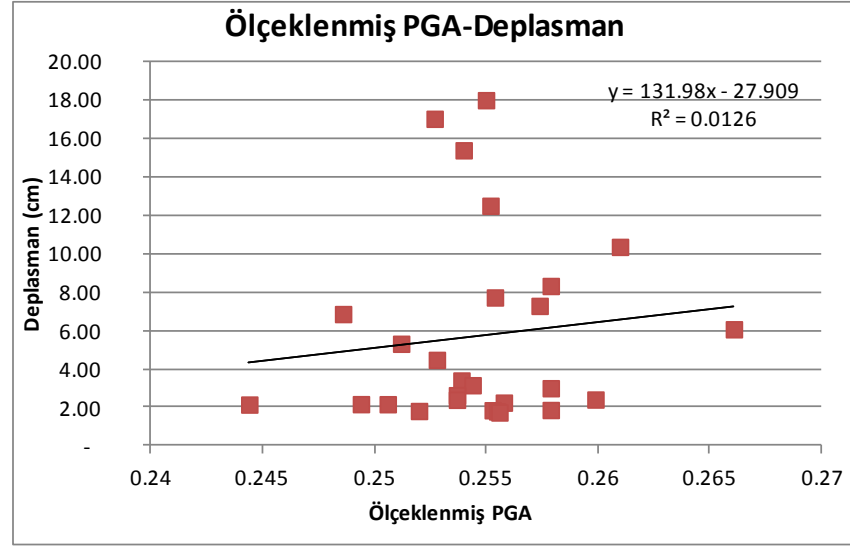
D1 tehlike seviyesi ile aynı olarak, deplasman değerleri arasındaki en belirgin fark ivme kaydının alındığı ana kayadaki kayma dalga hızı-Vs parametresinde görülmektedir. 7 adet max Vs kayıt paketi 7 adet min Vs kayıt paketinden daha yüksek deplasman vermektedir.

Max uzaklıktaki-Rjb 7 adet kayıt içeren paket min uzaklıktaki 7 adet kayıt içeren paketten daha düşük deplasman vermektedir. Buna göre, Rjb ile deplasman arasında D1 tehlike seviyesinde olduğu gibi bir ilişki olduğu söylenebilir. D2 tehlike seviyesi analiz sonuçları Tablo 4.5'te özetlenmiş ve 3 ayrı deplasman seviyesi belirlenmiş, deplasmanlar ve seçilen paket tipleri buna göre sınıflandırılmıştır.

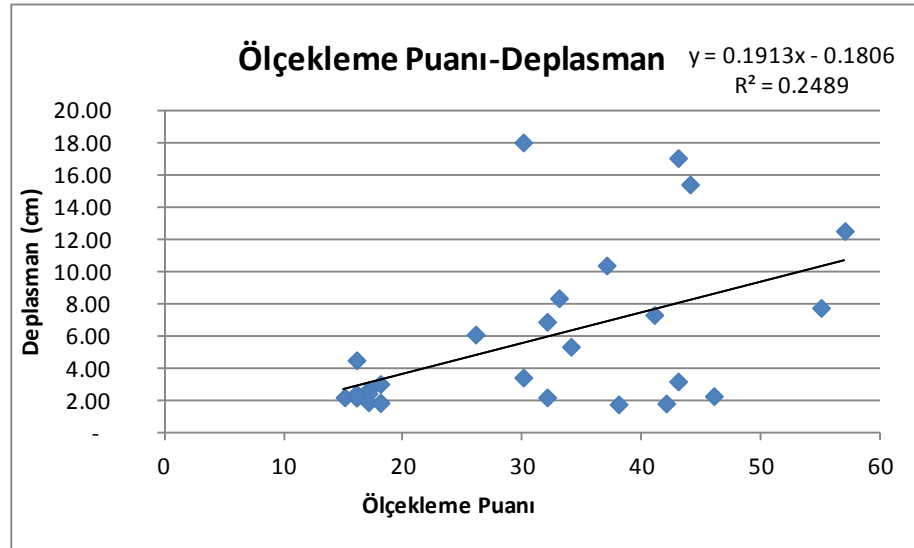
Tablo 4.5: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarının kayıt paketleriyle ilişkisi

D2 Tehlike Seviyeli Gömülü Boru Deplasman Değerleri-Ad (cm)		
5 < x ≤ 10 cm veren kayıt paketleri	10 < x ≤ 15 cm veren kayıt paketleri	x > 15 cm veren kayıt paketleri
8 simüle edilmiş kayıt	7 max Mw (G)	7 min Mw (G)
İlk 7 gerçek kayıt	7 max RMS (G)	
	3 max Rjb+4 min Rjb (G)	
	7 min Vs (G)	7 max Vs (G)
	7 min RMS (G)	
	7 max SF (G)	
	7 min SF (G)	
	7 max S-PGA (G)	7 min S-PGA (G)
	7 Max Rjb (G)	7 min Rjb (G)
	Rastgele 7 kayıt (G)	
	4 max S-PGA+3 min S-PGA (G)	3 max Mw+4 min Mw (G)

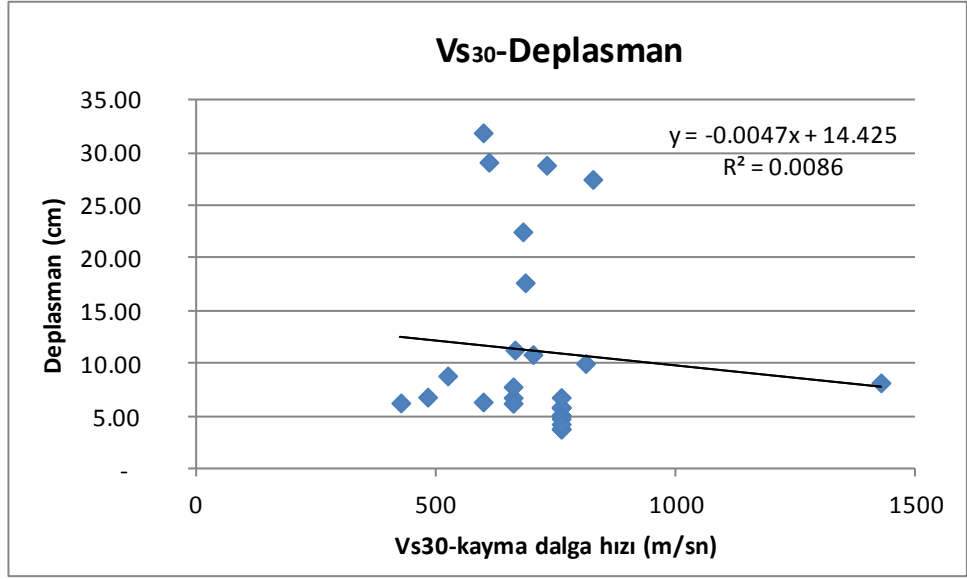
Tasarım spektrumlarında yapısal analiz için kayıt seçerken bölgede beklenen deprem seviyesine uygun olarak benzer manyitütderde ve ana kayada alınmış kayıtların seçilmesi belirtilmektedir. Fakat analiz sonuçlarından elde edilen deplasman değerleri ile Mw, ölçeklenmiş PGA, ölçekleme puanı ve Vs30 parametreleri karşılaştırıldıklarında, aralarında doğrusal bir ilişkinin olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34). Grafikler üzerinde yer alan R² değeri veri setinden geçen trend çizgisinin lineer bir ilişkiye ne kadar yaklaşıp yaklaşmadığını ifade etmektedir, R² değeri 1'e ne kadar yakınsa veri seti o kadar doğrusal bir trend vermektedir.



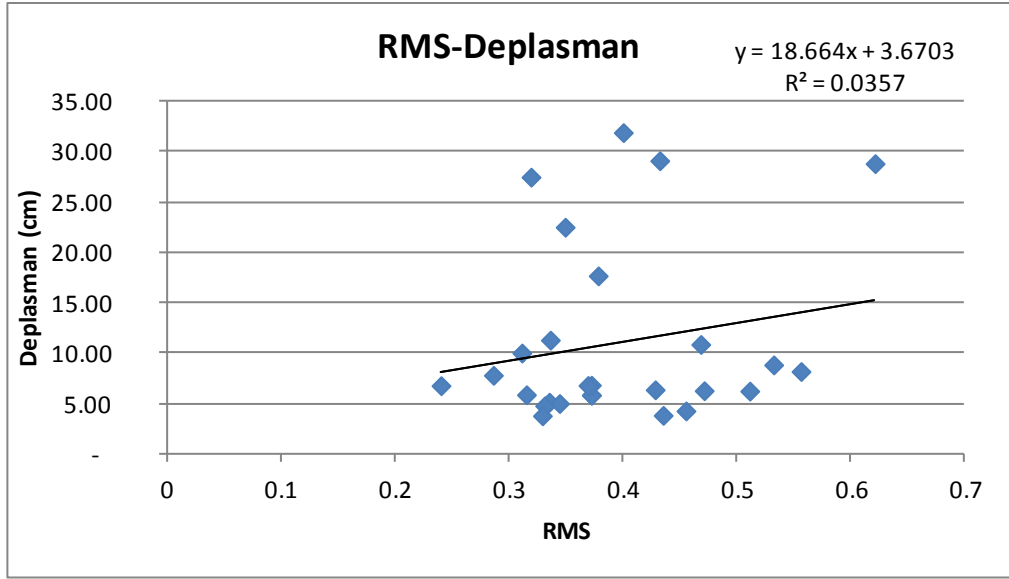
Şekil 4.30: D1 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile kayıtların ölçeklenmiş PGA değerleri arasındaki ilişki.



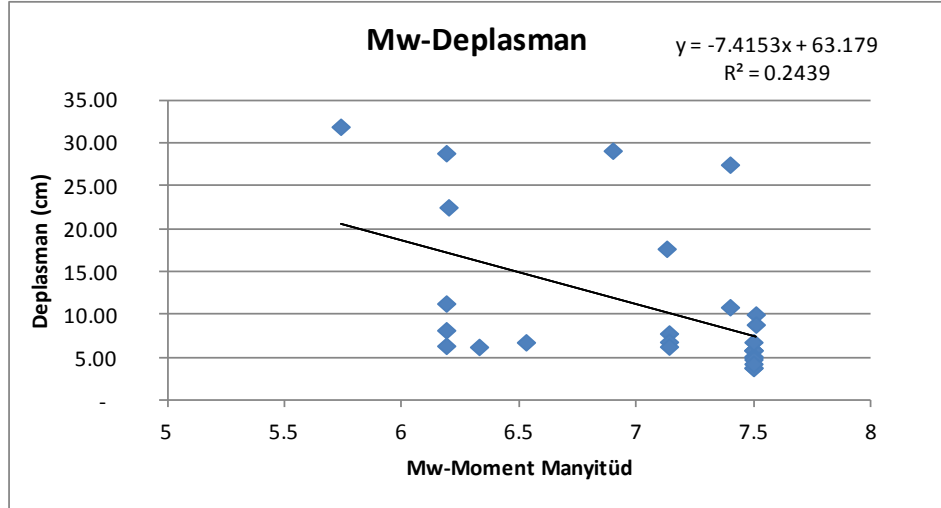
Şekil 4.31: D1 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile kayıtların ölçeklenme puanları arasındaki ilişki. Kayıt hedef tepki spektrumuna ne kadar uyumluysa ölçekleme puanı o kadar yüksektir.



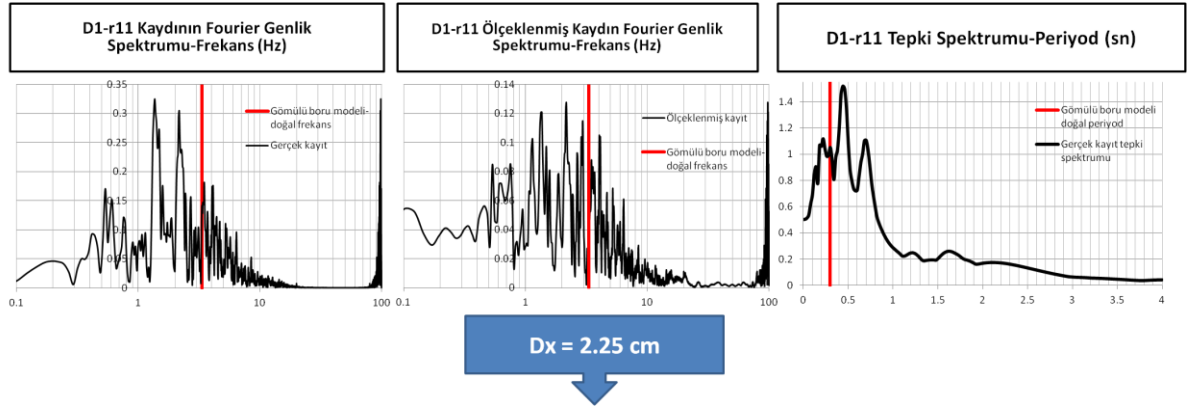
Şekil 4.32: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının alındığı zemin kayma dalga hızı-Vs30 arasındaki ilişki. Simüle edilmiş kayıtlar anakayada yani 760 m/sn’de alınmıştır.



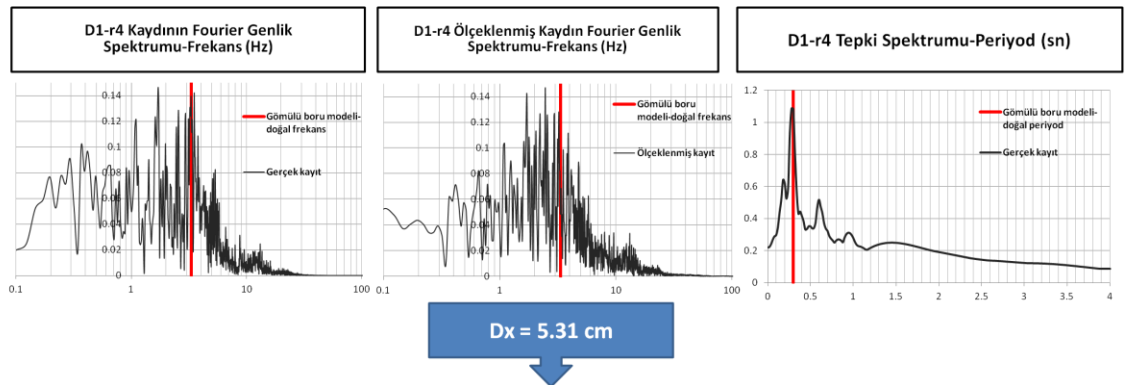
Şekil 4.33: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının RMS (root mean square) değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.34: D2 tehlike seviyesi analiz sonuçlarına göre elde edilen deplasmanlar ile ivme kayıtlarının Mw-moment manyitüd değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.35: D1-r11 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.



Şekil 4.36: D1-r4 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.

Grafiklerde görüldüğü üzere D1 ve D2 tehlike seviyesi için deplasman kriteri ile deprem ivme kaydının kaynak parametreleri ve ölçekleme puanı-katsayısı arasında bir ilişki bulunmamaktadır. İvme kayıtlarına bağlı olarak ortaya çıkan bu farklı deplasmanlar,

sisteme verilen ivme kaydının frekans içeriği ile, diğer bir deyişle sistemin doğal periyodu ve ivme kaydının doğal periyodu ile açıklanabilmektedir. D1 ve D2 tehlike seviyesi için gömülü boru modeline verilen ivme kayıtlarının ölçeklenmeden önceki Fourier genliği-frekans grafikleri ve tepki spektrumu-periyod grafikleri ve her bir kayıt için elde edilen deplasman değerleri Şekil 4.35’te görülmektedir.

Tepki spektumunda görüldüğü üzere gömülü boru modeline ait doğal periyod değeri tepki spektrumunda düşük bir değere denk gelmektedir, buna bağlı olarak deplasman değerinin düşük çıktığı düşünülmektedir. Şekil 4.36’da ise tepki spektrumunda gömülü boru modeli ait doğal periyod değeri pik değerle çakışmaktadır, buna bağlı olarak deplasmanın arttığı düşünülmektedir. Tepki spektrumunun yanı sıra Fourier genlik spektrumunda da aynı şekilde doğal frekans değeri pik genlik değerlerine denk gelmektedir. Bazı kayıtlarda bu ilişki gözlemlenirken, bazı kayıtlarda ise tam tersi olarak hiçbir ilişki görülmemektedir.

4.3. KAYIT SEÇİMİNİN TASARIMA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI

Çelik boru modeli yalnızca deplasman kriteri açısından değerlendirilerken, liman kazıklarının kayıt seçimiyle beraber değişen tasarım ölçütleri incelenmiştir. Çelik ön kazıklarda tasarım, aynı kazık çapı için farklı et kalınlıklarına geçilmesi ile değişmiştir; et kalınlığı arttıkça tasarım güvenilir olmakta fakat ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Arka betonarme kazıklarda ise tasarım kazıktaki donatı miktarı arttıkça/azaldıkça değişmiştir. Kazıktaki donatı miktarı arttıkça, tasarım güvenilir olmakta fakat ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Tasarımda esas alınan boru çapı ve et kalınlığı değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Tasarımda esas alınan kazık çapı ve et kalınlığına göre güvenlik gerilmesi ve kazık tipi

Kazık Tipi	D (mm)	t (mm)	s (m)	f _{yd} (MPa)	X _b	f* _{yd} (MPa)
P1	2184	18	2.785	345	0.741	256
P2	2184	20	2.785	345	0.764	264
P3	2184	24	2.785	345	0.800	276

D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre ön çelik kazıkların kayıt seçimiyle beraber et kalınlıklarının değişimi buna bağlı olarak tasarımın değişimi Tablo 4.7’da verilmektedir. Tabloda farklı sayıda gerçek ve simule edilmiş kayıtlardan oluşturulan

paketlerin verdiği ortalama güvenlik gerilmesi değeri, standart sapması ve kazıp tipi verilmektedir.

Tablo 4.7: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.

Paket No	Seçim Kriteri	$\sigma(\text{safety,ort})$	$\sigma(\text{safety,ort})\text{-SD}$	Seçilen kazık tipi
F-1	7 max Mw-(Gerçek Kayıt)	225	14	P1 (2184/18)
F-2	7 min Mw-(Gerçek Kayıt)	255	12	P1 (2184/18)
F-3	7 max Vs-(Gerçek Kayıt)	234	9	P2 (2184/20)
F-4	7 min Vs-(Gerçek Kayıt)	247	18	P1 (2184/18)
F-5	7 max RMS-(Gerçek Kayıt)	254	17	P1 (2184/18)
F-6	7 min RMS-(Gerçek Kayıt)	239	8	P2 (2184/20)
F-7	7 max SF-(Gerçek Kayıt)	247	14	P1 (2184/18)
F-8	7 min SF-(Gerçek Kayıt)	232	13	P2 (2184/20)
F-9	7 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	252	17	P1 (2184/18)
F-10	7 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	240	11	P2 (2184/20)
F-11	7 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	233	7	P2 (2184/20)
F-12	7 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	232	19	P2 (2184/20)
F-13	10 max Mw-(Gerçek Kayıt)	235	14	P2 (2184/20)
F-14	10 min Mw-(Gerçek Kayıt)	238	11	P2 (2184/20)
F-15	10 max Vs-(Gerçek Kayıt)	239	8	P2 (2184/20)
F-16	10 min Vs-(Gerçek Kayıt)	232	15	P2 (2184/20)
F-17	10 max RMS-(Gerçek Kayıt)	253	16	P1 (2184/18)
F-18	10 min RMS-(Gerçek Kayıt)	235	10	P2 (2184/20)
F-19	10 max SF-(Gerçek Kayıt)	233	13	P2 (2184/20)
F-20	10 min SF-(Gerçek Kayıt)	240	11	P2 (2184/20)
F-21	10 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	253	15	P1 (2184/18)
F-22	10 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	236	10	P2 (2184/20)
F-23	10 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	233	7	P2 (2184/20)
F-24	10 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	232	16	P2 (2184/20)
F-25	3 max Mw+4 min Mw	237	8	P2 (2184/20)
F-26	3 max Rjb+4 min Rjb	254	13	P1 (2184/18)
F-27	4 max S-PGA+3 min S-PGA	237	13	P2 (2184/20)
F-28	İlk7 kayıt-(Gerçek Kayıt)	253	13	P1 (2184/18)
F-29	son 10-(Gerçek kayıt)	236	12	P2 (2184/20)
F-30	Rastgele 10-gerçek	233	12	P2 (2184/20)
F-31	Rastgele 14-gerçek	237	13	P2 (2184/20)
F-32	Rastgele 10-(3 Min Moment)-gerçek	243	8	P2 (2184/20)
F-33	Rastgele 14-(4 Min Moment)-gerçek	246	10	P2 (2184/20)
F-34	Rastgele 14-(7 Min Moment)-gerçek	253	9	P2 (2184/20)
F-35	7 Max Moment-(Gerçek Kayıt)	253	9	P2 (2184/20)
F-36	7 Min Moment-(Gerçek Kayıt)	251	9	P1 (2184/18)
F-37	10 max Moment-(Gerçek Kayıt)	246	10	P2 (2184/20)
F-38	10 min Moment-(Gerçek Kayıt)	242	14	P1 (2184/18)
F-39	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)	239	9	P2 (2184/20)
F-40	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)	250	13	P1 (2184/18)
F-41	10 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(3 Min Moment)	253	9	P2 (2184/20)
F-42	10 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(3 Min Moment)	251	9	P1 (2184/18)
F-43	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(4 Min Moment)	246	10	P2 (2184/20)
F-46	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(4 Min Moment)	234	8	P2 (2184/20)
F-47	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(7 Min Moment)	253	9	P2 (2184/20)
F-48	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(7 Min Moment)	234	9	P2 (2184/20)

D2- Ön
Çelik Kazık

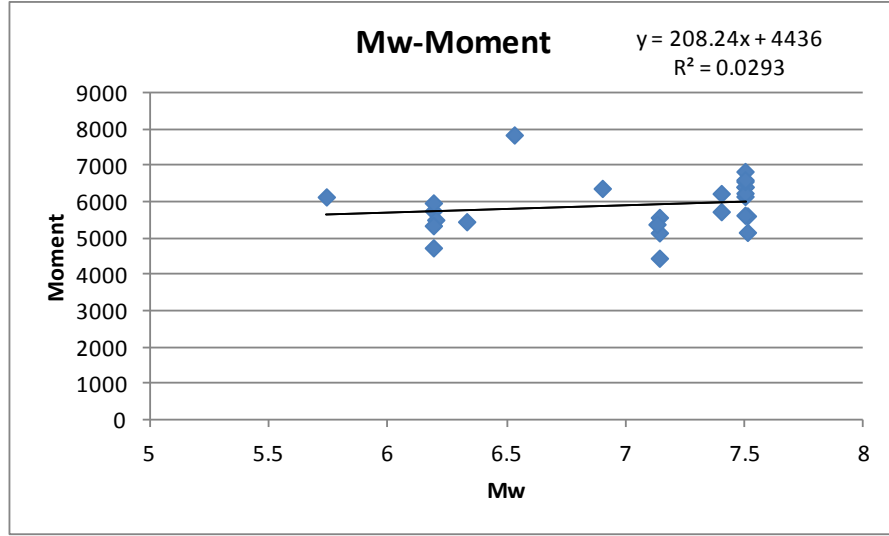
Tablo 4.8: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simülatif kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.

Paket No	Seçim Kriteri	$\sigma(\text{safety,ort})$	$\sigma(\text{safety,ort})-SD$	Seçilen kazık tipi
F-49	7 simüle edilmiş kayıt [0-25Hz]	260	17	P2 (2184/20)
F-50	7 simüle edilmiş kayıt [0-20Hz]	253	16	P2 (2184/20)
F-51	7 simüle edilmiş kayıt [0-15Hz]	253	16	P2 (2184/20)
F-52	Max-Moment 7 karışık simüle kayıt	226	3	P3 (2184/24)
F-53	Min-Moment 7 karışık simüle kayıt	237	9	P2 (2184/20)
F-54	Rastgele 10-simüle kayıt-No1	257	14	P2 (2184/20)
F-55	Rastgele 14-simüle kayıt-No1	255	16	P2 (2184/20)
F-56	Rastgele 14-simüle kayıt-No2	258	17	P2 (2184/20)
F-57	Rastgele 10-(3 Min Moment)-simüle	222	12	P3 (2184/24)
F-58	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment)-simüle	220	17	P3 (2184/24)
F-59	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment)-simüle	223	3	P3 (2184/24)
F-60	Rastgele 10-simüle kayıt-No2	256	13	P2 (2184/20)

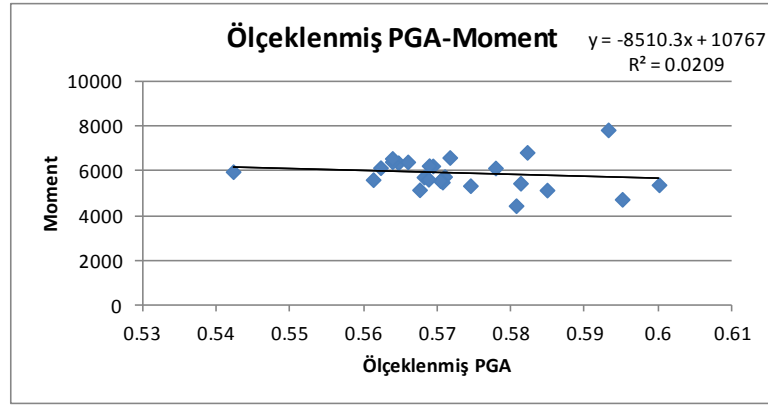
Tablo 4.9: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre karışık kayıtlardan oluşturulan paketlerin ön çelik kazıkların güvenlik gerilmesi değerleri ve seçilen kazık tipleri.

Paket No	Seçim Kriteri	$\sigma(\text{safety,ort})$	$\sigma(\text{safety,ort})-SD$	Seçilen kazık tipi
F-61	Rastgele 10-karışık-No1	252	11	P2 (2184/20)
F-62	Rastgele 14-karışık-No1	250	11	P2 (2184/20)
F-63	Rastgele 10-karışık-No2	262	14	P2 (2184/20)
F-64	Rastgele 14-karışık-No2	253	12	P2 (2184/20)
F-65	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment)-karışık	258	12	P2 (2184/20)
F-66	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment)-karışık	222	16	P3 (2184/24)
F-67	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment)-karışık	259	13	P2 (2184/20)
F-68	Max moment veren-14-(karışık kayıt)	224	11	P3 (2184/24)
F-69	Min moment veren-14-(karışık kayıt)	246	12	P1 (2184/18)
F-70	Max moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment	228	6	P3 (2184/24)
F-71	Min moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment	254	10	P1 (2184/18)

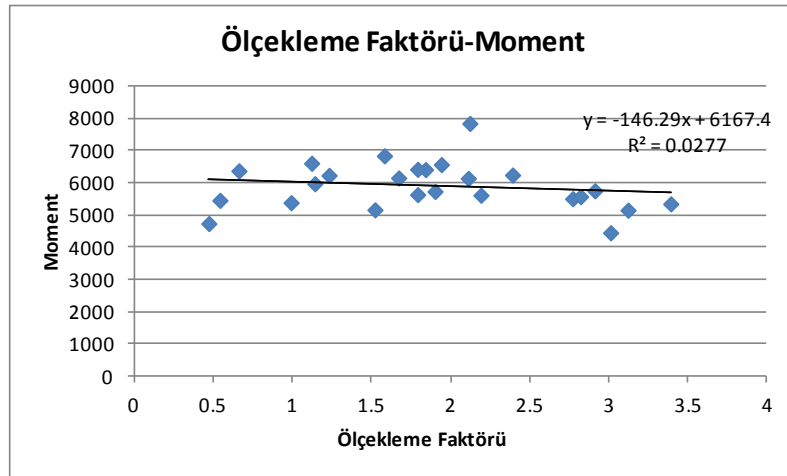
Analiz sonuçlarından elde edilen deplasman değerleri ile M_w , ölçeklenmiş PGA, ölçekleme puanı ve Vs30 parametreleri karşılaştırıldıklarında, aralarında doğrusal bir korelasyon olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41). Grafikler üzerinde yer alan R^2 değeri veri setinden geçen trend çizgisinin lineer bir ilişkiye ne kadar yaklaşıp yaklaşmadığını ifade etmektedir, R^2 değeri 1'e ne kadar yakınsa veri seti o kadar doğrusal bir trend vermektedir.



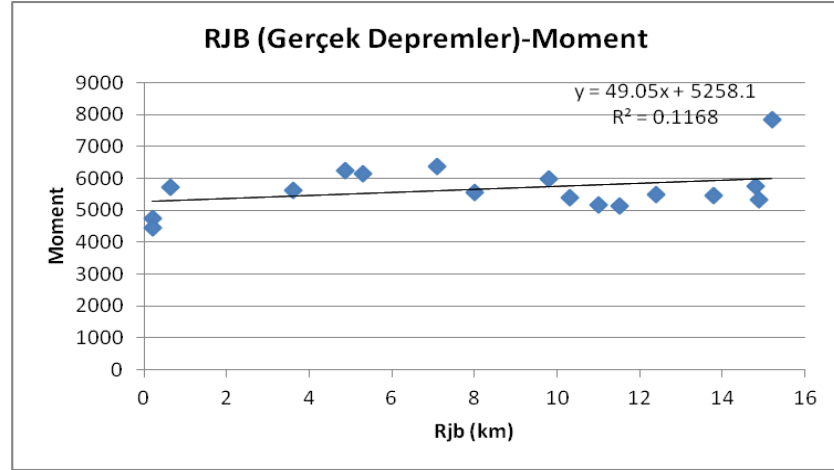
Şekil 4.37: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların Mw-moment manyitüdlerine göre değişimi.



Şekil 4.38: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların ölçeklenmiş-PGA değerlerine göre değişimi.

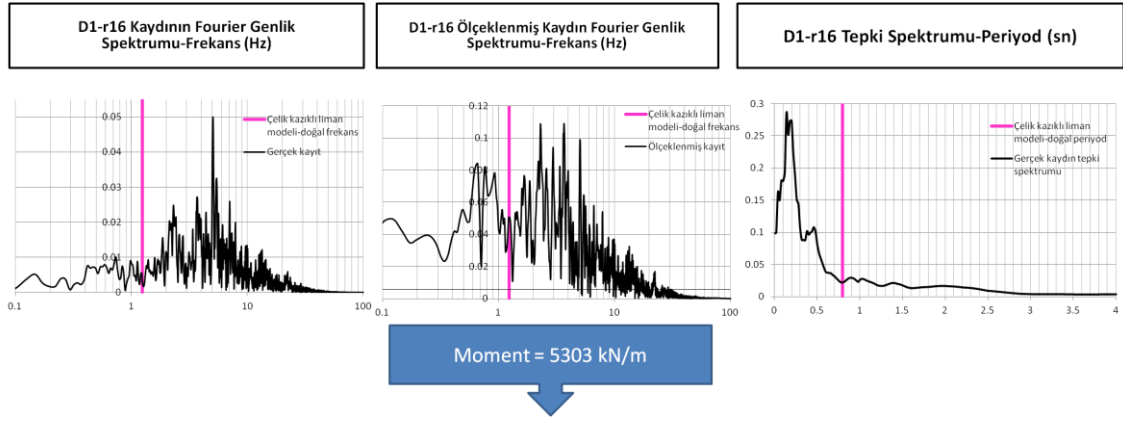


Şekil 4.39: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların ölçekleme faktörüne göre değişimi.

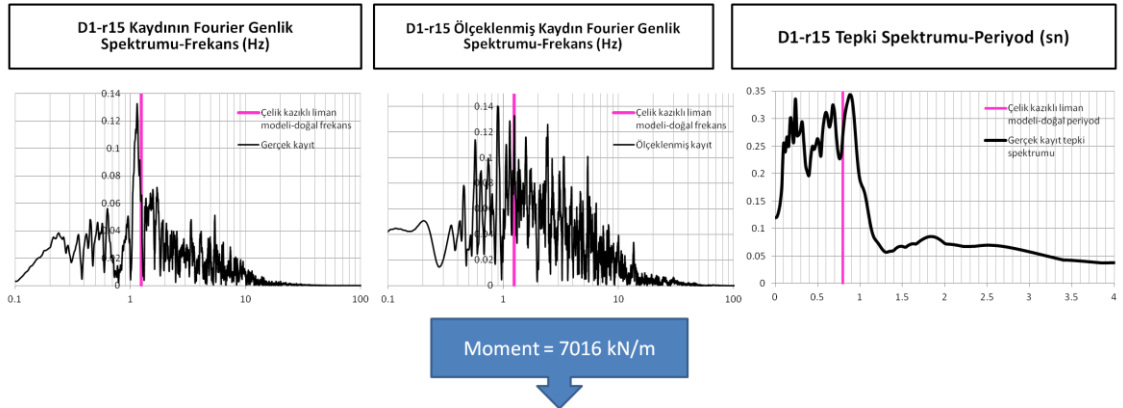


Şekil 4.40: D2 tehlike seviyesine göre analiz edilen ön kazıkların moment değerlerinin kayıtların Rjb mesafelerine göre değişimi.

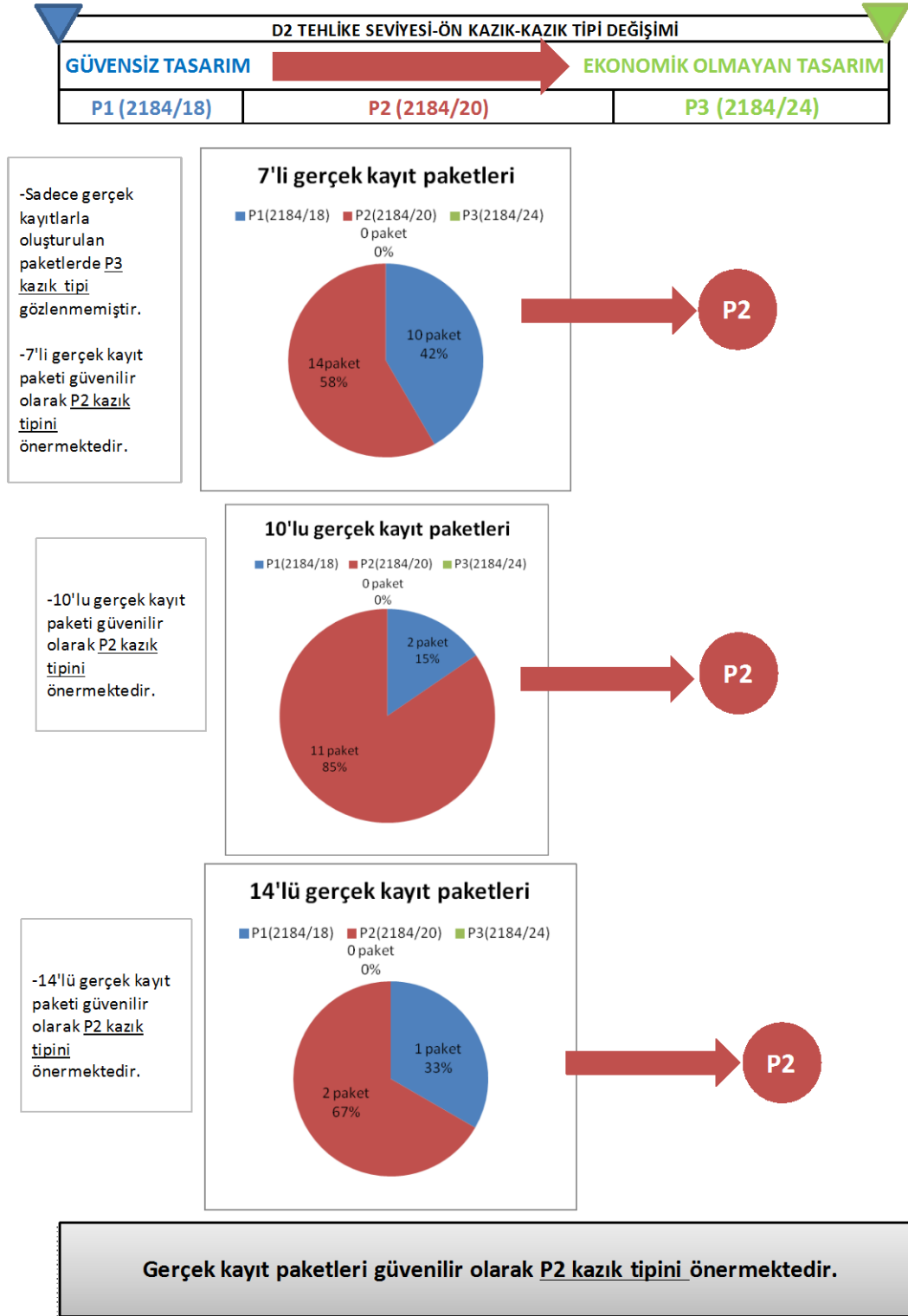
Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü üzere çelik kazıklı liman modelinin doğal periyodu ile ivme kaydının doğal periyodu arasında bir ilişki söz konusudur, kayıt seçiminde bir kriter olarak kullanılması önerilmektedir.



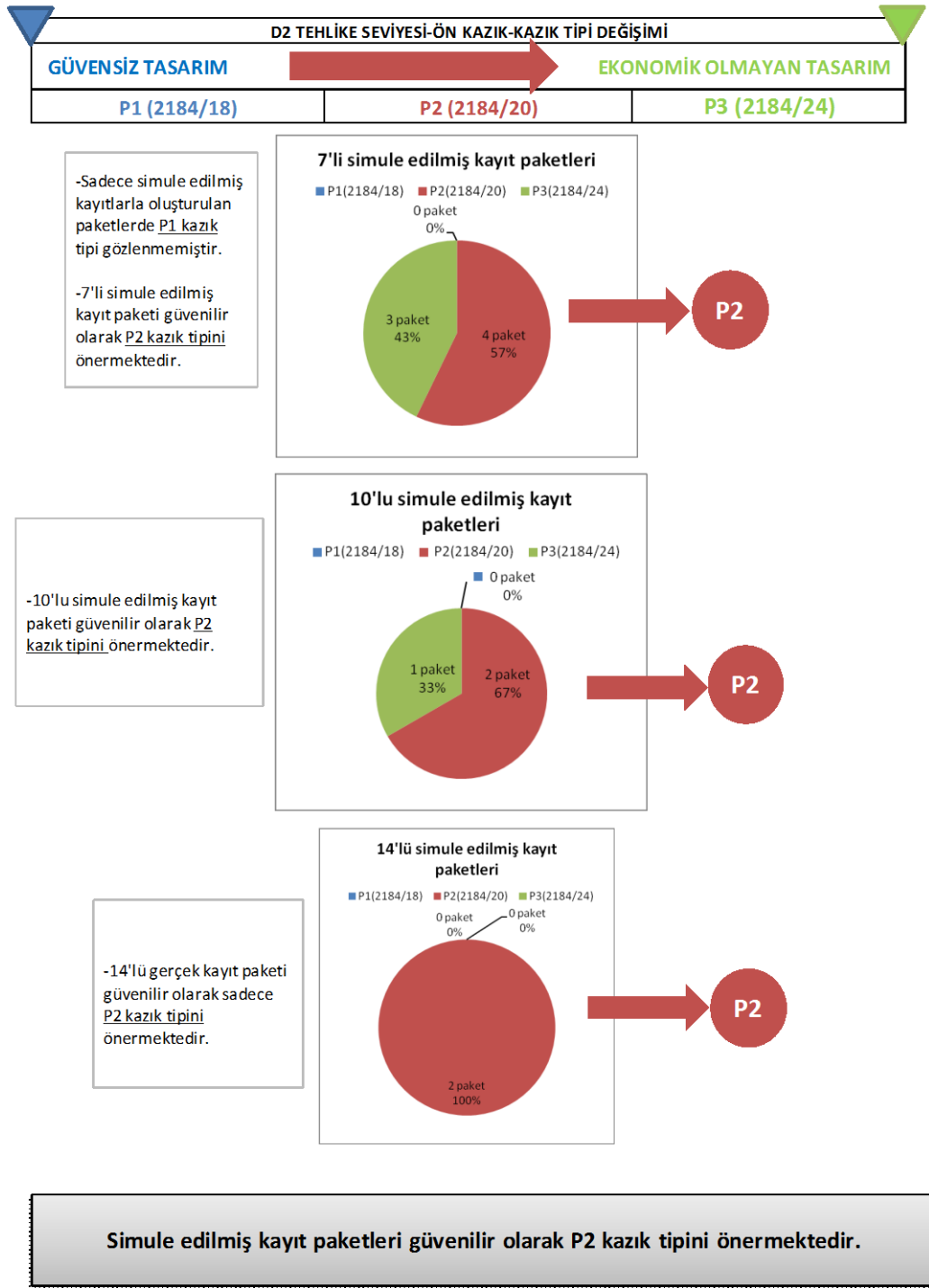
Şekil 4.41: D1-r16 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.



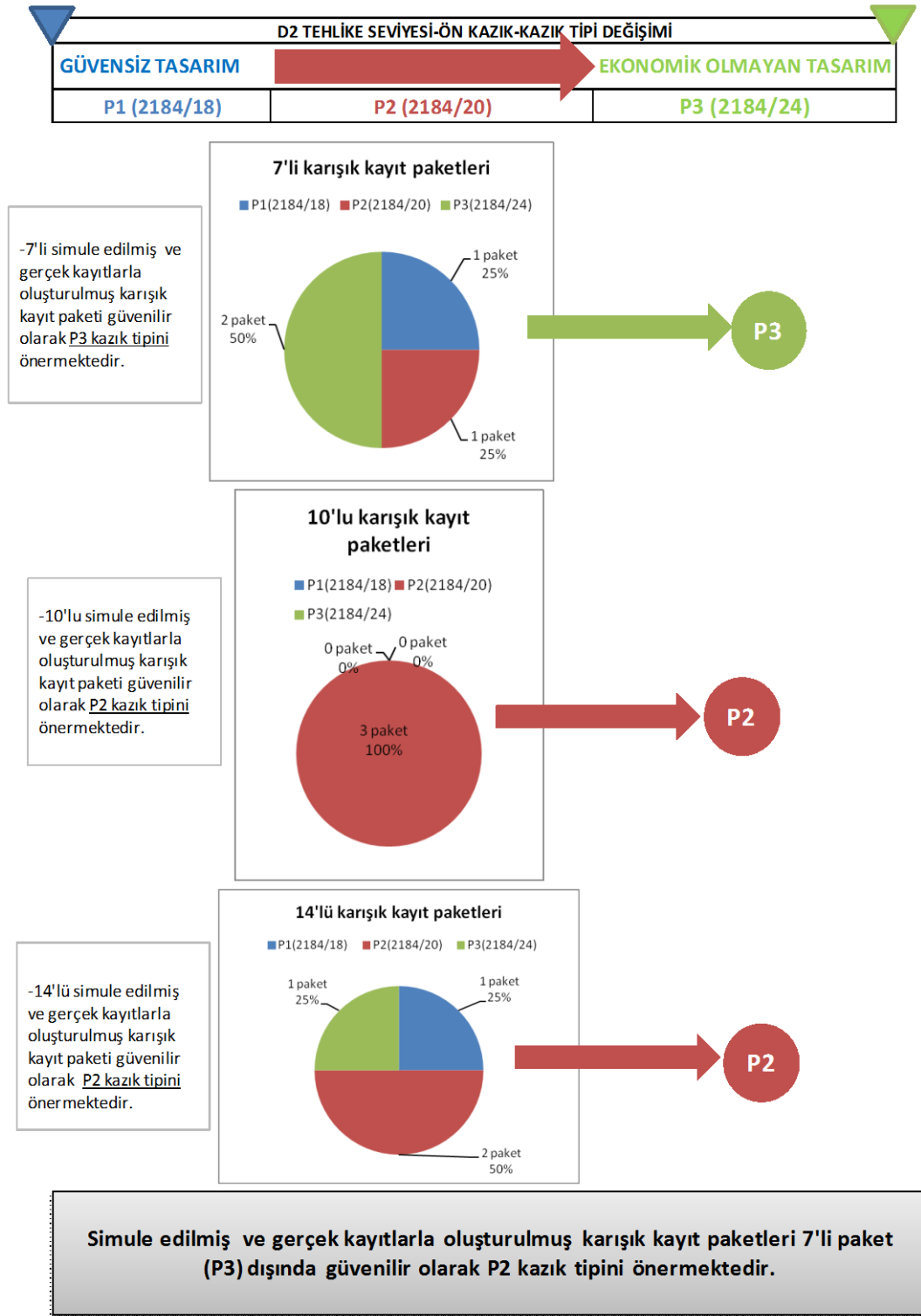
Şekil 4.42: D1-r15 gerçek ivme kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş Fourier genlik spektrumu ve gerçek kayda ait tepki spektrumu.



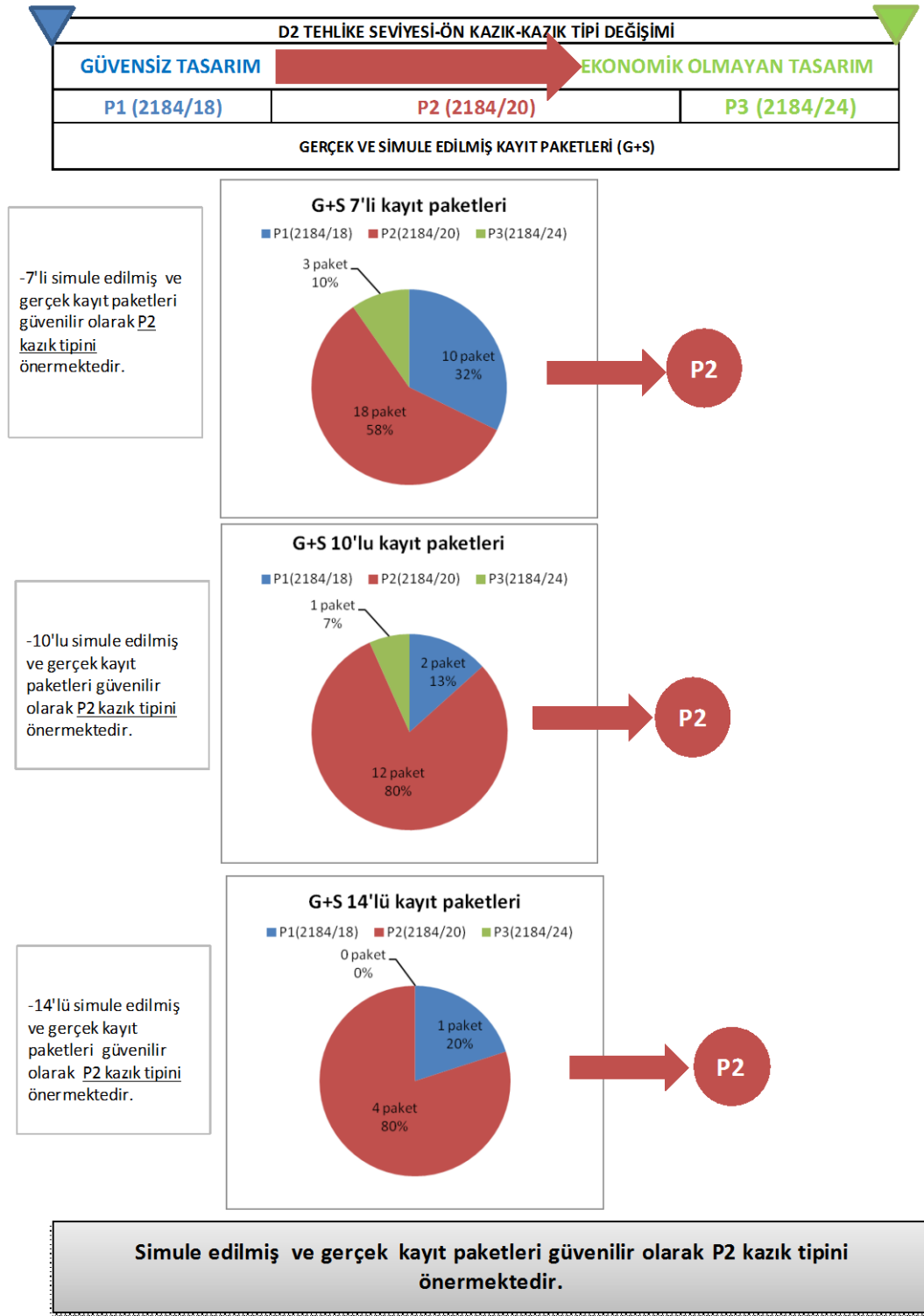
Şekil 4.43: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.



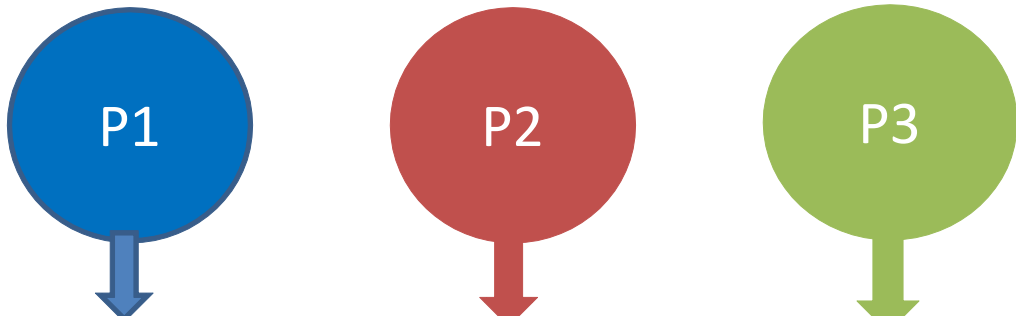
Şekil 4.44: D2 tehlike seviyesine göre simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim



Şekil 4.45: D2 tehlike seviyesine göre karışık kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.



Şekil 4.46: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim



7 min Vs (G)	7 max Vs (G)	-
7 max RMS (G)	7 min RMS (G)	-
7 max SF (G)	7 min SF (G)	-
7 max S-PGA (G)	7 min S-PGA (G)	-
10 max RMS (G)	10 min RMS (G)	-
10 max S-PGA (G)	10 min S-PGA (G)	-
ilk 7 gerçek kayıt	son 10 gerçek kayıt	-
7 Min Moment (G)	7 Max Moment (G)	-
10 Min Moment (G)	10 max Moment (G)	-
14 Min Moment (G)	14 max Moment (G)	-
10 min Moment-(3 Min Moment)(G)	10 max Moment-(3 Min Moment)(G)	-
Min moment veren-14-(karışık kayıt)	-	Max moment veren-14-(karışık kayıt)
Min moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment	-	Max moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment
	Min-Moment 7 karışık simule kayıt	Max-Moment 7 karışık simule kayıt
	Rastgele 10-No1 (S)	Rastgele 10-(3 Min Moment) (S)
	Rastgele 14-No1 (S)	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment) (S)
		Rastgele 14-No1-(7 Min Moment) (S)
	Rastgele 14-karışık-No1	
	Rastgele 10-karışık-No1	
	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment)-karışık	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment)-karışık
	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment)-karışık	
	7 max Mw (G)	
	7 min Mw (G)	

Şekil 4.47: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen çelik ön kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.

Donatı- Moment Kapasitesi (kNm)		
24φ82	D1	4500
26φ82	D2	4900
28φ82	D3	5200
30φ82	D4	5500
32φ82	D5	5900
34φ82	D6	6200

Şekil 4.48: D2 seviyesi arka betonarme kazıkların tasarımında kullanılan donatı-moment kapasitesi dağılımı.

Tablo 4.10: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre gerçek kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri

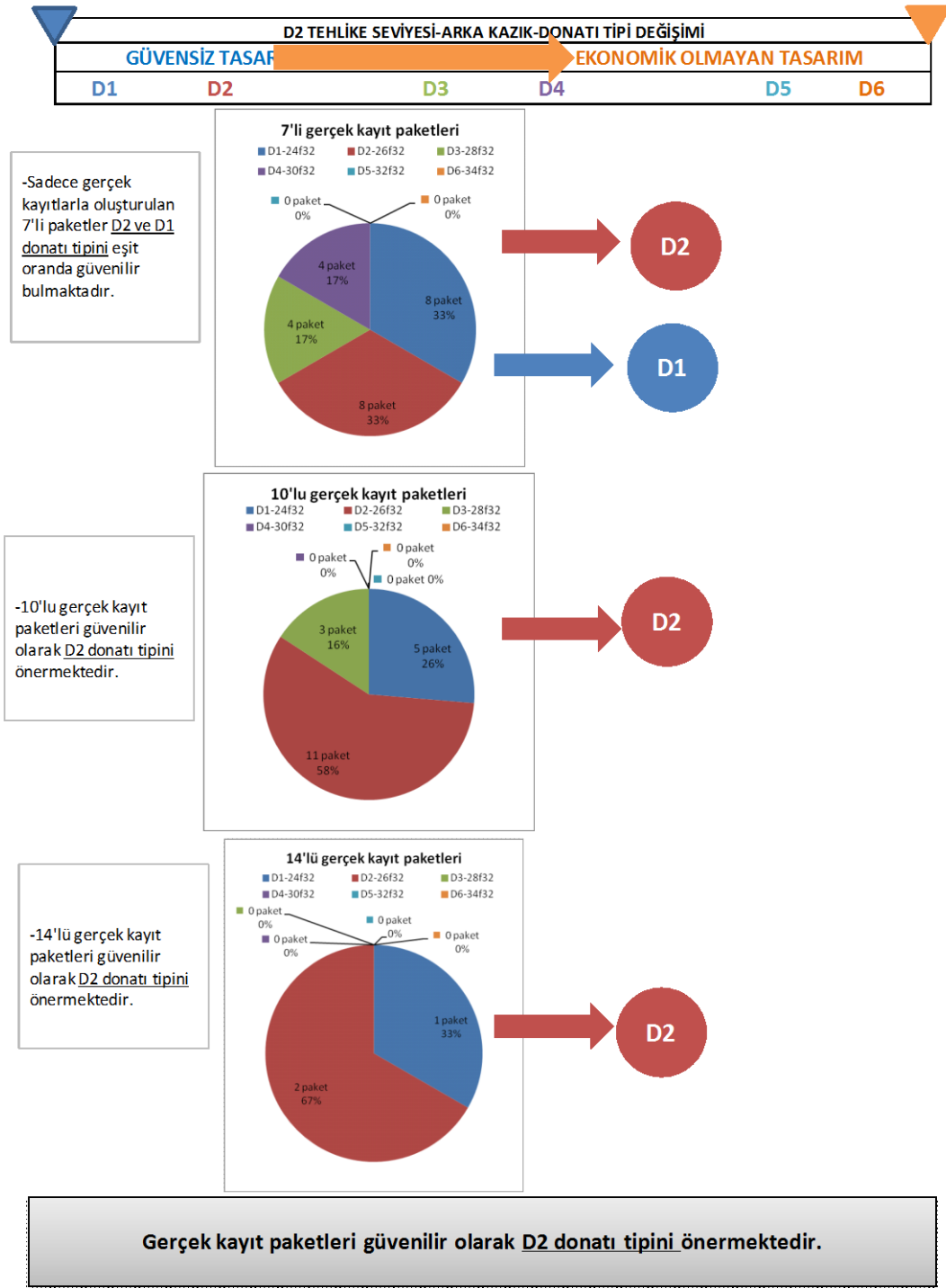
Paket No	Seçim Kriteri	M _{dizayn,ort}	M _{ort-SD}	Seçilen Donatı
R-1	7 max Mw-(Gerçek Kayıt)	4916	644	D3-28f32
R-2	7 min Mw-(Gerçek Kayıt)	4277	698	D1-24f32
R-3	7 max Vs-(Gerçek Kayıt)	4649	487	D2-26f32
R-4	7 min Vs-(Gerçek Kayıt)	4390	754	D1-24f32
R-5	7 max RMS-(Gerçek Kayıt)	4392	377	D1-24f32
R-6	7 min RMS-(Gerçek Kayıt)	5202	763	D4-30f32
R-7	7 max SF-(Gerçek Kayıt)	4767	662	D2-26f32
R-8	7 min SF-(Gerçek Kayıt)	4410	404	D1-24f32
R-9	7 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	4618	1016	D2-26f32
R-10	7 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	4737	693	D2-26f32
R-11	7 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	4959	682	D3-28f32
R-12	7 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	4357	755	D1-24f32
R-13	10 max Mw-(Gerçek Kayıt)	4904	749	D3-28f32
R-14	10 min Mw-(Gerçek Kayıt)	4457	833	D1-24f32
R-15	10 max Vs-(Gerçek Kayıt)	4759	715	D2-26f32
R-16	10 min Vs-(Gerçek Kayıt)	4643	953	D2-26f32
R-17	10 max RMS-(Gerçek Kayıt)	4257	519	D1-24f32
R-18	10 min RMS-(Gerçek Kayıt)	4823	942	D2-26f32
R-19	10 max SF-(Gerçek Kayıt)	4811	940	D2-26f32
R-20	10 min SF-(Gerçek Kayıt)	4561	869	D2-26f32
R-21	10 max S-PGA-(Gerçek Kayıt)	4582	858	D2-26f32
R-22	10 min S-PGA-(Gerçek Kayıt)	4665	614	D2-26f32
R-23	10 max Rjb-(Gerçek Kayıt)	4848	759	D2-26f32
R-24	10 min Rjb-(Gerçek Kayıt)	4426	791	D1-24f32
R-25	İlk 7 kayıt (Gerçek Kayıt)	4990	813	D3-28f32
R-26	son 10-(Gerçek kayıt)	4405	685	D1-24f32
R-27	3 max Mw+4 min Mw	4186	601	D1-24f32
R-28	3 max Rjb+4 min Rjb	4826	805	D2-26f32
R-29	4 max S-PGA+3 min S-PGA	4733	813	D2-26f32
R-30	Rastgele 10-gerçek	4819	943	D2-26f32
R-31	Rastgele 14-gerçek	4687	850	D2-26f32
R-32	Rastgele 10-(3 Min Moment)-gerçek	4819	991	D2-26f32
R-33	Rastgele 14-(4 Min Moment)-gerçek	4848	915	D2-26f32
R-34	Rastgele 14-(7 Min Moment)-gerçek	5161	734	D3-28f32
R-35	7 Max Moment-(Gerçek Kayıt)	5388	455	D4-30f32
R-36	7 Min Moment-(Gerçek Kayıt)	3957	431	D1-24f32
R-37	10 max Moment-(Gerçek Kayıt)	5127	562	D3-28f32
R-38	10 min Moment-(Gerçek Kayıt)	4126	447	D1-24f32
R-39	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)	4872	629	D2-26f32
R-40	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)	4399	588	D1-24f32
R-41	10 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(3 Min Moment)	4356	166	D1-24f32
R-42	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(4 Min Moment)	4662	394	D2-26f32
R-43	14 min Moment-(Gerçek Kayıt)-(7 Min Moment)	4840	331	D2-26f32
R-44	10 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(3 Min Moment)	5388	455	D4-30f32
R-45	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(4 Min Moment)	5127	562	D3-28f32
R-46	14 max Moment-(Gerçek Kayıt)-(7 Min Moment)	5388	455	D4-30f32

Tablo 4.11: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilmiş kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri.

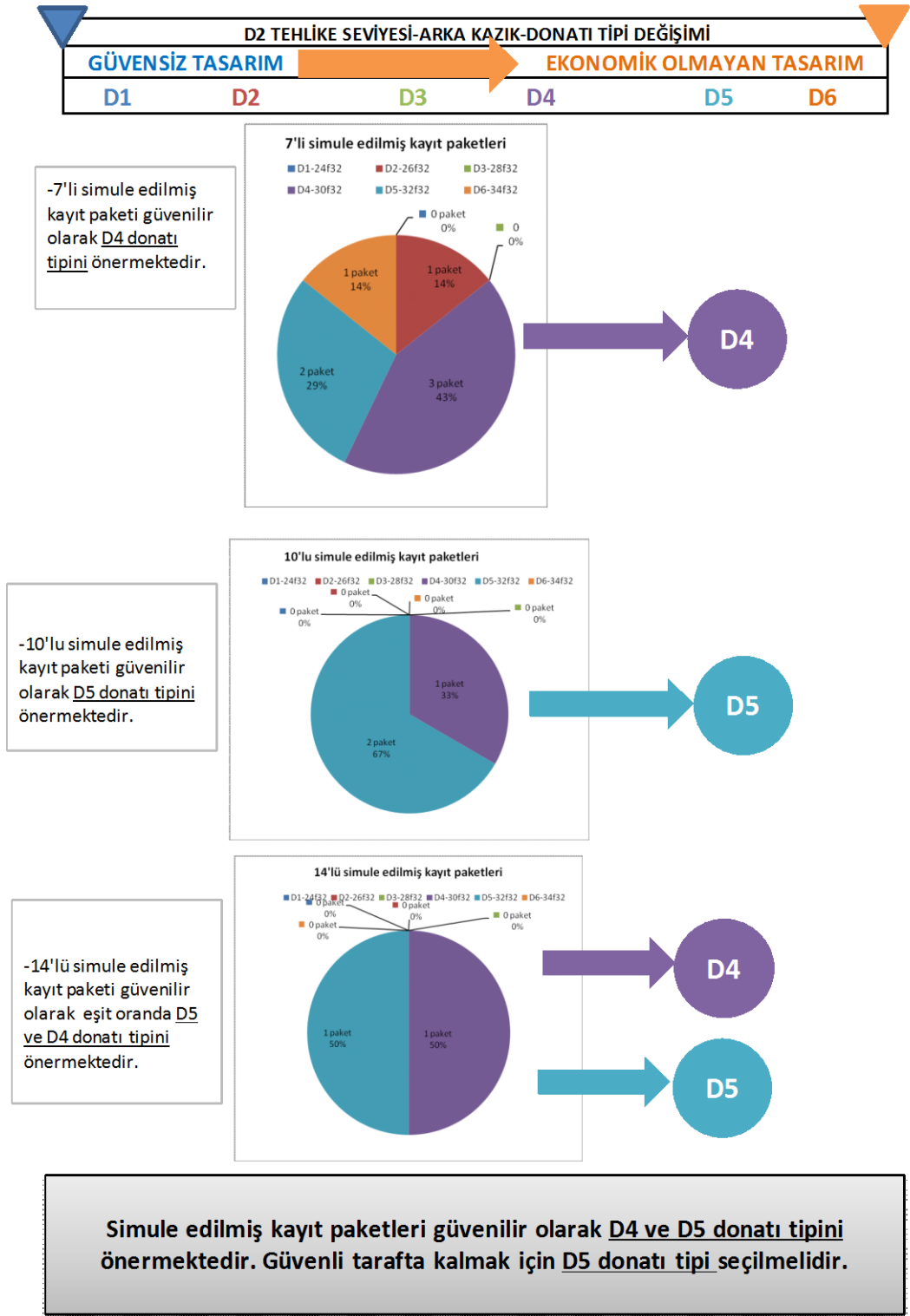
Paket No	Seçim Kriteri	M _{dizayn,ort}	M _{ort-SD}	Seçilen Donatı
R-47	7 simule edilmiş kayıt [0-25Hz]	5273	602	D4-30f32
R-48	7 simule edilmiş kayıt [0-20Hz]	5424	567	D4-30f32
R-49	7 simule edilmiş kayıt [0-15Hz]	5426	611	D4-30f32
R-50	Max-Moment 7 karışık simule kayıt	5938	52	D6-34f32
R-51	Min-Moment 7 karışık simule kayıt	4697	165	D2-26f32
R-52	Rastgele 10-simule kayıt-No1	5551	176	D5-32f32
R-53	Rastgele 14-simule kayıt-No1	5515	155	D5-32f32
R-54	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment)-simule	5798	85	D5-32f32
R-55	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment)-simule	5713	155	D5-32f32
R-56	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment)-simule	5833	69	D5-32f32
R-57	Rastgele 10-simule kayıt-No2	5315	407	D4-30f32
R-58	Rastgele 14-simule kayıt-No2	5443	413	D4-30f33

Tablo 4.12: D2 tehlike seviyesi analiz sonucuna göre simule edilmiş kayıtlardan oluşturulan paketlerin arka betonarme kazıkların dizayn moment değerleri ve seçilen donatı tipleri

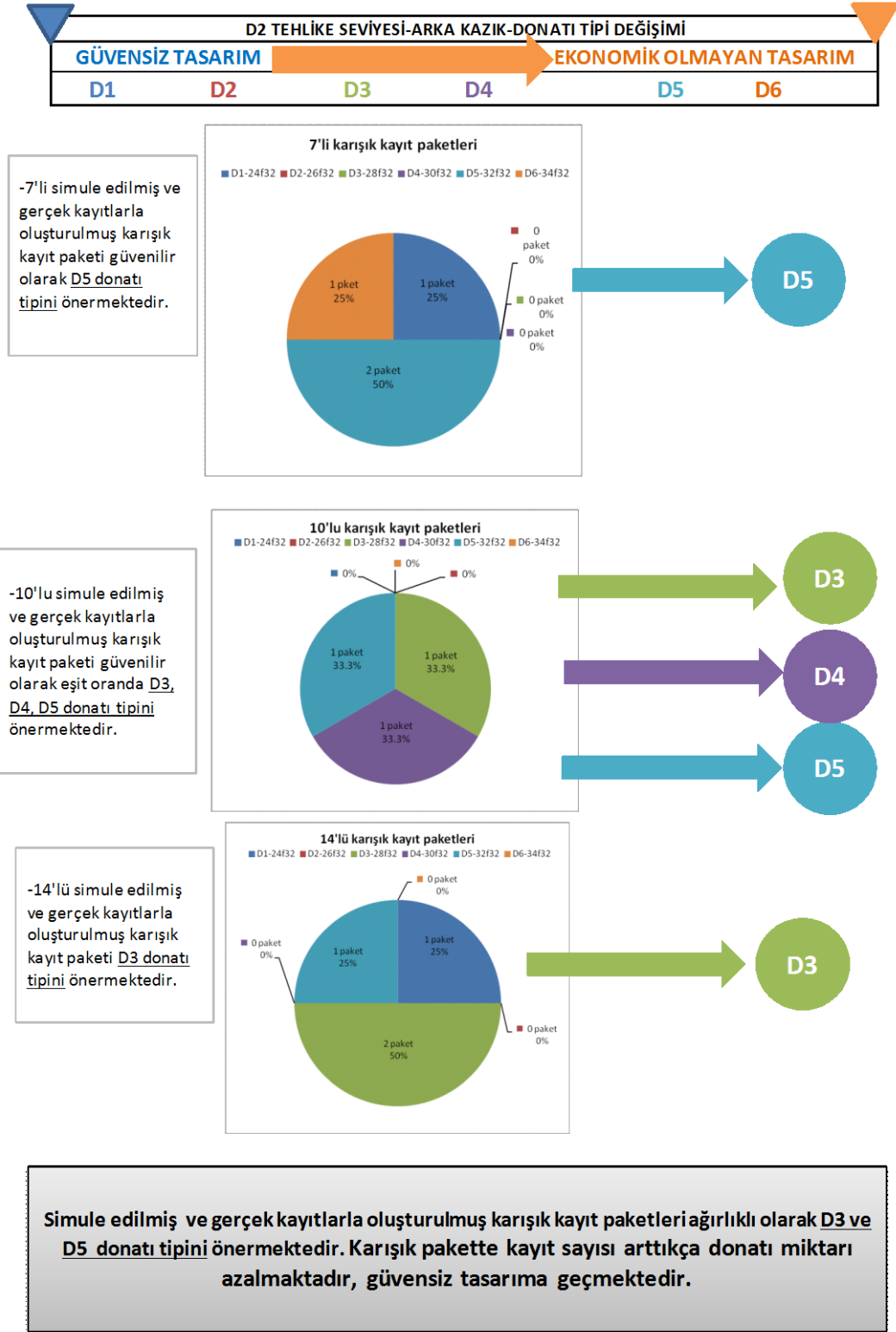
Paket No	Seçim Kriteri	M_{dizayn,ort}	M_{ort-SD}	Seçilen Donatı
R-59	Rastgele 10-karışık-No1	5233	227	D4-30f32
R-60	Rastgele 14-karışık-No1	5195	240	D3-28f32
R-61	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment)-karışık	5520	172	D5-32f32
R-62	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment)-karışık	5772	95	D5-32f32
R-63	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment)-karışık	5561	148	D5-32f32
R-64	Max moment veren-14-(karışık kayıt)	5817	222	D5-32f32
R-65	Min moment veren-14-(karışık kayıt)	4185	800	D1-24f32
R-66	Max moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment	6008	120	D6-34f32
R-67	Min moment veren-14-(karışık kayıt)-7 Min Moment	4363	104	D1-24f32
R-68	Rastgele 10-karışık-No2	5146	974	D3-28f32
R-69	Rastgele 14-karışık-No2	5028	874	D3-28f32



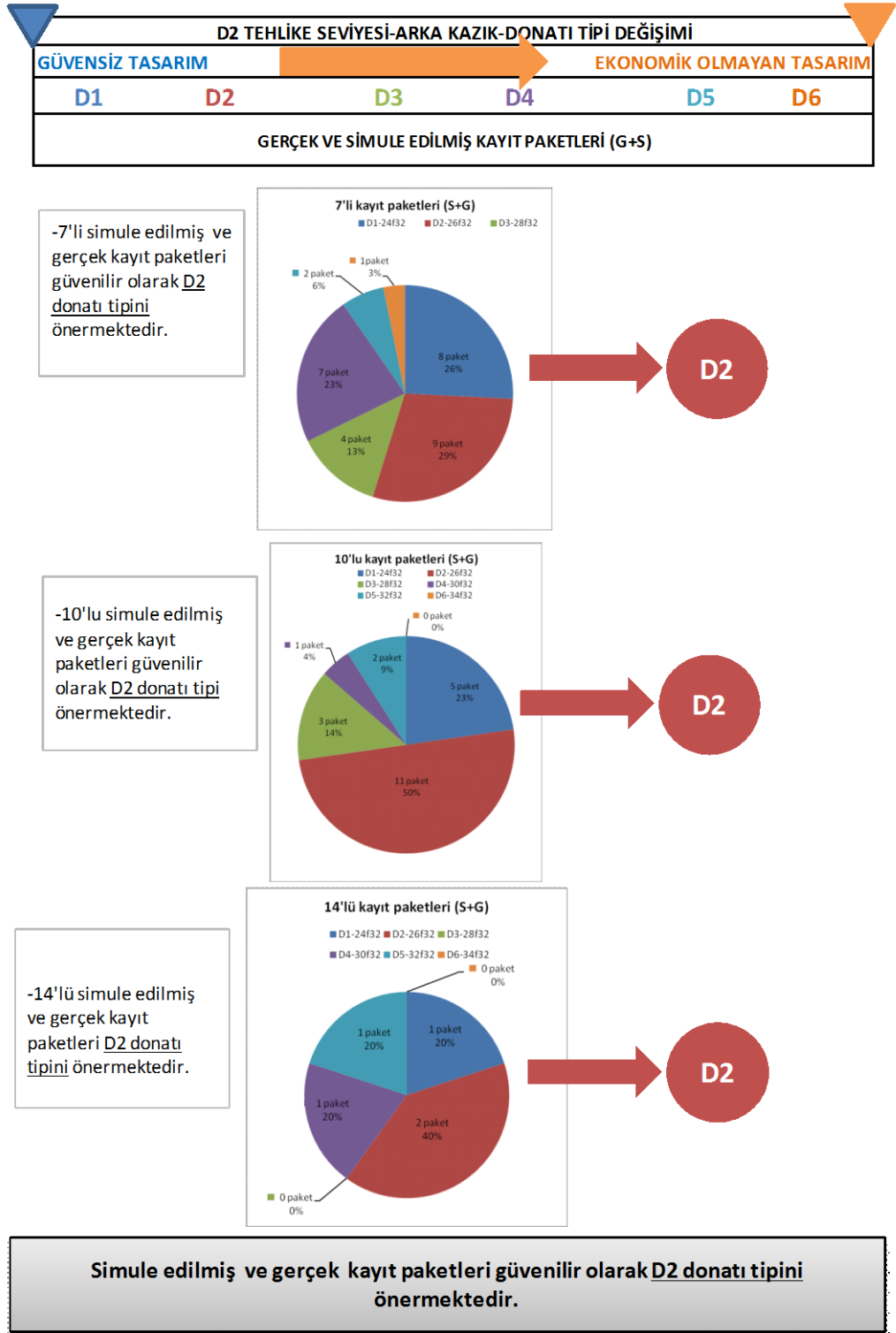
Şekil 4.49: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.



Şekil 4.50: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim



Şekil 4.51: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim

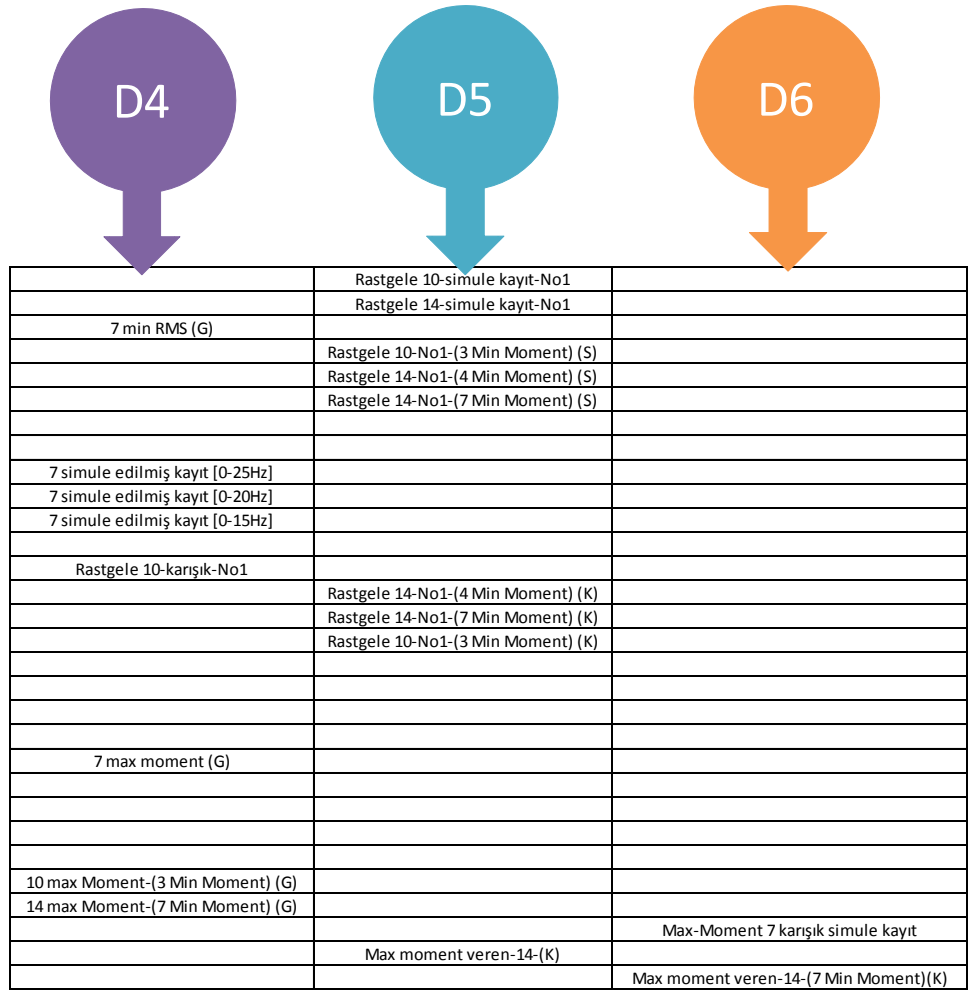


Şekil 4.52: D2 tehlike seviyesine göre gerçek kayıt paketleriyle analiz edilen çelik arka kazıkların seçilen kayıt paketine göre tasarımında değişim.



7 min Mw (G)	-	7 max Mw (G)	
7 min Vs (G)	7 max Vs (G)	-	
7 max RMS (G)			7 min RMS (G)
7 min SF (G)	7 max SF (G)		
	7 max S-PGA (G)		
	7 min S-PGA (G)		
7 min Rjb (G)		7 max Rjb (G)	
10 min Mw (G)		10 max Mw (G)	
	10 max Vs (G)		7 simule edilmiş kayıt [0-25Hz]
	10 min Vs (G)		7 simule edilmiş kayıt [0-20Hz]
10 max RMS (G)	10 min RMS (G)		7 simule edilmiş kayıt [0-15Hz]
	10 max S-PGA (G)		
	10 min S-PGA (G)	Rastgele 14-karşık-No1	Rastgele 10-karşık-No1
10 min Rjb (G)	10 max Rjb (G)		
son 10 kayıt (G)		ilk 7 kayıt (G)	
3 max Mw+4 min Mw (G)	3 max Rjb+4 min Rjb		
	Rastgele 10 (G)		
	Rastgele 14 (G)		
	Rastgele 10-(3 min moment) (G)		
	Rastgele 14-(4 min moment) (G)	Rastgele 14-(7 min moment) (G)	
7 min moment (G)			7 max moment (G)
10 min moment (G)		10 max moment (G)	
14 min moment (G)	14 max moment (G)		
10 min Moment-(3 Min Moment) (G)	14 min Moment-(4 Min Moment) (G)		
	14 min Moment-(7 Min Moment) (G)		
		14 max Moment-(4 Min Moment) (G)	10 max Moment-(3 Min Moment) (G)
			14 max Moment-(7 Min Moment) (G)
	Min-Moment 7 karşık simule kayıt		
Min moment veren-14-(K)			
Min moment veren 14-(7 Min Momnt) (K)			

Şekil 4.53: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen betonarme arka kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.



	Rastgele 10-simule kayıt-No1	
	Rastgele 14-simule kayıt-No1	
7 min RMS (G)		
	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment) (S)	
	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment) (S)	
	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment) (S)	
7 simule edilmiş kayıt [0-25Hz]		
7 simule edilmiş kayıt [0-20Hz]		
7 simule edilmiş kayıt [0-15Hz]		
Rastgele 10-karışık-No1		
	Rastgele 14-No1-(4 Min Moment) (K)	
	Rastgele 14-No1-(7 Min Moment) (K)	
	Rastgele 10-No1-(3 Min Moment) (K)	
7 max moment (G)		
10 max Moment-(3 Min Moment) (G)		
14 max Moment-(7 Min Moment) (G)		
		Max-Moment 7 karışık simule kayıt
	Max moment veren-14-(K)	
		Max moment veren-14-(7 Min Moment)(K)

Şekil 4.54: D2 tehlike seviyesine göre gerçek ve simule edilmiş kayıt paketleriyle analiz edilen betonarme arka kazıkları farklı tasarıma taşıyan kayıt paketleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

D2 tehlike seviyeli liman kazıkları analiz sonuçları incelendiğinde kayıt seçiminin tasarım üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Kayıt sayısı ve kombinasyonu değiştikçe kullanılan kazık et kalınlığı veya donatı miktarı artmaktadır/azalmaktadır. Liman kazıklarında D1 tehlike seviyeli analiz sonuçlarında gözlemlenen deplasmanlar güvenli deplasman seviyesi olan 30 cm'den (PIANC, 2001) küçük olduğu için yalnızca deplasman kriteri esas alınmıştır. D1 ve D2 tehlike seviyeli gömülü boru analizleri, dinamik yükleme altındaki çelik borularda moment etkisi düşük olduğundan yalnızca deplasman kriteri açısından değerlendirilmiştir. Tablo 5.1'de D2 tehlike seviyeli ön çelik kazık analizinde, değişen kayıt paketleriyle beraber kazık çapı et kalınlığının da P1-P3 arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 5.1: D2 tehlike seviyeli ön çelik kazık analizi, farklı kayıt paketleriyle değişen kazık tipleri

	Paket No	Seçim Kriteri	Kazık tipi	Tasarım
D2-Ön Çelik Kazık	F-30	Rastgele 10 (G)	P2 (2184/20)	
	F-32	Rastgele 10-(3 Min Moment) (G)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-31	Rastgele 14 (G)	P2 (2184/20)	
	F-33	Rastgele 14-(4 Min Moment) (G)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-34	Rastgele 14-(7 Min Moment) (G)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-37	10 max Moment (G)	P2 (2184/20)	
	F-41	10 max Moment-(3 Min Moment) (G)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-38	10 min Moment-(G)	P1 (2184/18)	
	F-42	10 min Moment-(3 Min Moment) (G)	P1 (2184/18)	değişmedi
	F-54	Rastgele 10-simule kayıt-No1 (S)	P2 (2184/20)	
	F-57	Rastgele 10-(3 Max Moment) (S)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-55	Rastgele 14-simule kayıt-No1 (S)	P2 (2184/20)	
	F-58	Rastgele 14-No1-(4 Max Moment) (S)	P2 (2184/20)	değişmedi
	F-59	Rastgele 14-No1-(7 Max Moment) (S)	P2 (2184/20)	değişmedi

Buna göre;

- Rastgele 10 gerçek kayıt seçilip, içinden 3 minimum moment veren kayıt çıkarıldığında kazık tipi-P2 değişmiyor. Buna göre yalnızca gerçek kayıtlardan oluşan 7, 10 ve 14'lü paketler aynı kazık tipini vermektedir.

- Yalnızca simüle edilmiş kayıtlardan oluşan paketlerde kayıt sayısı düştükçe tasarım değişmektedir. Yalnızca simüle edilmiş kayıtlar kullanılırken Rastgele 10-(3 max moment), Rastgele 14-(4 max moment) ve Rastgele 14-(7 max moment)'lü paketler kullanılması güvenli tarafta kalmamızı sağlayacağı için tercih sebebidir.

Tablo 5.2: D2 tehlike seviyeli arka betonarme kazık analizi, farklı kayıt paketleriyle değişen donatı tipleri

	Paket No	Seçim Kriteri	Donatı tipi	Tasarım
D2-Arka Betonarme Kazık	R-30	Rastgele 10 (G)	D2-26f32	
	R32	Rastgele 10-(3 Min Moment) (G)	D2-26f32	değişmedi
	R-31	Rastgele 14 (G)	D2-26f32	
	R-33	Rastgele 14-(4 Min Moment) (G)	D2-26f32	değişmedi
	R-34	Rastgele 14-(7 Min Moment) (G)	D3-28f32	değişti
	R-37	10 max Moment (G)	D3-28f32	
	R-44	10 max Moment-(3 Min Moment) (G)	D4-30f32	değişti
	R-38	10 min Moment-(G)	D1-24f32	
	R-41	10 min Moment-(3 Min Moment) (G)	D1-24f32	değişmedi
	R-39	14 max Moment (G)	D2-26f32	
	R-45	14 max Moment-(4 Min Moment) (G)	D3-28f32	değişti
	R-46	14 max Moment-(7 Min Moment) (G)	D4-30f32	değişti
	R-60	Rastgele 10 (S)	D5-32f32	
	R-61	Rastgele 10-(3 Max Moment) (S)	D4-30f32	değişti
	R-62	Rastgele 14 (S)	D5-32f32	
	R-64	Rastgele 14-(4 Max Moment) (S)	D4-30f32	değişti
	R-66	Rastgele 14-(7 Max Moment) (S)	D3-28f32	değişti

Tablo 5.2’de verilen arka betonarme kazık analiz sonuçlarına göre;

- Rastgele 14 gerçek kayıt seçip, içinden 7 min moment veren kaydı çıkarmak güvenli tarafta kalmamızı sağlamaktadır.
- 14 max moment veren gerçek veya karışık kayıt seçip içinden 4 veya 7 min moment veren kayıt çıkarmak güvenli tarafta kalmamızı sağlar.

Bulgular bölümünde sunulan kayıtların tasarıma etkisi bölümündeki tablo ve grafikler de göz önünde bulundurulduğunda çalışma sonuçlarına göre;

- Yalnızca gerçek kayıt seçtiğimiz durumda kayıt seçim prosedürüne en az 10 kayıtlarla başlamak gerektiği önerilmektedir. İlk tur analizler 10 kayıt ile

yapıldıktan sonra bu kayıtlardan en düşük moment veren 3 kayıt, 14 kayıt seçildiyse en düşük moment veren sırayla 4 ve 7 kayıt çıkarılarak tasarım yapılmalıdır.

- Sadece simule edilmiş kayıt kullanmak ekonomik olmayan tasarıma yönlendirmektedir. Simule edilmiş kayıtlarla yapılan analizler daha büyük sonuçlar verdiğiinden ötürü ekonomik olmayan seçimlere yönelmemek için, 10 kayıt-3 max moment veren kayıt, 14 kayıt-4 max moment veren kayıt, 14 kayıt-7 max moment veren kayıt yöntemi kullanılmalıdır.
- Rastgele 14-(4 min moment) veya (-7 min moment) karışık kayıt kullanmak güvenli tasarım sağlamaktadır.
- İyi analiz edilmemiş 7 kayıt riskli tasarıma, yalnızca simule edilmiş kayıt kullanmak ise pahalı tasarıma sebep olmaktadır.
- Bulgular bölümünde sunulan hem gömülü boru modeli hem de çelik kazıklı liman modeli beraber değerlendirildiğinde, V_{s30} , M_w , PGA , R_{jb} ve Ölçekleme faktörü ile moment ve deplasman değerleri arasında bir korelasyon olmadığı görülmüştür, dolayısıyla hedef tepki spektrumuna kayıt ölçeklemek için seçilen kayıtların bu özelliklerinden ziyade frekans içerikleri önemlidir. Kayıtların frekans içeriklerinin daha yoğun olduğu bazı kayıtlarda yüksek deplasman ve moment değerleri gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AKI, K. (1967), Scaling Law of Seismic Spectrum, *J. Geophys. Res.* 72, 1217–1231.
- Bao, H., J. Bielak, O. Ghattas, L. Kallivokas, D. O'Hallaron, J. Schewchuk and J. Xu (1998). Large-scale simulation of elastic wave propagation in heterogeneous media on paralel computers, *Computer methods in applied mechanics and engineering*, **152**, 85-102.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2007.
- Frankel, A. and J. Vidale (1992). A three-dimensional simulation of seismic waves in the Santa Clara Valley, California, from a Loma Prieta aftershock, *Bull. Seism. Soc. Am.* **82**, 2045-2074.
- Hanks, T. C. and R. K. McGuire (1981). The character of high frequency strong ground motion, *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 2071-2095.
- 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.
- Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Yayın Tarihi: 18.08.2007, Değişiklik: 26.12.2008, Resmi Gazete No: 27092.
- Komatitsch, D. (1997). Spectral and spectral element methods for the 2D and 3D elastodynamics equations in heterogeneous media, Ph.D. Thesis, Institut de Physique du Globe, Paris, France.
- Komatitsch, D. and J.-P. Vilotte (1998). The spectral element method: an efficient tool to simulate the seismic response of 2D and 3D geological structures. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **88**, 368-392.
- Komatitsch, D. and J. Tromp (1999). Introduction to the spectral element method for 3-D seismic wave propagation, *Geophys. J. Int.* **139**, 806-822.
- Li, X., J. Bielak, and O. Ghattas (1992). Three-dimensional earthquake site response on a CM-2, in *Proc. 10th World Conf. on Earthquake Eng.*
- Naeim, F. and M. Lew, "On the Use of Design Spectrum Compatible Time Histories", *Earthquake Spectra*, Vol. 11, No.1, 1995.

- Olsen, K. B., R. J. Archuleta, and J. R. Matarese (1996). Three-dimensional simulation of a magnitude 7.75 earthquake on the San Andreas fault, *Science* **270**, 1628-1632.
- Olsen, K. B. and R. J. Archuleta (1996). Three-dimensional simulation of earthquakes on the Los Angeles fault system, *Bull. Seism. Soc. Am.* **86**, 575-596.
- Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, 2006.
- Yomogida, K. and J. T. Egten (1993). 3-D wave propagation in the Los Angeles basin for the whittier-narrows earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* **83** 1325-1344.
- Toshinawa, T. and T. Ohmachi (1992). Love-wave propagation in a three dimensional basin, *Bull. Seism. Soc. Am.* **82**, 1661-1677.
- Pedersen, H. A., F. J. Sánchez-Sesma and M. Campillo (1994). Three-dimensional scattering by two-dimensional topographies, *Bull. Seism. Soc. Am.* **84**, 1169-1183.
- Kawase, H. (1988). Time-Domain response of a semi-circular canyon for incident SV, P, and Rayleigh waves calculated by the discrete wavenumber boundary element method, *Bull. Seism. Soc. Am.* **78**, 1415-1437.
- Chen, X. and Zhang H. (2001). An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space at Large Epicentral Distances, *Bull. Seism. Soc. Am.* **91**, 858 - 869.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **71**, 959 - 971.
- Irikura, K. (1986). Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, in *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.* 151-156, Tokyo, Japan.
- Kamae, K., K. Irikura, and A. Pitarka (1998). A technique for simulating strong ground motion using Hybrid Green's function, *Bull. Seism. Soc. Am.* **88**, 357-367.
- Chen, X. and Zhang H. (2001). An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space at Large Epicentral Distances, *Bull. Seism. Soc. Am.* **91**, 858 - 869.
- Bouchon, M. (1979). Discrete wave number representation of elastic wave fields in three-space dimensions, *J. Geophys. Res.* **84**, 3609-3614.
- Bouchon, M. (1980). Calculation of complete seismograms for an explosive source in a layered medium, *Geophysics* **45**, 197-203.
- Bouchon, M. and K. Aki (1977). Discrete wave number representation of seismic source wave fields, *Bull. Seism. Soc. Am.* **67**, 259-277.

- Irikura, K., Kagawa T. and Sekiguchi H. (1997). Revision of the empirical Green's function method, Seismological Society of Japan, B25 of 'Programme and Abstracts', Vol. 2.
- Hisada, Y. and Ohori M. (2011). Comparison of the Empirical Green's Spatial Derivative Method and Empirical Green's Function Method, *Bull. Seism. Soc. Am.* **101**, 2872-2886.
- Housner, G. W. (1947). Characteristics of strong-motion earthquakes, *Bull. Seis. Soc. Am.* **37**, 19 - 31.
- Housner, G. W. (1955). Properties of strong ground motion earthquakes, *Bull. Seis. Soc. Am.* **45**, 197-218.
- Thomson, W. T. (1959). Spectral Aspect Of Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* **49**, 91-98.
- Haskell, N. A. (1966). Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. Part II. A Statistical Source Model, *Bull. Seism. Soc. Am.* **56**, 125-140.
- Cartwright, D. E. and M. S. Longuet-Higgins (1956), The statistical distribution of the maxima of a random function, *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A* **237**, 212-223.
- Hanks, T. C. (1979a). Seismological aspects of strong motion seismology, *Proc. of the 2nd U.S. Natl. Conf. on Earthquake Eng.*, convened Stanford Univ., Aug. 22-24, 1979, 898-912.
- Hanks, T. C. (1979b). b values and $\omega^{-\gamma}$ seismic source models implications for tectonic stress variations along active crustal fault zones and the estimation of high frequency strong ground motion, *J. Geophys. Res.* **84**, 2235-2241.
- McGuire, R. K. and T. C. Hanks (1980). RMS accelerations and spectral amplitudes of strong ground motion during the San Fernando, California earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* **70**, 1907-1919.
- 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.
- Graizer V. Kalkan E. 2009. Prediction of Response Spectral Acceleration Ordinates based on PGA Attenuation, *Earthquake Spectra*, Vol. 25, No. 1, pp. 36 – 69.
- FLAC3D, ITASCA Inc., Dynamic Manual, Version 5.0, 2005.
- PLAXIS 2D Tutorial, Reference, Scientific ve Material Models Manual, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

N. Özge ZÜLFİKAR 1987 yılında İstanbul'da doğmuştur. 2005 yılında Özel Cent Koleji fen-matematik bölümünden mezun olmuş ve İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. Dört yıl süren lisans eğitimini 2009 yılında bitirdikten sonra, yüksek lisans öğrenimi için 2010 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başvurmuştur. Yüksek lisans öğrenimine İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde devam ederken aynı zamanda 2011 yılından itibaren Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Bölümünde proje asistanı olarak görev yapmaktadır.