

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA TBDY 2018'E
GÖRE ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNDE YÖNTEM II VE
III'ÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaşar ALTUN

Enstitü Anabilim Dalı	:	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Anabilim Dalı	:	GEOTEKNİK
Tez Danışmanı	:	Doç. Dr. Sedat SERT
Ortak Tez Danışmanı	:	Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK

Ekim 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA TBDY 2018'E
GÖRE ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNDE YÖNTEM II VE
III'ÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaşar ALTUN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 08/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yaşar Altun

08.10.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Sedat SERT ile Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde anlayış ve yardımlarını esirgemeyen EMLAK KONUT GYO AŞ. Yöneticileri ve çalışma arkadaşlarım ile Prof. Dr. Mustafa LAMAN, Dr. Şamil Şeref POLAT, İnş. Yük. Müh. Turgut BİLEN, Gizil TAK, Eyüp PAYAS ve Abdirrahman Yasin DUALE’ye teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek Lisans eğitimim sürecinde manevi desteklerini esirgemeyen eşim Reyhan ve çocuklarım Elif Betül ve Ömer Faruk’a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxii
SUMMARY	xxiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Teorik Çalışmalar	3
2.1.1. Kaynia (1982).....	3
2.1.2. Fan ve ark. (1991).....	4
2.1.3. El Marsafawi ve ark. (1992).....	4
2.1.4. Kavvadas ve Gazetas (1993)	4
2.1.5. Cairo ve Dente (2007)	5
2.1.6. Castelli ve ark. (2008)	5
2.1.7. Hussien ve ark. (2015).....	6
2.1.8. Boulanger ve ark. (1999).....	8
2.1.9. Lu ve ark. (2005)	9
2.1.10. Hokmabadi ve ark. (2014).....	9
2.1.11. Luo ve ark. (2016)	9

2.1.12. . Hussein ve ark. (2016).....	10
2.1.13. Zhang ve Liu (2017)	10
2.1.14. Ullah ve ark. (2018).....	10
İÇİNDEKİLER 2.2. Yapı-Zemin Etkileşimi Teorisi	11
2.2.1. Dinamik yapı-zemin etkileşimi	11
2.2.2. Kinematik etkileşim.....	13
2.2.3. Eylemsizlik etkileşimi	14
2.3. Zemin-Yapı-Kazık Etkileşimi İle İlgili Yönetmelikler.....	14
2.4. Literatür ve Yönetmeliklerin Değerlendirilmesi.....	15

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Geoteknik Çalışmalar	16
3.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	17
3.1.2. Pressiyometre deneyi.....	17
3.1.3. Konik penetrasyon testleri (CPTU)	19
3.1.4. Jeofizik çalışmalar	20
3.1.5. Laboratuvar çalışmaları	22
3.1.6. İdealize zemin profili.....	28
3.2. Depremsellik Analizleri.....	29
3.2.1. Deprem etkisinin tanımlanması	30
3.2.1.1. Mevcut yönetmeliklerde deprem etkisinin tanımlanması.....	30
3.2.1.2. Proje için önerilen deprem etkisi	30
3.2.2. Deprem tehlikesinin değerlendirilmesi.....	31
3.2.2.1. Bölgenin jeolojisi ve yerel zemin koşulları	31
3.2.2.2. Bölgenin tektonik ve sismotektonik yapısı.....	34
3.2.2.3. İzmir ve çevresindeki tarihsel dönem deprem oluşumları	37
3.2.2.4. İzmir ve civarındaki güncel depremsellik.....	38
3.2.3. Olasılıksal deprem tehlike değerlendirilmesi	40
3.2.4. Analizlerde kullanılacak deprem yer hareketinin seçimi.....	43
3.3. Zemin Tepki Analizleri.....	93
3.3.1. DeepSoil programı.....	93

3.3.2. DeepSoil programının yapısı	94
3.3.3. DeepSoil programının kullanımı	94
3.4. Etkileşim Analizleri	99
3.4.1. Çubuk (frame) eleman tariflemesi	99
3.4.2. Analiz yöntemi	100
3.4.3. Malzeme özellikleri	101
3.4.4. Kesit bilgisi.....	102
3.4.5. Yay geometrisi.....	103
3.4.6. Zemin yayları (P-Y zemin yayları).....	106
3.4.6.1. Kum zemin yaylarının bulunması.....	107
3.4.6.2. Yumuşak kil zemin yaylarının bulunması	109
3.4.6.3. Su altındaki sert killer için yaylarının bulunması	111
3.4.7. Yay özelliklerinin girilmesi	119
3.4.7.1. P-Y yay özelliklerinin girilmesi.....	120
3.4.7.2. T-Z yay özelliklerinin girilmesi.....	121
3.4.7.3. Q-Z yay özelliklerinin girilmesi	122
3.4.8. Zaman tanım alanında deplasman zaman yükü girdisi.....	122
3.4.9. Statik deplasman girdisi.....	123
3.4.10. Zaman tanım alanında deplasman zaman yükü girdilerinin birleştirilmesi	124
3.4.11. Statik deplasman girdilerinin birleştirilmesi.....	125

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	128
4.1. Analiz Programı.....	128
4.2. DeepSoil Analiz Sonuçları.....	129
4.3. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	131
4.3.1. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçlar	131
4.3.2. Deplasman yönteminde deprem düzeyinin etkisi	135
4.3.3. TH (Time History) yöntemi ile elde edilen sonuçlar.....	137
4.3.4. TH yönteminde deprem düzeyinin etkisi.....	141
4.3.5. Yöntem II (TH) ve Yöntem III'ün (Deplasman)	

karşılaştırılması.....	143
------------------------	-----

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR	147
----------------------------	-----

İÇİNDEKİLER

KAYNAKLAR	149
-----------------	-----

EKLER.....	154
------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	174
----------------	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	: American Association of State Highway Officials
(k_j^p)	: Statik rijitlik
(kc_j^p)	: Sönüm parametresi
X_R	: Zemin yüzeyinden itibaren yanal taşıma gücünün azaldığı derinlik
A	: Statik ve tekrarlı yük durumuna bağlı faktör
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü (American Petroleum Institute)
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CPTU	: Koni Penetrasyon Deneyi (Cone Penetration Test)
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
D	: Kazık çapı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
EC8	: Eurocode8
f_s	: Koni sürtünme direnci
g	: Yerçekimi ivmesi
G_{max}	: Kayma modülü
H	: Derinlik (m)
I	: Eğim derecesi
IBC	: International Building Code
İYBDY	: İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
k	: Zemin yanal yatak katsayısı
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MASW	: Multi Channel Analysis of Surface Waves

MCE	: Maximum Considered Earthquake
M_w	: Deprem moment büyüklüğü
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
P	: Gerçek yanal direnç
PI	: Plastisite indisi
P_u	: Nihai yanal taşıma gücü değeri
q_c	: Koni uç direnci
R_f	: Sürtünme oranı
Sae (T)	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
SD1	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
SDS	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)
S_s	: Spektral ivme
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
TH	: Time History
TL	: Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
TLD	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
V_s	: Kayma dalgası hızı
V_{s30}	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
X	: Zemin yüzeyinden derinlik
y	: Yanal deplasman
γ	: Doğal birim hacim ağırlık
ν	: Poisson oranı
ξ	: Sönüm oranı
ϕ'	: Kum zeminin kayma mukavemet açısı
ω	: Zeminin doğal frekansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İki tabakalı zemin profilinde serbest başlı bir kazığın kinematik eğilimi (Castelli ve ark. 2008).....	6
Şekil 2.2. Zemin-Kazık-Yapı sistemi, ağ oluşturma ve ilgili sınır koşullar (Hussien ve ark. 2015).	7
Şekil 2.3. Zemin-Kazık etkileşim yayı modeli (Hussien ve ark. 2015).	7
Şekil 2.4. Farklı zemin koşullarında yapıların dinamik tepkisi (a) Arazi modeli (b) Mostra olarak görünen kaya (c) Serbest alan (d) Kinematik etkileşim (c) Eylemsizlik etkileşimi (Wolf, 1985).....	12
Şekil 2.5. Yüzeysel ve derin temellerde kinematik etkileşim şekilleri (Lu, 2016)	14
Şekil 2.6. Eylemsizlik etkileşimi (a) Yatay salınım modu, (b) Dönme salınım modu (Lu, 2016)	14
Şekil 3.1. SPT değerlerinin derinlikle değişimi	17
Şekil 3.2. Elastisite modülünün derinlikle değişimi.....	18
Şekil 3.3. Net limit basıncının derinlikle değişimi.....	18
Şekil 3.4. CPT 1 Deney Sonuçları	19
Şekil 3.5. CPT 2 Deney Sonuçları	20
Şekil 3.6. MASW deneyleri ile elde edilen kayma hızının derinlikle değişimi	21
Şekil 3.7. PS Logging deneyleri ile elde edilen kayma hızının derinlikle değişimi	21
Şekil 3.8. Su Muhtevası Yüzdesinin Derinlikle Değişimi.....	22
Şekil 3.9. Doğal Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin Derinlikle Değişimi	23
Şekil 3.10. Plastik Limit Yüzdesinin Derinlikle Değişimi.....	23
Şekil 3.11. Likit Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi.....	24
Şekil 3.12. Plastisite İndisinin Değerlerinin Derinlikle Değişimi.....	24
Şekil 3.13. Kohezyon Değerlerinin Derinlikle Değişimi	25
Şekil 3.14. Kohezyon Değerlerinin Derinlikle Değişimi	25
Şekil 3.15. Kohezyon Değerlerinin Derinlikle Değişimi	26

Şekil 3.16. İçsel Sürtünme Açısının Derinlikle Değişimi	26
Şekil 3.17. İçsel Sürtünme Açısının Derinlikle Değişimi	27
Şekil 3.18. İçsel Sürtünme Açısının Derinlikle Değişimi	27
Şekil 3.19. İzmir ve yakın çevresinin Jeoloji haritası	32
Şekil 3.20. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun.	33
Şekil 3.21. İzmir ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Baysal ve diğer 2010) ..	35
Şekil 3.22. Çalışma alanı ve yakın civarının aktif fayları, çizgisellikleri (beyaz ile gösterilen) ve aletsel dönemdeki depremlerin fay düzlemi çözümleri (Ocakoglu ve Demirbağ, 2005).....	36
Şekil 3.23. İzmir yakın çevresi aktif fayları (İzmir Büyükşehir Belediyesi Ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Araştırma Projesi (2000)	36
Şekil 3.24. İzmir ve çevresinde Tarihsel (1900 öncesi) depremlerin merkez üssü dağılımı.	37
Şekil 3.25. İzmir ve çevresinde 20. Yüz yılda meydana gelmiş depremlerin merkezüssü dağılımı.	39
Şekil 3.26. 01.04 1901- 31.07.2019 tarihleri arasını içeren deprem kataloğunun Decluster işlemi yapılmadan önceki hali.	41
Şekil 3.27. Decluster işlemi yapılmış Deprem kataloğu.	42
Şekil 3.28. Seçilen Deprem Yer Hareketlerine Ait (DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme ve Spektral Deplasman Bileşke Spektrumları ve Ortalamaları	47
Şekil 3.29. Seçilen Deprem Yer Hareketlerine Ait (DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme ve Spektral Deplasman Bileşke Spektrumları ve Ortalamaları	48
Şekil 3.30. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	49
Şekil 3.31. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	50

Şekil 3.32. Iwate Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	51
Şekil 3.33. Iwate Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	52
Şekil 3.34. Cape Mendocino Depremi, Collegeofthe Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	53
Şekil 3.35. Cape Mendocino Depremi, Collegeofthe Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	54
Şekil 3.36. Hector Mine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	55
Şekil 3.37. Hector Mine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	56
Şekil 3.38. Chuetsu-oki Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	57

Şekil 3.39. Chuetsu-oki Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	58
Şekil 3.40. Darfield New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	59
Şekil 3.41. Darfield New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	60
Şekil 3.42. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	61
Şekil 3.43. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	62
Şekil 3.44. ImperialValley-06 Depremi, Cerro Prieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	63
Şekil 3.45. ImperialValley-06 Depremi, Cerro Prieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	64

Şekil 3.46. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_CHICHI.03_ TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	65
Şekil 3.47. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_CHICHI.03_ TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	66
Şekil 3.48. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	67
Şekil 3.49. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	68
Şekil 3.50. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03_ TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	69
Şekil 3.51. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03_ TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	70
Şekil 3.52. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	71
Şekil 3.53. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait	

İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	72
Şekil 3.54. Iwate ,Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	73
Şekil 3.55. Iwate ,Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	74
Şekil 3.56. Cape Mendocino Depremi, Collegeofthe Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	75
Şekil 3.57. Cape Mendocino Depremi, Collegeofthe Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	76
Şekil 3.58. HectorMine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	77
Şekil 3.59. HectorMine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	78
Şekil 3.60. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias	

Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	79
Şekil 3.61. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	80
Şekil 3.62. Darfield NewZealand Depremi, HeathcoteValleyPrimarySchool İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	81
Şekil 3.63. Darfield ,NewZealand Depremi, HeathcoteValleyPrimarySchool İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	82
Şekil 3.64. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	83
Şekil 3.65. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	84
Şekil 3.66. ImperialValley-06 Depremi, CerroPrieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	85
Şekil 3.67. ImperialValley-06 Depremi, CerroPrieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer	

Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	86
Şekil 3.68. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_ CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_ CHICHI.03_TCU122E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	87
Şekil 3.69. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_ CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_ CHICHI.03_TCU122E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	88
Şekil 3.70. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.	89
Şekil 3.71. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).....	90
Şekil 3.72. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_ CHICHI.03_TCU075N ve RSN2626_ CHICHI.03_TCU075E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.....	91
Şekil 3.73. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_ CHICHI.03_TCU075N ve RSN2626_ CHICHI.03_TCU075E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	92
Şekil 3.74. Analizde Kullanılacak Deprem Kayıt Dosyasının Programa Girilmesi.	95
Şekil 3.75. Analiz Tanıtımının Yapıldığı Pencere	96
Şekil 3.76. Zemin Düşey Kesitinin ve Yapılması İstenen Analizlerin Tanıtıldığı Pencere	97

Şekil 3.77. Anakaya Girdi Bilgilerinin Tanıtılması.	97
Şekil 3.78. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.	98
Şekil 3.79. Analiz Kontrol Penceresi.	98
Şekil 3.80. Yapısal Program Sap2000 çubuk yönleri	100
Şekil 3.81. Tek Bir Düzlemde Hesap İçin Model Seçeneği Girdi Ekranı.....	101
Şekil 3.82. Malzeme Bilgisi Girdi Ekranı.....	102
Şekil 3.83. Kesit Bilgisi Girdi Ekranı.....	103
Şekil 3.84. p-y ve t-z Yayları İçin Çubuk Yay Elemanı Girdisi	104
Şekil 3.85. Q-z Yayları İçin Çubuk Yay Elemanı Girdisi.....	105
Şekil 3.86. p-y, t-z ve Q-z Yaylarının Kazık Modelinde Şematik Gösterimi	106
Şekil 3.87. C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları	108
Şekil 3.88. k değerleri	109
Şekil 3.89. Sert kilde statik yüklemde önerilen P-Y kriterinin karakteristik şekli (Reese ve diğerleri, 1975)	112
Şekil 3.90. Sert kilde tersinir yüklemde önerilen P-Y kriterinin karakteristik şekli (Reese ve diğerleri, 1975)	112
Şekil 3.91. Nihai zemin direnci ve boyutsuz derinlik için A_c ve A_s katsayıları (Reese ve diğerleri, 1975).....	114
Şekil 3.92. D=120cm, L=1 metre için p-y eğrisi	117
Şekil 3.93. D=120cm, L=5 metre için p-y eğrisi	118
Şekil 3.94. Analizlerde kullanılan kum zeminlere ait p-y eğrileri (D=120cm).....	119
Şekil 3.95. Analizlerde kullanılan kil zeminlere ait p-y eğrileri (D=120cm)	119
Şekil 3.96. p-y ve t-z Yaylarının Link Eleman Olarak Tariflenmesi	120
Şekil 3.97. p-y Yay Özelliklerinin Girdi Ekranı	121
Şekil 3.98. t-z Yay Özelliklerinin Girdi Ekranı	121
Şekil 3.99. Q-z Yay Özelliklerinin Girdi Ekranı.....	122
Şekil 3.100. Örnek Bir Deplasman-Zaman Grafiği Girdisi	123
Şekil 3.101. Statik Deplasman Girdisi	124
Şekil 3.102. Örnek Bir 'Load Case' Girdisi.....	125
Şekil 3.103. Tüm 'Load Case'ler	125
Şekil 3.104. Örnek Bir 'Load Pattern Girdisi.....	126
Şekil 3.105. Örnek Bir Kombinasyon Girdisi	126

Şekil 3.106. Tüm Kombinasyonlar	127
Şekil 4.1. DD2 deprem düzeyi için elde edilen toplam deplasman-derinlik ilişkisi	130
Şekil 4.2. DD2 deprem düzeyi için elde edilen toplam deplasman-derinlik ilişkisi	130
Şekil 4.3. DD1 deprem düzeyi için elde edilen TH toplam deplasman–zaman ilişkisi (1. metre)	131
Şekil 4.4. DD2 deprem düzeyi için elde edilen TH toplam deplasman – zaman ilişkisi (1. metre)	131
Şekil 4.5. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi	132
Şekil 4.6. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi	133
Şekil 4.7. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi	133
Şekil 4.8. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi	134
Şekil 4.9. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi	134
Şekil 4.10. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi	135
Şekil 4.11. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için moment değişimi yönünden karşılaştırılması	136
Şekil 4.12. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için kesme kuvveti değişimi yönünden karşılaştırılması	136
Şekil 4.13. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için normal kuvvet değişimi yönünden karşılaştırılması	137
Şekil 4.14. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi	138
Şekil 4.15. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi	138
Şekil 4.16. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi	139

Şekil 4.17. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi.....	139
Şekil 4.18. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi.....	140
Şekil 4.19. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi.....	140
Şekil 4.20. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için moment değişimi yönünden karşılaştırılması	141
Şekil 4.21. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için kesme kuvveti değişimi yönünden karşılaştırılması	142
Şekil 4.22. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için normal kuvvet değişimi yönünden karşılaştırılması	142
Şekil 4.23. DD1 deprem düzeyi için momentler yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	144
Şekil 4.24. DD1 deprem düzeyi için kesme kuvveti yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	144
Şekil 4.25. DD1 deprem düzeyi için normal kuvvet yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	145
Şekil 4.26. DD2 deprem düzeyi için momentler yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	145
Şekil 4.27. DD2 deprem düzeyi için kesme kuvveti yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	146
Şekil 4.28. DD2 deprem düzeyi için normal kuvvet yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.....	146
Şekil A.1. Ortak sistem yaklaşımı	158
Şekil A.2. Altsistem yaklaşımı.....	159
Şekil B.1. TBDY, 2018 e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumu	171
Şekil B.2. TBDY, 2018 e göre Düşey elastik tasarım ivme spektrumu	172

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Seçilen Deprem Yer Hareketlerinin Karakteristik Özellikleri.....	46
Tablo 3.2. p-y hesaplamasında kullanılan X değerleri.....	110
Tablo 3.3. Tipik ϵ_c değerleri (Skempton AW, 1951)	111
Tablo 3.4. Sert kil için önerilen k değerleri (Reese ve diğerleri, 1975).....	114
Tablo 3.5. Sert kil için ϵ_c değerleri (Reese ve diğerleri, 1975).....	114
Tablo 3.6. Kum için hesaplanan p-y eğrileri (L=1m)	117
Tablo 4.1. Seçilen Deprem Yer Hareketleri ve Analizler	129

ÖZET

Anahtar Kelimeler: kinematik etkileşim, TBDY 2018, zaman tanım alanı, sonlu elemanlar, Deep Soil programı, zemin tepki analizi.

Ülkemiz dünyanın en etkili deprem kuşaklarının birinde yer almakta olup, geçmişte günümüze kadar meydana gelen depremler büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Oluşan hasarlara yetersiz zemin etütleri, yönetmeliklerde yer alan eksiklikler, inşaat kalitesinin yetersiz olması ve yerel zemin koşullarının deprem etkilerin büyütmesi gibi faktörler neden olmaktadır. Geçmişten günümüze kadar birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiş olsa da zemin etkilerinin dikkate alındığı ilk yönetmelik 2018’de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği sayılabilir. Bu yönetmelikte zeminlerle ilgili birçok konuya yer verilmiş olup, bu yönetmeliğin en önemli yeniliği yapı-kazık-zemin etkileşim analizlerinin belirli yapılarda zorunlu hale getirilmesidir. Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizlerinde kullanılacak yöntemler TBDY 2018’de Yöntem I, Yöntem II ve Yöntem III olarak üç farklı metot ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada uygulamadan bir vaka ele alınarak, depremselliği yüksek olan bir bölgede TBDY 2018’de Yöntem II ve Yöntem III olarak isimlendirilen yöntemler arasındaki farklar araştırılmıştır. Analizlerde 7 farklı depremin DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde deprem düzeyinin kazık davranışını doğrudan etkilediği görülmektedir. Ayrıca etkileşim analizlerinde Yöntem III olarak bilinen deplasman yönteminde seçilen deprem verisinin sonuçları çok etkilemediği, Yöntem II’de ise (TH-Zaman Tanım Alanı Yöntemi) deprem verileri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Ayrıca Yöntem II ile yapılan analizlerde kazıkta oluşan etkiler Yöntem III’e göre yaklaşık 2 kat fazla elde edilmiştir.

COMPARISON OF METHOD II AND III IN SOIL-STRUCTURE INTERACTION ACCORDING TO TBDY 2018 IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS

SUMMARY

Keywords: Kinematic interaction, TBDY 2018, Time History Method, Finite Element Method, DeepSoil Program, Site response analysis.

Turkey is located in one of the major earthquake belts in the world and earthquakes that have occurred in the past until today have caused great loss of life and property. Insufficient soil investigations, deficiencies in regulations, inadequate construction quality and local ground conditions amplify earthquake effects. Although many earthquake regulations have been used in practice from the past to the present, the first regulation that takes into account the soil effects is the Turkish Building Earthquake Code (TBDY) published in 2018. In this code, many issues related to soils are included, and the most significant addition is the structure-pile-soil interaction analyses that are made compulsory for certain structures. Structure-pile-soil interaction analyses are defined in TBDY 2018 as three different methods, Method I, Method II and Method III. In this study, the differences between two methods namely Method II and Method III in TBDY 2018 in a region with high seismicity were investigated by considering a case study. In the analysis, the effects of 7 different input motions for DD1 and DD2 earthquake levels were investigated. According to the results, the earthquake level directly affects the pile behavior. In addition, in the interaction analysis, it was observed that the earthquake data selected in the displacement method, known as Method III, did not affect the results much, and there were differences between the earthquake data in Method II (TH-Time History Method). Additionally, the shear and moment effects on the pile were obtained approximately 2 times more in Method II than with Method III.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz dünyanın en etkili deprem kuşaklarının birinde yer almakta olup, geçmişte günümüze kadar meydana gelen depremler büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Meydana gelen depremler nedeniyle oluşan kayıplar incelendiğinde bunlara yetersiz zemin etütleri, yönetmeliklerde yer alan eksiklikler, inşaat kalitesinin yetersiz olması ve yerel zemin koşullarının deprem etkilerini büyütmesi gibi faktörlerin etkili olduğu görülmüştür. Geoteknik mühendisliğinin en önemli problemlerinden birisi yapıların taşıma gücü ve oturma açısından sorunlu zeminlerde inşa edilmesidir. Bu tür zeminlerde zemin iyileştirme yöntemleri ile problem ortadan kaldırılmaya çalışılsa da gerek yük koşulları gerekse yapının işlevselliği açısından derin temel (kazıklı temel) sistemi ile çözüm yapılması zorunlu olabilmektedir. Geçmişten günümüze kadar 1940, 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında yayınlanan deprem yönetmelikleri ile deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların tasarım esasları belirlenmiştir. Ancak derin temellerin tasarıma ilişkin tasarım esasları ilk defa 2018 yönetmeliğinde detaylı olarak ele alınmıştır. 2018 yönetmeliğinden önce derin temellerin tasarımında genel olarak uluslararası kabul görmüş teorik yaklaşımlar ve uluslararası yönetmelikler kullanılmaktaydı. Bu yöntem ve yönetmeliklerle derin temellerin sadece statik koşullardaki davranışı dikkate alınmakta olup dinamik yükler altındaki davranış dikkate alınmamaktadır. Ayrıca kazıkların üst yapı ve zemin ile etkileşiminin deprem bölgelerinde birlikte ele alınması da büyük önem taşımaktadır.

Deprem yükleri altında yapının kazık ve zeminle etkileşimi ilk olarak 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te dikkate alınmıştır. Ancak bu yönetmelikte etkileşim analizleri basit bir yaklaşımdan öteye gitmemiştir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde ise kazıkların statik yükler altında tasarım esasları yanı sıra belirli yapı sınıfları ve yerel zemin koşulları için yapı-

kazık-zemin etkileşimi analizleri zorunlu hale gelmiştir. Yapı-kazık-zemin etkileşimi problemlerinde, zeminin karmaşık olan üst yapı ile birlikte analiz edilmesi ve zemin etkilerinin yapıya gerçekçi olarak yansıtılması oldukça zor ve karmaşıktır. Özellikle üst yapı analizlerinde kullanılan lineer yaklaşımların, heterojen ve anizotropik zemin koşulları için kullanılamaması yapı-kazık-zemin etkileşimi problemlerini daha da karmaşık hale getirmektedir.

Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizlerinde kullanılacak yöntemler TBDY 2018’de Yöntem I, Yöntem II ve Yöntem III olarak üç farklı metot ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada uygulamadan bir vaka ele alınarak, depremselliği yüksek olan bir bölgede TBDY 2018’de Yöntem II ve Yöntem III olarak isimlendirilen yöntemler arasındaki farklar araştırılmıştır.

Tez çalışması beş ana bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde tez amacını belirten “Giriş”, ikinci bölümde literatür çalışmalarının değerlendirildiği “Önceki Çalışmalar”, üçüncü bölümde vaka analizi ile ilgili zemin bilgilerinin ve depremsellik bilgilerinin yer aldığı “Materyal ve Yöntem”, dördüncü bölümde sonuçların sunulduğu “Bulgular” ve beşinci bölümde sonuçların değerlendirildiği “Sonuçlar ve Tartışma” kısmı yer almaktadır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kazıkların statik yükler altındaki davranışı ve tasarım esasları ile ilgili birçok teorik, sayısal ve deneysel çalışma mevcuttur. Benzer şekilde tek bir kazık elemanının dinamik yükler altındaki davranışı da birçok çalışmada araştırılmıştır. Ancak kazığın yapı ve zeminle birlikte etkileşimini ele alan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Tez çalışmasının bu bölümünde yapı-kazık-zemin etkileşimi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar özetlenecektir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 ile uluslararası yönetmeliklerde yer alan yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri ile ilgili hesap adımlarına değinilecektir.

2.1. Teorik Çalışmalar

2.1.1. Kaynia (1982)

Kaynia (1982) yarı sonsuz zemin ortamında grup kazıkların dinamik davranışını incelemiştir. Çalışmada üniform yükleme durumu için kazık-zemin ara yüzeyinde meydana gelen yer değiştirmeleri, zeminin elastisitesi ile kazığın sertlik ve esneklik matrislerine bağlı formülasyon ile hesaplamıştır. Elde edilen sonuçlar kazık gruplarının davranışının frekans temelli olduğunu göstermektedir. Sismik davranış açısından değerlendirildiğinde grup kazıklar genel olarak yer hareketinin düşük frekanslı bileşenlerini takip etmekte ve temelin tipik boyutları için dönme bileşeni ihmal edilebilir düzeyde oluşmaktadır. Kaynia, etkileşim faktörlerinin homojen ortamlarda geçerli olduğunu, homojen olmayan ortamlarda geçerliliğin azaldığını gözlemlemiştir.

2.1.2. Fan ve ark. (1991)

Fan ve ark. (1991) rijit kütlesiz başlıklarla birleştirilmiş kazık gruplarının kinematik etkisini düşey olarak yayılan harmonik S dalgalarının etkisi altında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada kazık-zemin ve kazık-kazık etkileşim etkileri üzerinde çalışılmıştır. İdealize edilmiş üç farklı zemin profili için (homojen bir yarı uzay, modülü derinlikle orantılı değişen bir yarım uzay ve iki tabakalı bir profil) kazık grubu konfigürasyonları değiştirilerek parametrik olarak kinematik etkiler incelenmiştir. Çalışmada doğal zemin profilinin tüm frekanslar için etkili olduğu görüşmüştür. Ayrıca kazık grubu konfigürasyonu, kazık sayısı ve kazıklar arası mesafenin yanal yer değiştirmelerde önemsiz iken kazık başlığının dönmesinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Kazık başlığının “sabitlik” koşullarının ve kazık zemin modül oranının tek bir kazık ve kazık grubunun sismik davranışını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

2.1.3. El Marsafawi ve ark. (1992)

El Marsafawi ve ark. (1992) rijit bir temeli destekleyen ve harmonik yüklemeye maruz kalan iki farklı kazık grubunun davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, lineer elastik teorilerin, grup kazıkların rezonans frekansı ve genliği karakterlerini modellemede kullanılabilirliği incelenmiştir. Birinci kazık grubu kohezyonsuz bir zemin tabakasına çakılmış 3.05 m uzunluğunda ve dış çapı 0.102 m olan çelik borudan imal edilmiştir. İkinci kazık grubu ise bir kil sahada 7 m uzunluğunda, 0.32 m çapında altı adet yerinde dökme kazıktan oluşmaktadır. Yapılan deneylere ait sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırıldığında, lineer teorinin grup rijitliği için doğru sonuç verdiği ancak grup sönümünü doğru yansıtmadığı görülmüştür.

2.1.4. Kavvadas ve Gazetas (1993)

Kavvadas ve Gazetas (1993) serbest başlıklı kazıkların kinematik davranışını incelemiştir. Çalışma kayma dalgası hızları arasındaki farkın çok olduğu iki tabakalı zemin koşulunda gerçekleştirilmiştir. Kinematik etkileşim analizleri sonucunda kayma dalgası hızları farkının eğilme momentine önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Kazık

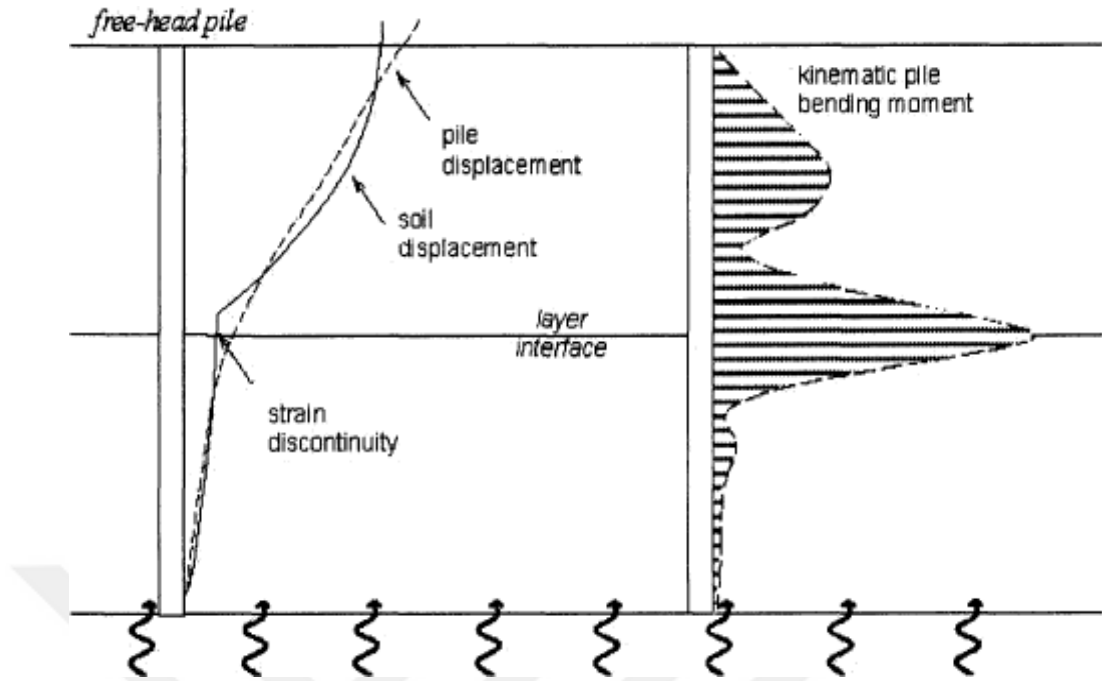
tasarımında söz konusu geçiş tabakalarında oluşacak momentlerin dikkate alınmaması durumunda, kazıkların tasarlanan eksenel taşıma kapasitesinin aşılabileceğı anlaşılmıştır.

2.1.5. Cairo ve Dente (2007)

Cairo ve Dente (2007), tabakalı zeminlerde tekil temellerin kinematik etkileşim analizlerini visko-elastik davranış sınırları içinde gerçekleştirmişlerdir. Kararlı durum koşulları altındaki zemin kazık sistemlerinde, düşük frekanslarda sabit kazık başlarının zeminle uyumlu hareket ettiği, daha yüksek frekanslarda ise sabit kazık başlarında oldukça az deformasyon meydana geldiğı gözlemlenmiştir. Kabuller Winkler yöntemi ile karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

2.1.6. Castelli ve ark. (2008)

Castelli ve ark. (2008), sonlu elemanlar programı kullanarak tekil kazıkların sismik yükler altında kinematik davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında kazık-zemin ara yüzeyindeki süreksizlik koşullarını, enerji yayılımı ve dalga yayılımını hesaplayan, kazıklar için zemin-yapı etkileşimini gerçekçi şekilde modelleyen bir sayısal model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kinematik yüklemenin etkilerini değerlendirmek için, serbest alan zemini (kazıksız) ve kazıkların tepkisi karşılaştırılmıştır. Sismik yükler altında deformasyon ve kinematik kazık eğilimlerini tahmin etmek için zaman tanım alanı ve statik itme analizleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirildiğinde yumuşak zemine geçiş bölgesinde momentlerin önemli mertebelerde arttığı ve kazık içinde mafsallaşmaların oluştuğı görülmüştür (Şekil 2.1.).



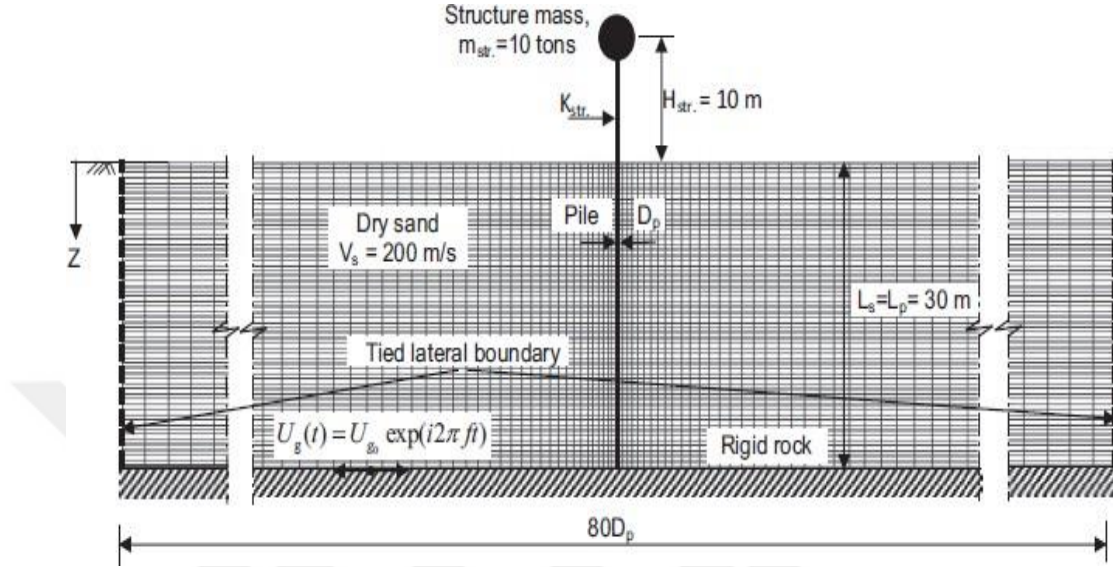
Şekil 2.1. İki tabakalı zemin profilinde serbest başlı bir kazığın kinematik eğilimi (Castelli ve ark. 2008).

2.1.7. Hussien ve ark. (2015)

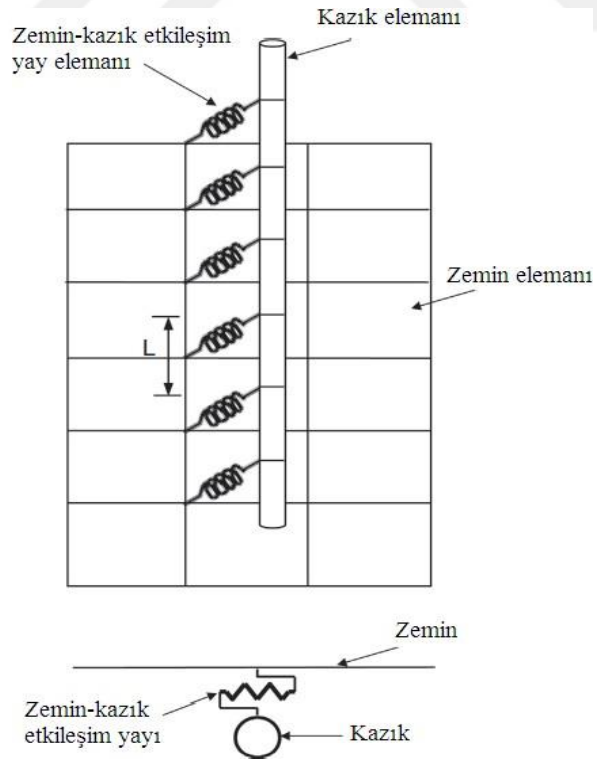
Hussien ve ark. (2015), sismik yükler altında kazığın maruz kaldığı çevresindeki zeminden kaynaklanan kinematik etkileşimi ve üst yapıdan kaynaklanan atalet etkileşimini incelemişlerdir. Sismik yükleme altındaki kazık kuvvetlerinin gelişiminde kinematik ve atalet etkileşimleri arasındaki etkileşimi araştırmak için kapsamlı bir parametrik analiz yapılmışlardır. Yapının en göze çarpan özelliklerini tanımlamak için yapının doğal frekansları ve kazık rijitliklerini farklı değerlerde kullanmışlardır.

Yapmış oldukları çalışmada 3 boyutlu olan kazıklar ve çevresindeki zemin arasındaki etkileşimi doğrusal olmayan yük-deplasman ilişkileriyle, zemin-kazık etkileşim yayları kullanarak 2 boyutlu tipte düzenlemişler ve 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı FLIP kullanılarak çıkan sonuçlarla kazık kinematik ve atalet sismik kuvvetleri arasındaki etkileşim için yeni yorumlar sunmuşlardır. Homojen ve homojen olmayan zemin profilleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada kullanılan sistem Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Sistem tek bir serbestlik derecesi yapısını destekleyen ve sağlam rijit ana kaya üzerinde 30 m kum (L_s) içine gömülü olan bir uç kazığıyla ifade

edilmiştir. Kazık etrafındaki zeminin analiz edilmesiyle oluşturulan 2 boyutlu zemin kazık etkileşim yayı modeli Şekil 2.3.'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Zemin-kazık-yapı sistemi, ağ oluşturma ve ilgili sınır koşullar (Hussien ve ark. 2015).



Şekil 2.3. Zemin-kazık etkileşim yayı modeli (Hussien ve ark. 2015).

Hussien ve ark. (2015) çalışmasından elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- a. Bir kazıkta uyarılmış maksimum kinematik deprem kuvveti her zaman yerin temel frekansına eşit olmamaktadır.
- b. Kinematik etkileşim analizi, kısa/sert kazıklar veya yapının doğal frekansının zeminin temel frekansından daha düşük olduğu yerlerde sismik kuvvetler için katkı sağlayabilir. Ancak atalet etkileşiminin kazık kuvvetlerine hakim geldiği zemin-kazık-yapı sisteminin doğal frekansına yakın bir bant aralığı dışında bu durum geçerli değildir.
- c. Tasarımdaki uyarım frekansı zemin-kazık-yapı sisteminin zemin-yapı etkileşim frekansına yakın olmadığı zaman yapıyı destekleyen kazıkların sismik tasarımında kinematik etkileşim kontrol edilmeden göz ardı edilemez.
- d. Doğrusalsızlığın, yapıları destekleyen kazıkların maksimum sismikeğilme momenti genliği üzerindeki etkisi, en büyük maksimum eğilme momentinin ve buna bağlı uyarım frekanslarının büyüklüğünün azaltılmasında göreceli olarak esnek kazıklarda ortaya çıkmaktadır.

2.1.8. Boulanger ve ark. (1999)

Boulanger ve ark. (1999) santrifüj deneyleriyle zemin-kazık-yapı etkileşimi problemini irdelemişlerdir. Deneylerden elde ettikleri sonuçları doğrusal olmayan Winkler temeli ile irdelemişlerdir. Deneylerde 0.02 ile 0.7g arasında değişen tepe ivmesinden oluşan 9 farklı deprem kullanmışlardır. Winkler yöntemi ile yapılan analiz sonuçları deneyden elde edilen sonuçlara göre %15-20 civarında daha az elde edilmiştir. Kaydedilen serbest alan hareketleri, saha tepki analizini atlayarak dinamik p-y modeline girdi olarak kullanıldığında, tepe üst yapı hareketleri ortalama olarak yaklaşık %5-10 oranında fazla tahmin edilmiştir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre daha ileri fiziksel modellere ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

2.1.9. Lu ve ark. (2005)

Lu ve ark. (2005), zemin-kazık-yapı etkileşimi problemlerini araştırmak için ANSYS programı ile sarsma tablasından elde ettikleri deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmalardan aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir.

- a) Yumuşak zeminlerde doğrusalsızlık ya da zemim-yapı ara yüzeyinin doğrusalsızlığı dikkate alınmadığında sayısal ve deneysel sonuçlar arasında kayda değer farklar ortaya çıkmaktadır.
- b) Deprem şiddetinin artmasıyla birlikte kazıklarla zemin arasında sıyrılma gibi sorunlar oluştuğu görülmüştür.
- c) Yerleşimde köşede yer alan kazıkların gerinim genliği, kenar-orta kazığın ve tam ortadaki kazığın geriniminden daha büyük bulunmuştur.

2.1.10. Hokmabadi ve ark. (2014)

Hokmabadi ve ark. (2014) yüzen kazıkları deneysel ve nümerik analizler yardımıyla irdelenmişlerdir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ankastre temelli binalara göre yüzen kazıklı temelli binalarda daha fazla yatay deplasman meydana gelmiş olup bu fark yüzeysel temellerde daha yüksek gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yumuşak zeminler üzerinde inşa edilecek yapılarda yapı-zemin etkileşimi analizlerinin dikkate alınmaması durumunda (temelin ankastre çözülmesi durumu) yapıda büyük hasarların oluşması söz konusudur.

2.1.11. Luo ve ark. (2016)

Luo ve ark. (2016) zemin-kazık-yapı etkileşimi sistemini üç boyutlu sonlu elemanlar programı ile araştırmışlardır. Çalışmada yansıma yapmayan sınır koşulu ve doğrusal olmayan zemin modeli dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin tepki analizleri geliştirilmiş eşdeğer bir doğrusal model ve değiştirilmiş Drucker Prager zemin modeli ile ayrı ayrı yapılmıştır. Analizlerde zeminin doğrusalsızlığının davranışı doğrudan etkilediği görülmüş ve eşdeğer model kullanılması durumunda

daha düşük ivme tepkileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda etkileşim analizlerinde mutlaka doğrusal olmayan zemin modellerinin kullanılması gerekliliği ve sonuca etki ettiği görülmüştür.

2.1.12. Hussein ve ark. (2016)

Hussein ve ark. (2016) tekil ve 3x3 adet grup kazıklar üzerinde santrifüj deneyleri yapmışlardır. Santrifüj deneylerinde gerçek ölçeğe ulaşmak için 40g yer ivmesi kullanılmıştır. Deneylerde ivme olarak 12 farklı sinüsoidal ivme seçilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre sismik frekansın zemin rezonansına yakınlığı durumunda kinematik etkilerin mutlaka göz önüne alınması gerektiği görülmüştür. Kazık grupları üzerinde yapılan analizlerde serbest başlıklı durumda merkezdeki kazıklar zorlanırken, başlıklı kazıklarda kenarda yer alan kazıklarda zorlanma meydana gelmiştir.

2.1.13. Zhang ve Liu (2017)

Zhang ve Liu (2017) yapı-kazık-zemin etkileşimi problemini killerde hiperbolik-histeretik zemin modelleri kullanarak üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile araştırmışlardır. Çalışmada elde edilen kazık eğilme momenti değerleri üst yapı davranışı dikkate alınarak daha önceden yapılan santrifüj deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonlu elemanlar sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda kazık eğilme momentinin hesaplanması için bir formülasyon elde edilmiş olup, literatürdeki diğer çalışmalarda belirtildiği gibi üstyapının yapı-kazık-zemin etkileşimi üzerinde önemli etkisi olduğu ve birlikte modellenmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

2.1.14. Ullah ve ark. (2018)

Ullah ve ark. (2018) frekans tanım alanında altsistem yöntemini deneysel ve sayısal olarak karşılaştırmışlardır. Kazık rijitlik matrisinin (empedans fonksiyonu) elde edilmesi için sarsma tablasıyla bütün zemin tabakası titreştirilmiş ve kazık başlığı yüklenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar analitik formüller ile elde edilen değerler ile

karşılaştırıldığında deneylerle uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Deneysel ve analitik sonuçlar değerlendirildiğinde yapı ve zemin için baskın frekans modlarının olduğu bölgelerde büyütme oranları kayda değer farklılık göstermiştir. Bu durumun yayılım/döngüsel (radiation/hysteretic) sönümden ya da kazık-zemin rijitlik farkından dolayı oluştuğu düşünülmektedir.

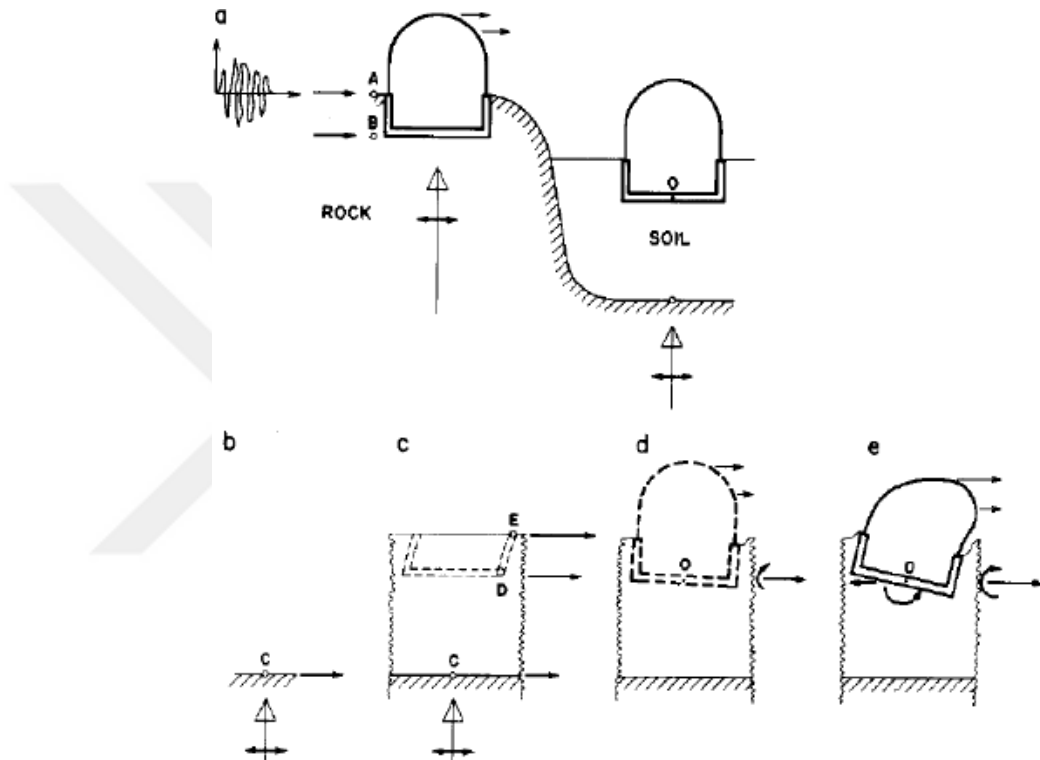
2.2. Yapı Zemin Etkileşimi Teorisi

Son yıllarda Yapı-Zemin Etkileşimi probleminin ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde yer almasıyla birlikte bu konuda analitik, sayısal ve deneysel çalışmalar hızla artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde ilk dönemlerde yapılar ankastre olarak tasarlanarak çözülmüş, 1960'lı yılların sonlarında (Seed ve Idriss, 1969), 1970'lerin ortalarında analizlerde zemin etkisi de analitik çözümlerde dikkate alınmaya başlanmıştır (Luco, 1974; Kausel, 1974). Sonlu elemanlar yönteminin analizlerde kullanılmasıyla birlikte analitik çözümlerle, sonlu elemanlar çözümleri arasındaki farklılıklar belirgin olarak görülmüş ve yeni çözüm yöntemleri üzerinde çalışmaya başlanmıştır. Etkileşim analizlerinde sıkça kullanılan ve birçok yönetmelikte mevcut olan altsistem yöntemi ilk olarak Vaish ve Chopra (1974) tarafından ele alınmıştır. Çözümde öncelikle temel yapıdan bağımsız olarak çözülerek yapı daha sonra frekans tanım alanında çözülmüştür. Yapı-Zemin etkileşiminin çözümünde direkt ve altsistem yöntemini ele alan çalışma 1976 yılında Kausel tarafından yayınlanmıştır (Bilal, 2021). Bu çalışmada kinematik ve eylemsizlik etkileşimi ele alınmış olup, bu yöntemlerle ilgili detaylar aşağıda başlıklar halinde ele alınmaktadır.

2.2.1. Dinamik yapı-zemin etkileşimi

Yapı-Zemin Etkileşimi ile ilgili zemin özelliklerinin etkisi Wolf (1985) tarafından incelenmiştir. Wolf (1985), yaptığı çalışmada bir yapının kaya ve zemin birimlere inşa edilmesi durumunu ele almıştır (Şekil 2.4.). Yaptığı çalışmada Şekil 2.4a.'da yapının kaya ve zemin üzerinde inşa edilmesi durumu gösterilmiş olup, A ve B noktalarındaki hareketler değerlendirilmiştir. Yapının kaya üzerinde inşa edilmesi durumunda A ve

B noktaları arasındaki hareketler çok fazla olmamakta ve deprem hareketi doğrudan yapıya etki etmektedir. Bu durumda yapı yanal olarak yüksek rijitliğe sahipse, yapı yüksekliği boyunca yatay ivmeler sabit olarak oluşmakta ancak bu durum tabanda kesme kuvvetleri ve momentler ortaya çıkarmaktadır. Kaya çok rijit olduğu için yapı etrafındaki zeminde ek deformasyonlar oluşmayacağından zemin ve yapı birlikte hareket edecektir.



Şekil 2.4. Farklı zemin koşullarında yapıların dinamik tepkisi (a) Arazi modeli (b) Mostra olarak görünen kaya (c) Serbest alan (d) Kinematik etkileşim (e) Eylemsizlik etkileşimi (Wolf, 1985).

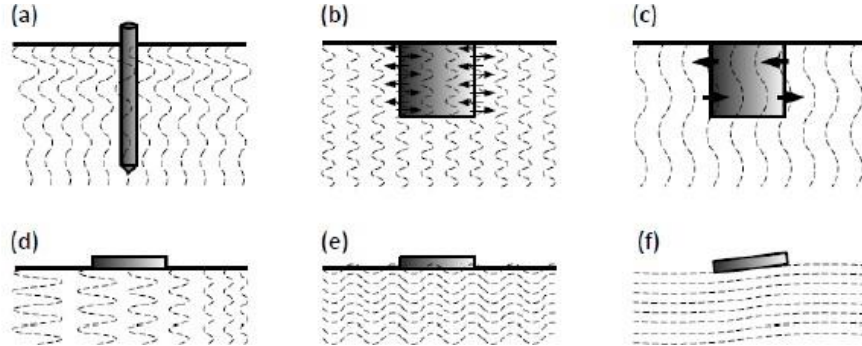
Yapının zemin üzerinde inşa edilmesi durumunda, kayadaki duruma göre daha farklı bir davranış ortaya çıkmaktadır. Bu farklılığın oluşumu için üç temel ayrım dikkate alınmalıdır. Birinci durum Şekil 2.4c.'de gösterildiği gibi serbest alan (free field) hareketi zeminden ötürü değişiklik gösterecektir. C noktası üzerinde herhangi bir zemin tabakası olmaması durumunda A noktasındaki hareket ile aynı davranış elde edilmiş olacaktır. Zemin tabakasının olması C noktasının hareketini azaltmakta olup, C noktasından düşey yönde zemin tabakasından yukarıya doğru yayılan dalga D ve E noktalarında farklılaşacaktır. Bu durum D ve E noktalarında hareketin amplifiye

olmasına (yatay deplasmanların artması) neden olacak ve bu noktaları etkilediği gibi etkileşimi de doğrudan etkileyecektir. Bu davranışın anlaşılması Saha Tepki Analizlerinin yapılmasıyla mümkündür. İkinci durumda ise kazı yapıldıktan sonra temel sisteminin inşa edilmesiyle deprem hareketi modifiye edilmiş olacaktır (Şekil 2.4d.). Rijit taban yatay hareketlere ve ek dönmelere maruz kalacak olup, bu rijit cisim hareketi yapı yüksekliği boyunca değişiklik gösteren ivmelerin oluşmasına (eylemsizlik yüklerine yol açan) neden olacaktır. Bunun nedeni zemin ile kütsüz sonsuz rijit temel arasındaki rijitlik farkı olup, buna analizin kinematik etkileşim kısmı denilebilir. Üçüncü olarak yapıya uygulanan eylemsizlik yükleri, O noktasında döndürme kuvveti ve kesme kuvvetleri doğuracak ve o noktadaki girdi hareketini değiştirecektir (Şekil 2.4e.). Binanın çevresindeki zemini etkilemesinden ötürü oluşan etkileşim eylemsizlik etkileşimi olarak tanımlanmaktadır.

2.2.2. Kinematik etkileşim

Yapı ve zemin arasındaki rijitlik farkı nedeniyle kinematik etkileşim ortaya çıkmaktadır. Zemin daneleri serbest bir alanda depremden kaynaklı oluşan hareket formunu takip etmektedir. Zemin içine gömülü rijit bir temel ise serbest alanda oluşan deplasman hareketini takip edememektedir. Zemin ve temel arasındaki rijitlik farkından dolayı oluşan bu duruma kinematik etkileşim denilmektedir. Kinematik etkileşimin meydana geldiği durumlar Şekil 2.5.'te sunulmaktadır. Şekillerde şematik olarak gösterilen tüm temeller kütsüz olup, serbest alan yer hareketi kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Şekil 2.5a.'da zemin profili boyunca düşey yönde hareket eden ve zemin yüzeyine yaklaştıkça genliği artan kesme kuvvetlerine maruz kalan kazık görülmektedir. Şekil 2.5b. ve c'de ise gömülü temeller frekans şekline bağlı olarak karşılaştırılmaktadır. 2.5b.'de görüleceği gibi temel yatay değişken frekanslı bir harekete maruz ise temele uygulanan kuvvetler dalga girişimleri ile birbirini sıfırlar ve dalga hareketinin etkisi kalmaz. Ancak tam tersi durumda, düşük frekanslı tamamen yatay bir hareket söz konusu olduğunda, dönme ve yatay harekete maruz kalır ve salınımlar harekete neden olur. Bazı durumlarda yüzeysel temeller için de kinematik etkileşim durumu önem arz etmektedir. Şekil 2.5d.'de görüldüğü gibi düzlem içine

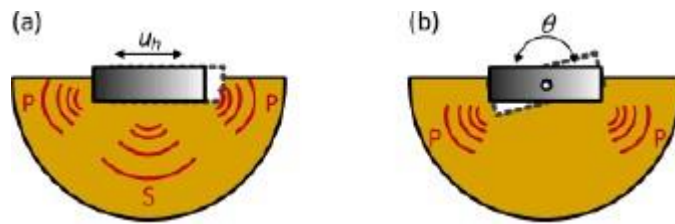
doğru olan rijitliğinden dolayı yer hareketini takip etmesi mümkün olmayabilir ya da Şekil 2.5.'e ve f'deki gibi frekansın yüksek olmasından ötürü temeller etkilenebilir.



Şekil 2.5. Yüzeysel ve derin temellerde kinematik etkileşim şekilleri (Lu, 2016).

2.2.3. Eylemsizlik etkileşimi

Bu etkileşimde, üstyapının temel girdi hareketiyle aktive olmasıyla birlikte yapı içinde eylemsizlik kuvvetleri oluşmaktadır. Bu etkileşimde birinci durumda, temelde oluşan eylemsizlik nedeniyle oluşan kesme kuvveti ve devrilme momenti serbest alan hareketi nedeniyle zeminin deformasyonuna neden olur. İkinci durumda, titreşime maruz kalan temel zeminden sonsuz ilerleyen dalgaları yayan bir kaynak gibi davranır. Her iki davranış Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Eylemsizlik etkileşimi (a) Yatay salınım modu, (b) Dönme salınım modu (Lu, 2016).

2.3. Zemin-Yapı-Kazık Etkileşimi ile İlgili Yönetmelikler

Zemin-yapı- kazık etkileşimi ulusal ve uluslararası birçok yönetmelikte ele alınmıştır. National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), AASHTO, EUROCODE

ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) içinde zemin yapı kazık etkileşimleri detaylı olarak ele alınmaktadır. Yönetmeliklerde uygulanan yöntemler ve kurallar EK-1’de sunulmaktadır.

2.4. Literatür ve Yönetmeliklerin Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında yapılan literatür çalışmalarıyla birlikte konu ile ilgili teorik yaklaşımlar ve yönetmelikler özetlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar dikkate alındığında yapı-kazık-zemin etkileşimi konusunda halen eksik hususların olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmaların yanı sıra pratik geoteknik mühendisliği uygulamalarında sayısal çözüm yöntemleri ile ilgili eksiklikler söz konusudur. Özellikle seçilecek yöntemin sonuçlara ne tür etkiler yapacağına ilişkin çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışma kapsamında farklı yöntemlerin karşılaştırılması literatüre önemli katkılar vereceği gibi geoteknik mühendisliği uygulaması açısından gerçek davranışı yansıtan yöntemin irdelenmesi açısından da önemlidir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler diğer bölümlerde detaylı olarak ele alınmaktadır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

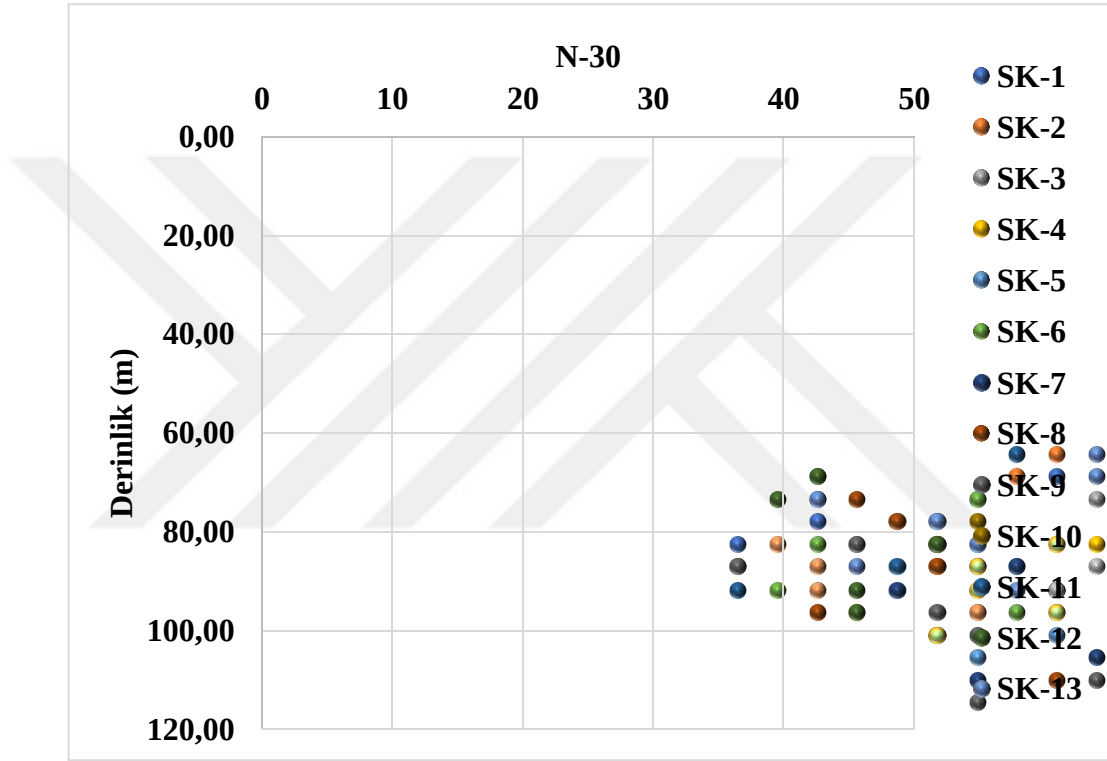
Bu tez çalışması kapsamında TBDY 2018’de yer alan Yöntem II ve Yöntem III’e göre kinematik etkileşim analizleri yapılarak, yöntem seçiminin sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Çalışmada bir vaka analizi ele alınmış olup, söz konusu vaka için elde edilen geoteknik veriler, deprem verileri ve yapısal özellikler kullanılmıştır. Bu bölümde tez çalışması kapsamında yapılacak analizler için vaka analizinin yer aldığı sahaya ait geoteknik verilerin değerlendirilmesi, depremsellik analizleri, zemin tepki analizleri ve etkileşim analizleri ayrı başlıklar altında ele alınmaktadır.

3.1. Geoteknik Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında İzmir’de yer alan gerçek bir vaka ele alınmıştır. Çalışma kapsamında dikkate alınan sahada 3 bodrum olmak üzere 28 kattan oluşan yapı blokları inşa edilmesi planlanmıştır. Vakanın yer aldığı sahada zeminin düşey ve yatay yöndeki değişimlerinin ve zemin yapısının belirlenmesi amacıyla 17 noktada derinlikleri 25.00-120.00 metre arasında olan, toplam 1015.50 metre derinlikte sondaj kuyusu açılmıştır. Sahada yapılan sondaj çalışmalarından yararlanarak yanal ve düşey litolojik birimdeki değişimler tespit edilmiştir. Sondajlar sırasında zeminin geoteknik özelliklerini saptamak amacıyla karotlu ilerleme yapıp, karot numuneler alınmıştır. Sondaj çalışmalarına veri sağlaması amacı ile 6 adet yerinde CPTU, 17 kuyuda çeşitli derinliklerde SPT, 10 kuyuda pressiyometre ve 2 kuyuda PS Logging yapılmıştır. Zemin cinslerinin yerinde dinamik özelliklerinin tespiti (Yoğunluk, Kayma Modülü, Bulk Modülü, Poisson Oranı, Young Modülü, Zemin Hakim Titreşim Periyodu) amacıyla 4 adet sismik MASW ölçümü yapılmıştır. Ayrıca, zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla üç eksenli sıkışma ve direkt kesme deneyi yapılmıştır. Yapılan geoteknik çalışmalar bu başlık altında özetlenecektir.

3.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

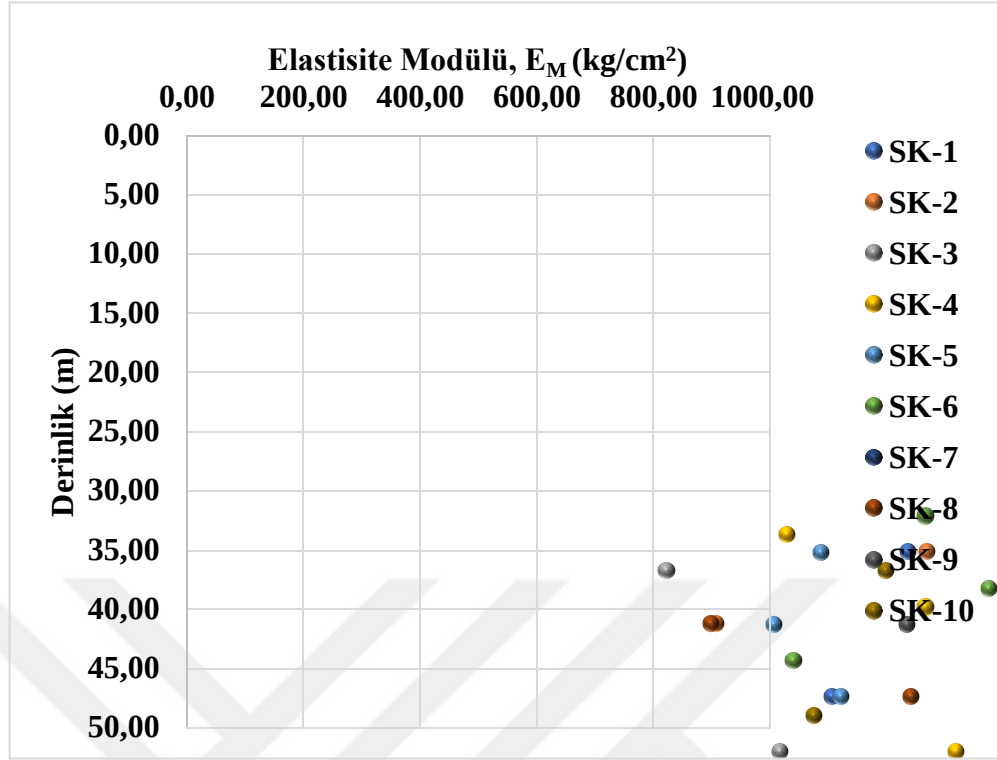
Arazi çalışmaları esnasında yapılan SPT deneylerine ait SPT-N değerleri 2 ile R arasında değişmekte olup, deney sonuçları toplu olarak Şekil 3.1.'de sunulmaktadır. SPT deney verileri değerlendirildiğinde ilk 30 metrede oldukça zayıf zemin birimlerin yer aldığı ve SPT değerlerinin 30 değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu derinlikten sonra zemin dayanımı SPT açısından kayda değer artış göstermektedir.



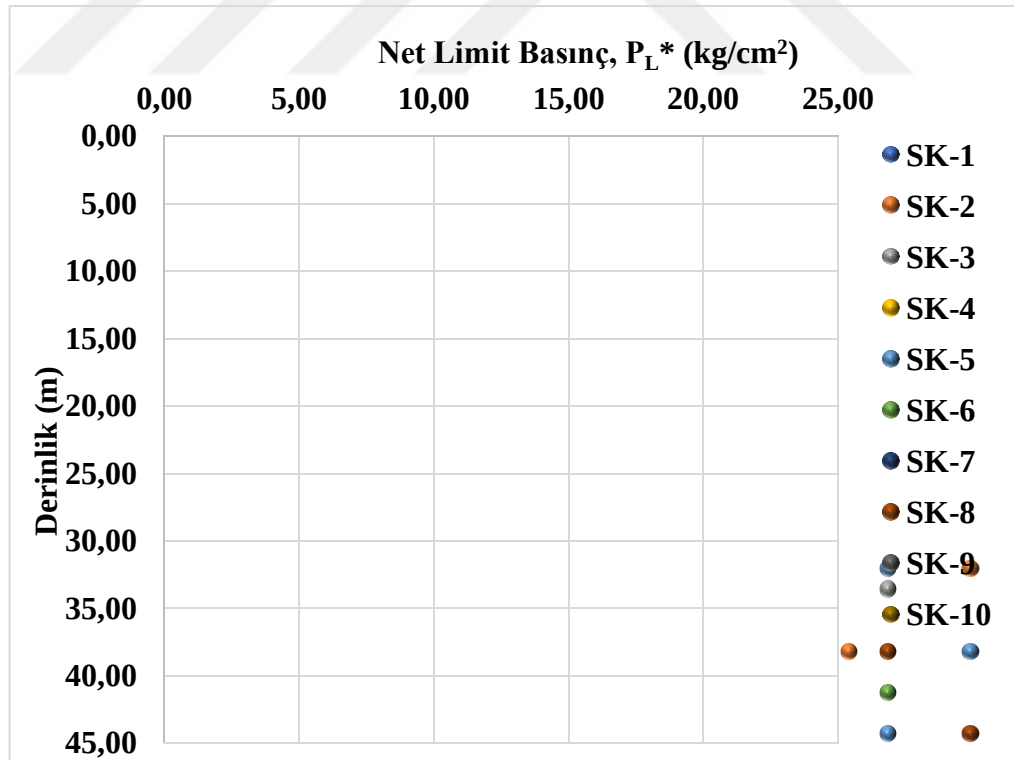
Şekil 3.1. SPT değerlerinin derinlikle değişimi.

3.1.2. Pressiyometre deneyi

İnceleme alanında 10 sondaj kuyusunda farklı derinliklerde 91 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır. Pressiyometre deneylerinden elde edilen elastisite modülü değerleri 52.25-930.68 kg/cm², net limit basınç değerleri 4.47-21.94 kg/cm² arasında değişmektedir. Elastisite modülünün ve net limit basınç değerlerinin derinlikle değişimi sırasıyla Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'te verilmektedir.



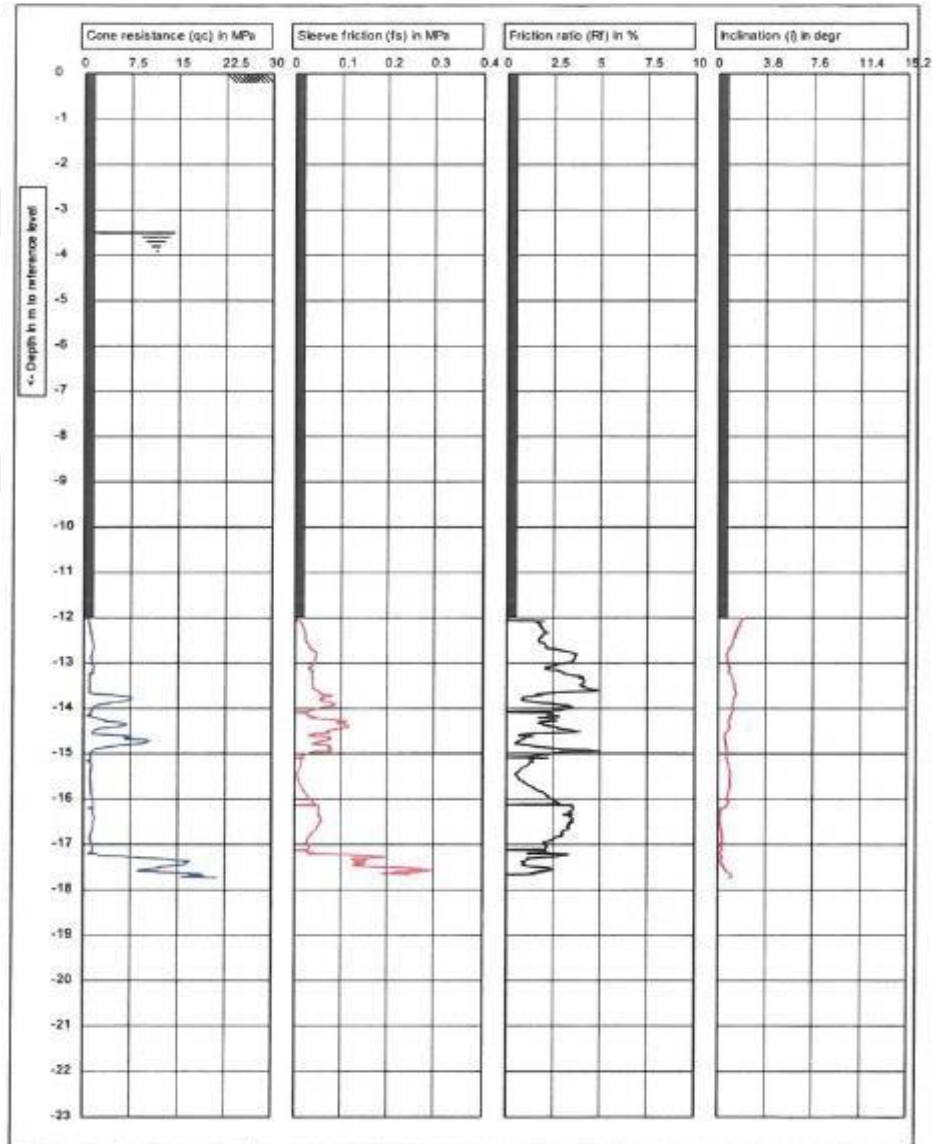
Şekil 3.2. Elastisite modülünün derinlikle değişimi.



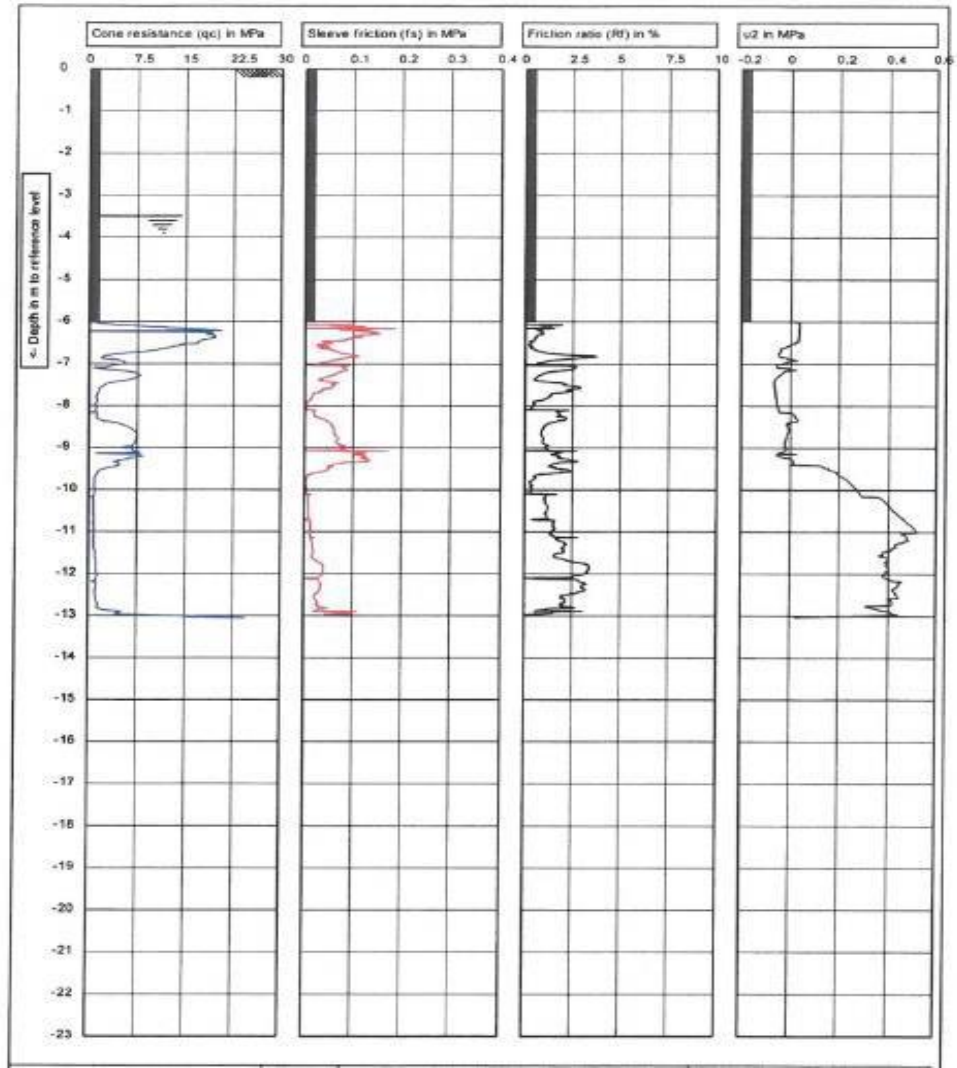
Şekil 3.3. Net limit basıncının derinlikle değişimi.

3.1.3. Konik penetrasyon testleri (CPTU)

İnceleme alanında 6 sondaj kuyusunda boyları 6.00-12.00 metre arasında değişen, toplam 44.50 metre CPTU deneyi yapılmıştır. Vaka analizinde dikkate alınan blok altında gerçekleştirilen CPTU deneylerinden elde edilen koni direnci (q_c), koni sürtünme direnci (f_s), sürtünme oranı (R_f) ve eğim derecesi (I) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 3.4. ve 3.5.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.4. CPT 1 deney sonuçları.

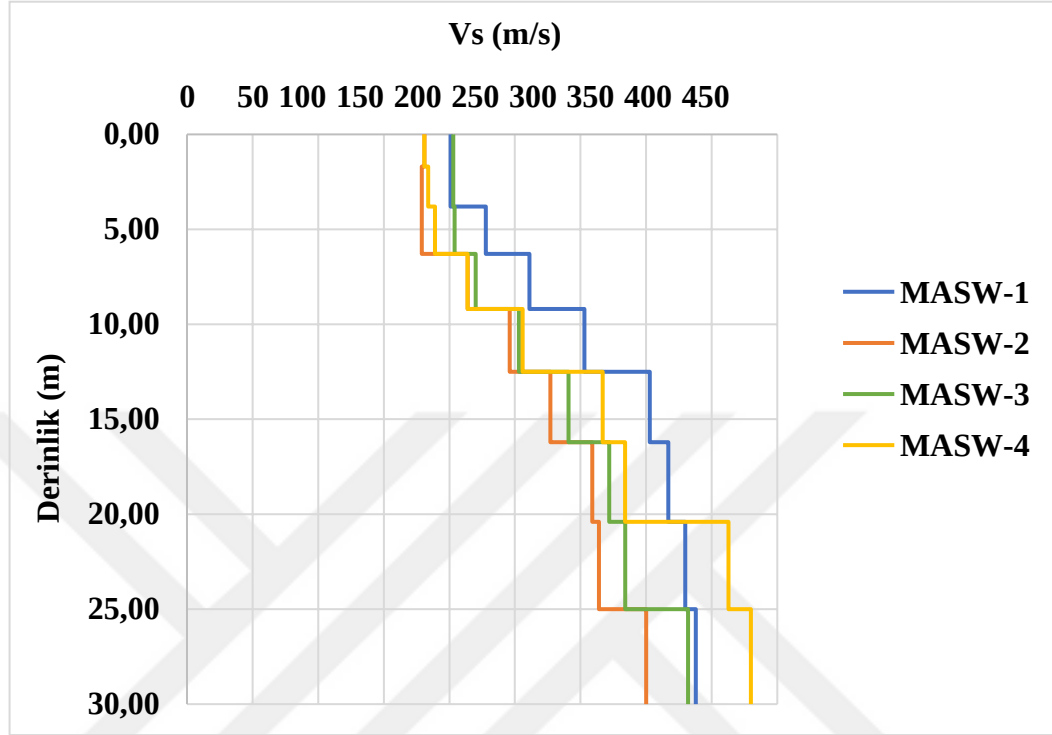


Şekil 3.5. CPT 2 deney sonuçları.

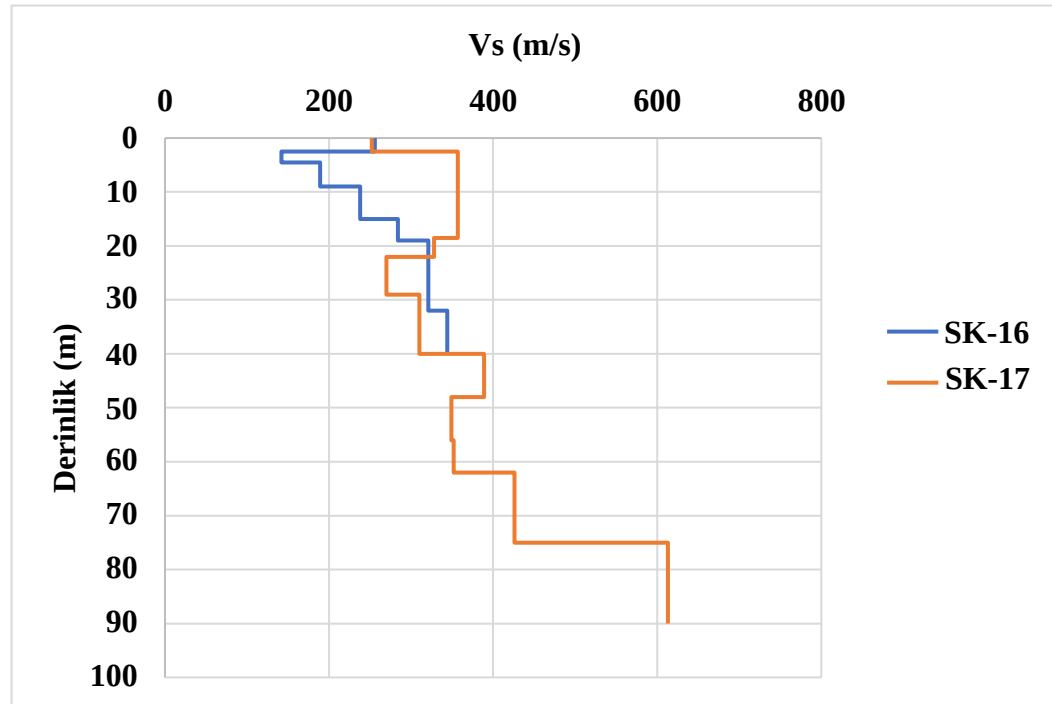
3.1.4. Jeofizik çalışmalar

İnceleme alanında belirlenen 4 profilde MASW sismik (Multi Channel Analysis of Surface Waves) ölçümü yapılmıştır. Yapılan MASW çalışmalarından kayma dalga hızı (V_s) genel ortalama değeri 273.92 m/s olarak elde edilmiştir. MASW deneyleri ile elde edilen kayma dalga hızının (V_s) derinlikle değişimi Şekil 3.6.'da sunulmaktadır. MASW çalışmalarına ek olarak inceleme alanında belirlenen 2 sondaj kuyusunda PS Logging ölçümü yapılmıştır. PS Logging çalışmalarında kayma dalga hızı (V_s) genel ortalama değeri 318.82 m/s olarak elde edilmiştir. PS Logging

deneyleri ile elde edilen kayma dalga hızının (V_s) derinlikle değişimi Şekil 3.7.'de sunulmaktadır.



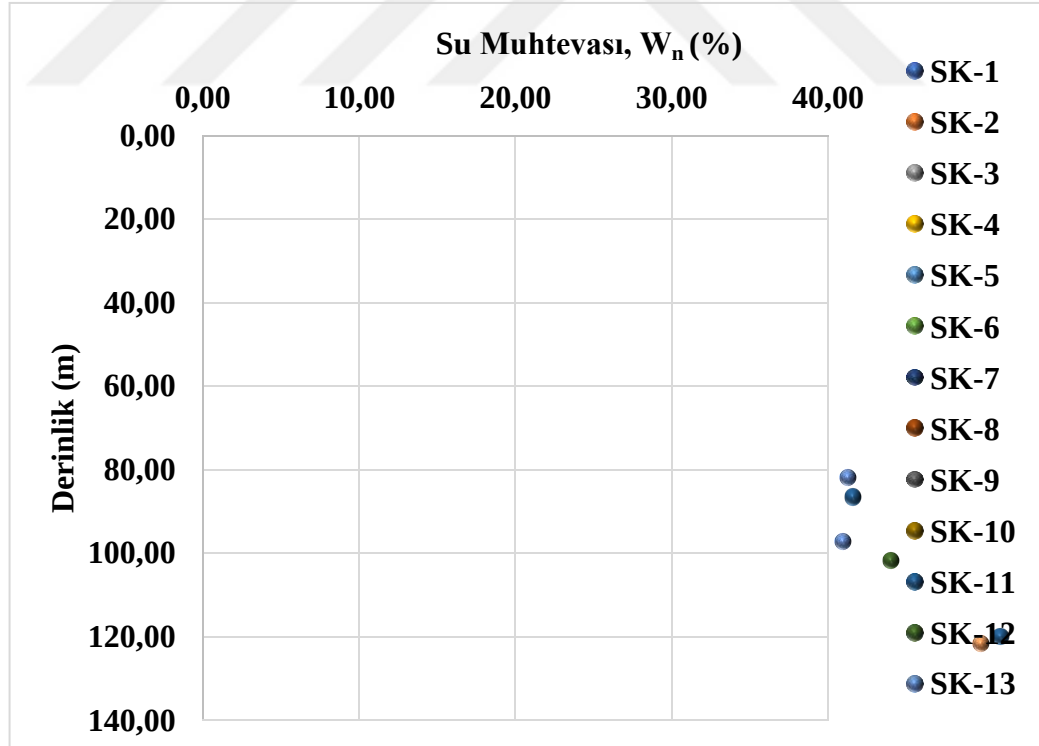
Şekil 3.6. MASW deneyleri ile elde edilen kayma hızının derinlikle değişimi.



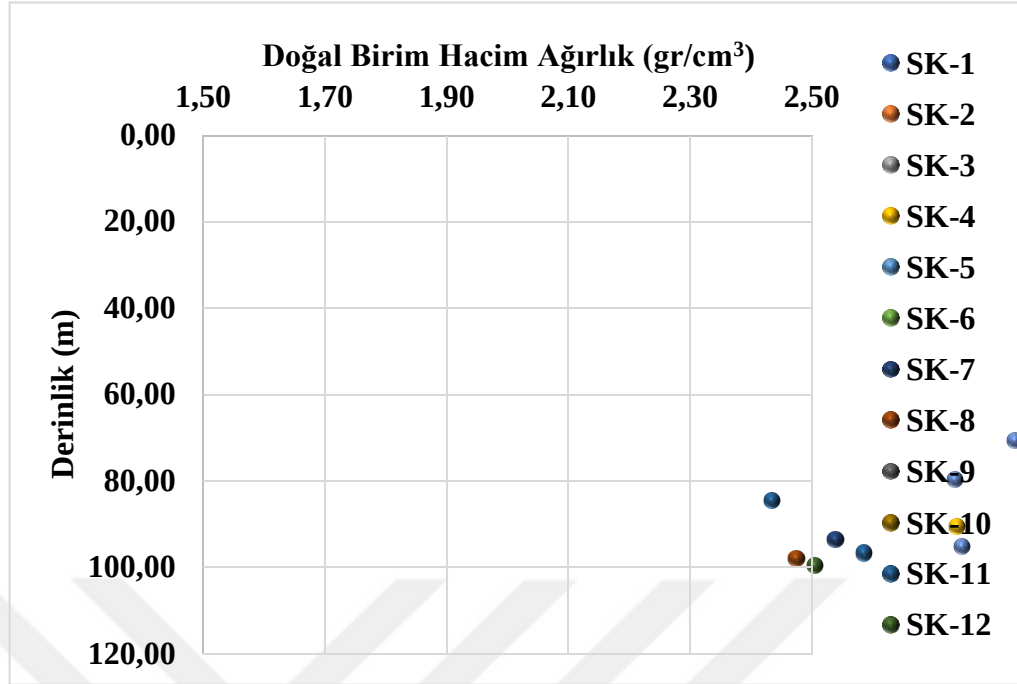
Şekil 3.7. PS Logging deneyleri ile elde edilen kayma hızının derinlikle değişimi.

3.1.5. Laboratuvar çalışmaları

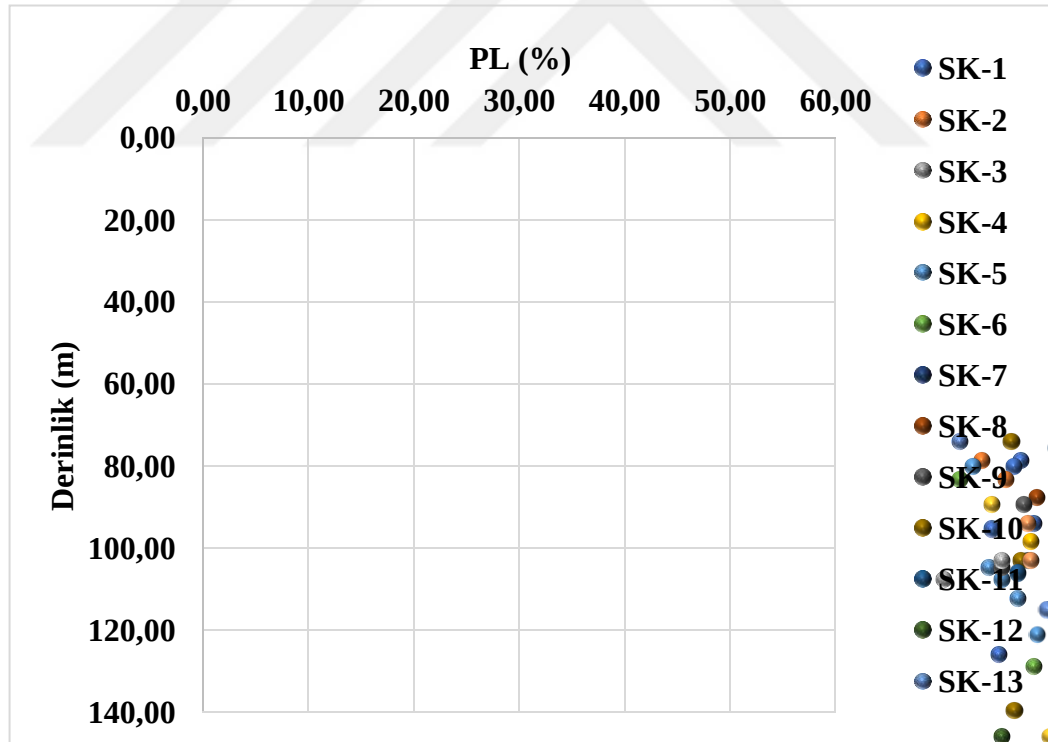
Çalışma kapsamında incelenen vaka sahasında açılan sondajlardan alınan karot numuneler üzerinde, zemin birimlerin endeks ve mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda su muhtevasının %5.10-%36.80 arasında değiştiği görülmüştür. Su muhtevası değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 3.8.'de sunulmaktadır. Deneylerde doğal birim hacim ağırlık değeri 1.59-2.34 gr/cm³ arasında bulunmuş olup, derinlikle değişim Şekil 3.9.'da sunulmaktadır. Plastik limit değeri %10.70-%41.00 arasında değişmekte olup, plastik limit yüzdesinin derinlikle değişimi Şekil 3.10.'da sunulmaktadır. Likit limit değeri %24.00-%55.80 arasında değişmektedir. Likit limit yüzdesinin derinlikle değişimi Şekil 3.11.'de sunulmaktadır. Plastisite indisi yüzdesi 2.00-27.90 arasında değişmektedir. Plastisite indisinin derinlikle değişimi Şekil 3.12.'de sunulmaktadır. Farklı mukavemet deneylerinden elde edilen kayma direnci parametrelerinin derinlikle değişimleri ise Şekil 3.13. ve Şekil 3.18. arasında sunulmaktadır.



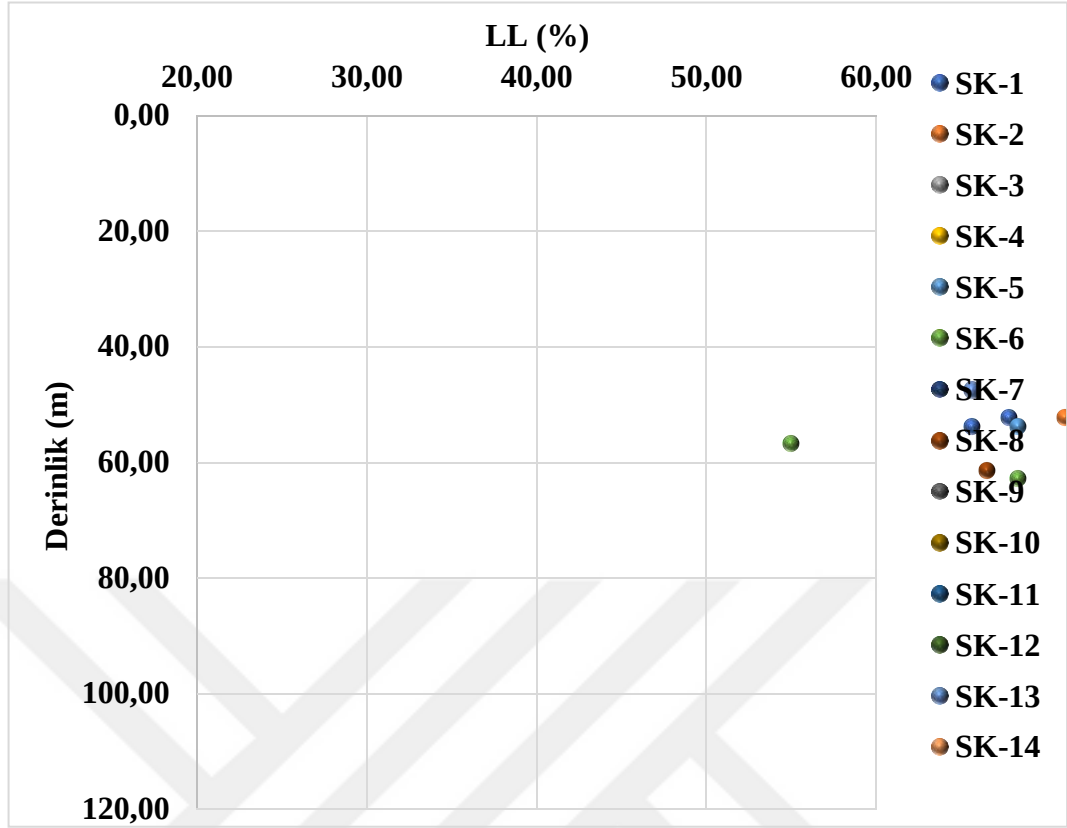
Şekil 3.8. Su muhtevası yüzdesinin derinlikle değişimi.



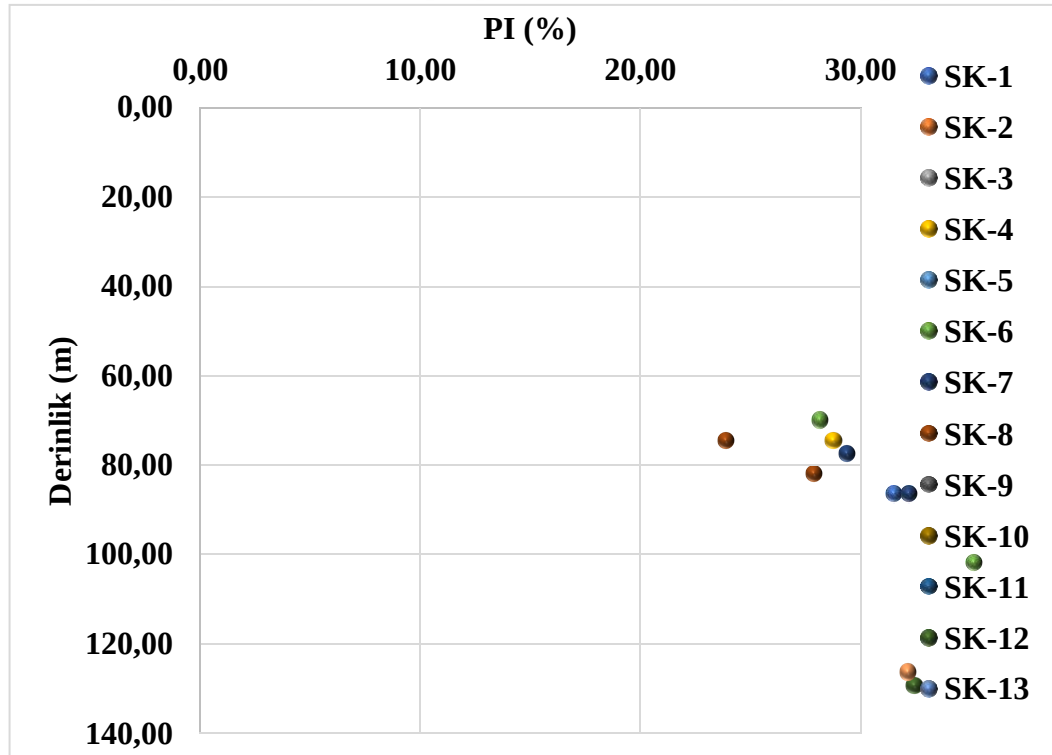
Şekil 3.9. Doğal birim hacim ağırlık değerlerinin derinlikle değişimi.



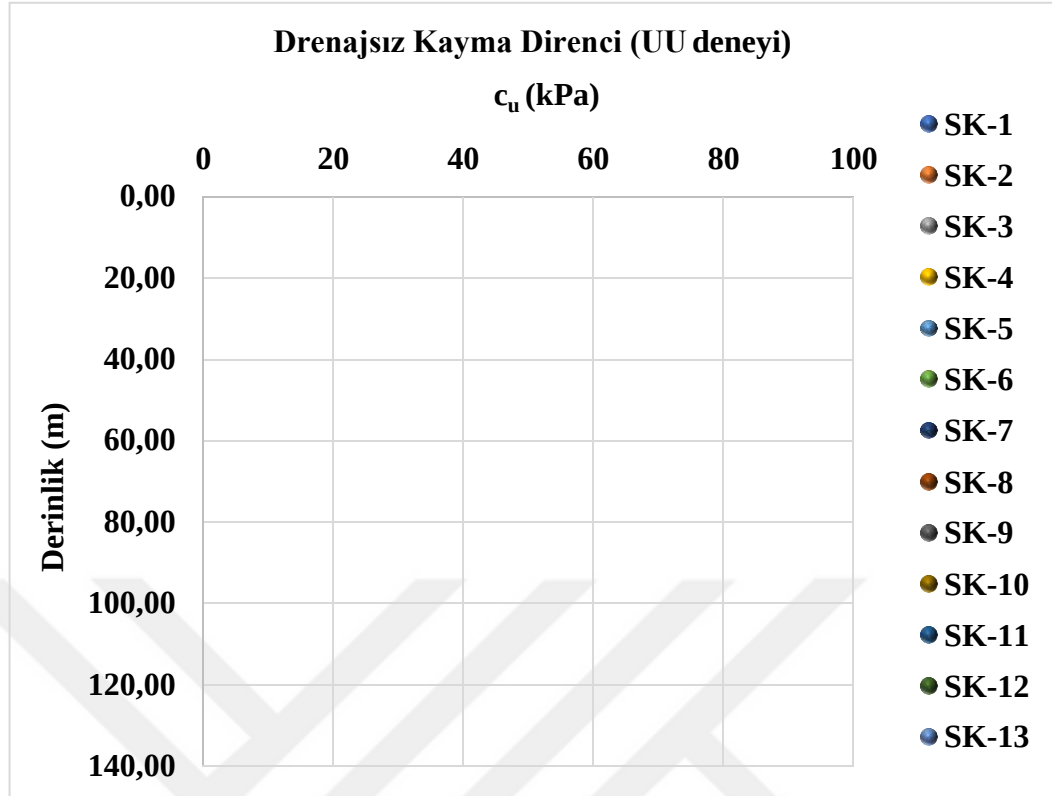
Şekil 3.10. Plastik limit yüzdesinin derinlikle değişimi.



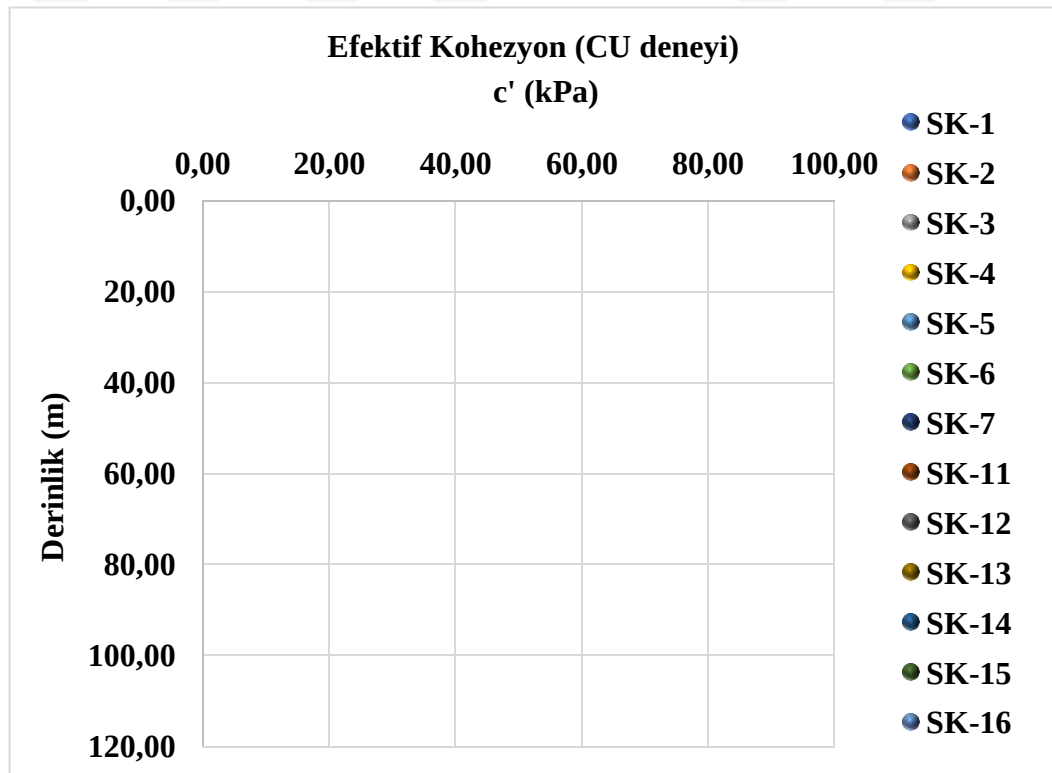
Şekil 3.11. Likit limit değerlerinin derinlikle değişimi.



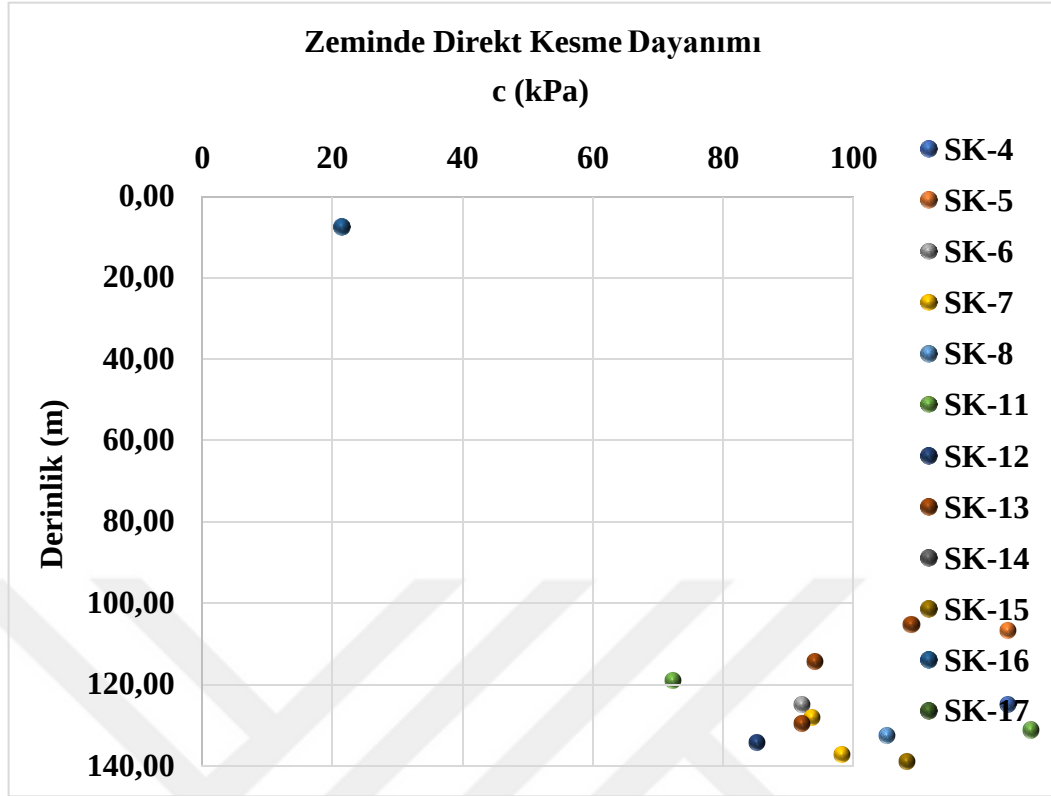
Şekil 3.12. Plastisite indisi değerlerinin derinlikle değişimi.



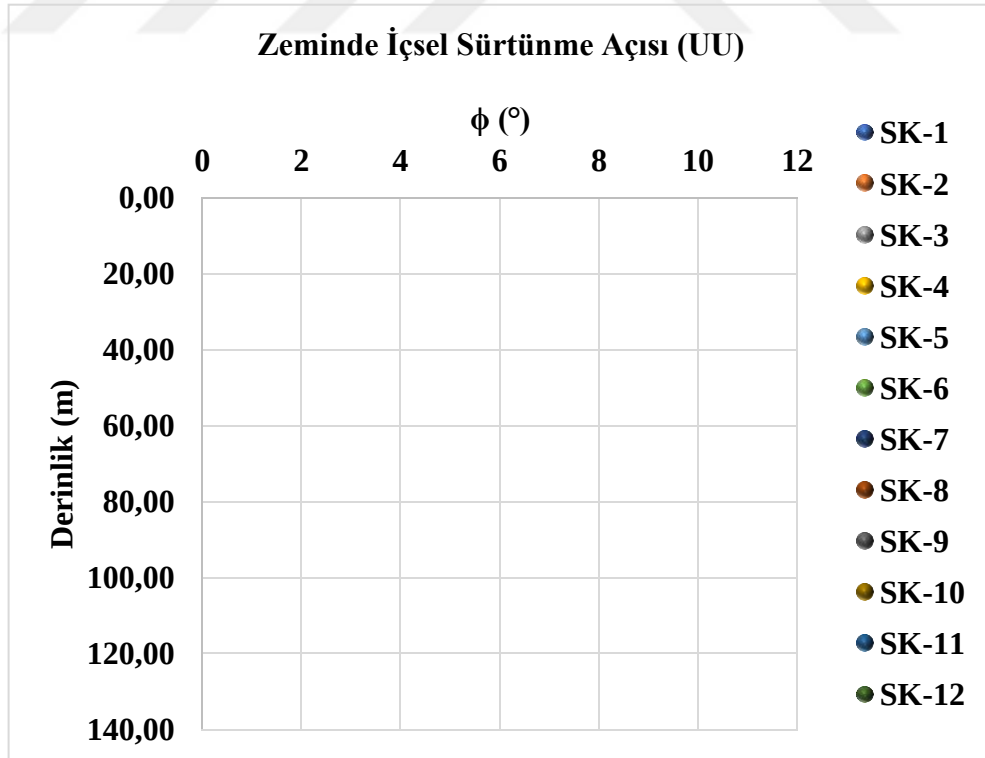
Şekil 3.13. UU deneyinden drenajsız kohezyon değerlerinin derinlikle değişimi.



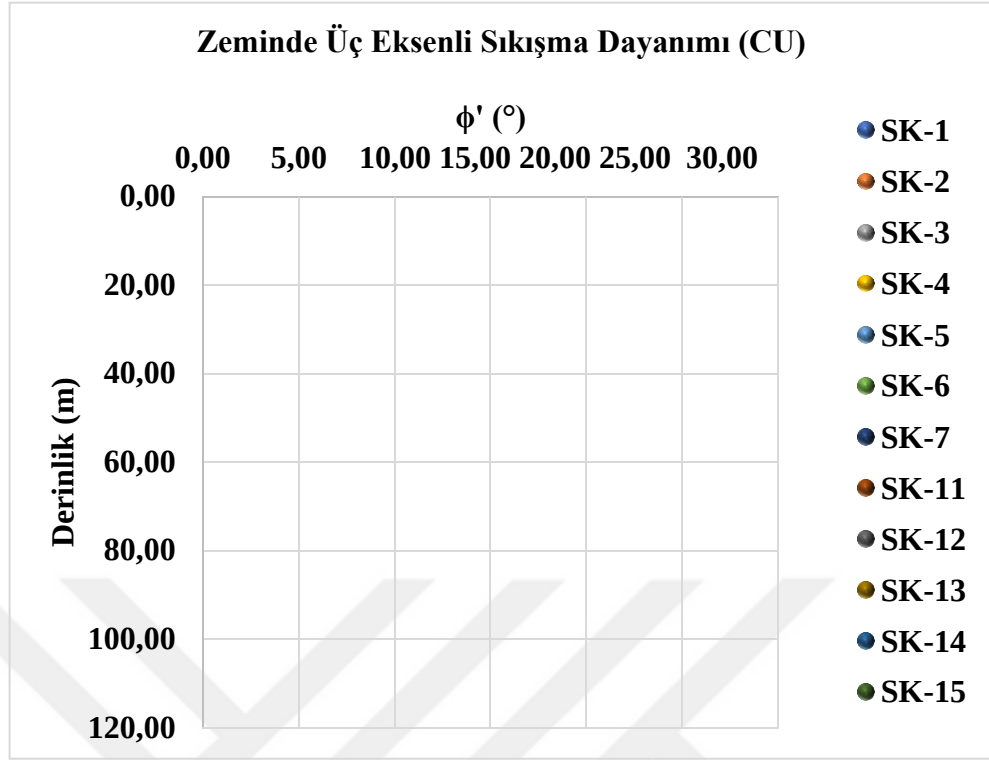
Şekil 3.14. CU deneyinden efektif kohezyon değerlerinin derinlikle değişimi.



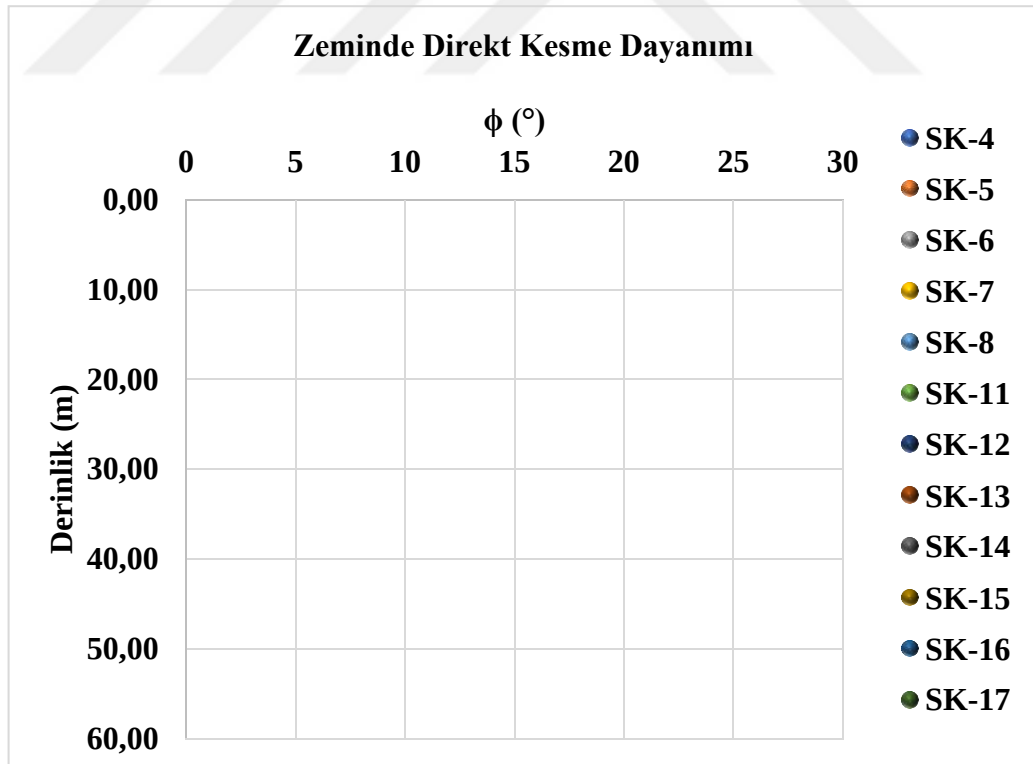
Şekil 3.15. Direkt kesme deneyinden kohezyon değerlerinin derinlikle değişimi.



Şekil 3.16. Doygun olmayan numunelerde içsel sürtünme açısının derinlikle değişimi.



Şekil 3.17. CU deneyinden efektif içsel sürtünme açısının derinlikle değişimi.



Şekil 3.18. Direkt kesme deneyinden içsel sürtünme açısının derinlikle değişimi.

3.1.6. İdealize zemin profili

Zemin profili, Dolgu, Siltli Kil-Kiltaşı ve Kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında yer altı su seviyesine 0.60-1.54 metrede rastlanılmıştır. İdealize edilmiş zemin profili, sondaj loglarında verilen zemin profillerinden elde edilmiştir. Zemin parametrelerinin tümü numuneler üzerinde yürütülen elek analizi, zeminde üç eksenli kesme ve zeminde direkt kesme deneyi sonuçlarından alınmıştır.

Birinci Tabaka (0.00-5.00 m): $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 10.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 200 \text{ m/s}$ ve $\phi' = 34^\circ$ değerleri ile “üniform kum-siltli kum – SP-SM” olarak sınıflandırılmıştır.

İkinci Tabaka (5.00-11.00 m): $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 251 \text{ m/s}$, $c_u = 80 \text{ kPa}$ ve $PI = 20\%$ değerleri ile “düşük-orta plastisiteli kil – CL-CI” olarak sınıflandırılmıştır.

Üçüncü Tabaka (11.00-21.00 m): $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 271 \text{ m/s}$, $c_u = 100 \text{ kPa}$ ve $PI = 20\%$ değerleri ile “düşük-orta plastisiteli kil – CL-CI” olarak sınıflandırılmıştır.

Dördüncü Tabaka (21.00-31.00 m): $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 299 \text{ m/s}$, $c_u = 120 \text{ kPa}$ ve $PI = 20\%$ değerleri ile “düşük-orta plastisiteli kil – CL-CI” olarak sınıflandırılmıştır.

Beşinci Tabaka (31.00-41.00 m): $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 316 \text{ m/s}$, $c_u = 140 \text{ kPa}$ ve $PI = 20\%$ değerleri ile “düşük-orta plastisiteli kil – CL-CI” olarak sınıflandırılmıştır.

Altıncı Tabaka (41.00-45.00 m): $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9.19 \text{ kN/m}^3$, $V_s = 332 \text{ m/s}$, $c_u = 160 \text{ kPa}$ ve $PI = 20\%$ değerleri ile “düşük-orta plastisiteli kil – CL-CI” olarak sınıflandırılmıştır.

3.2. Depremsellik Analizleri

Tez çalışmasında yapılan sonlu elemanlar analizlerine yönelik olarak vaka analizinin bulunduğu sahaya özel deprem dataları oluşturulmuştur. Bu kapsamda aşağıdaki kısımlar dikkate alınmıştır:

- a. Deprem etkisinin tanımlanması,
- b. Mevcut deprem tehlikesinin değerlendirilmesi,
- c. Deprem tasarım spektrumlarının belirlenmesi,
- d. Spektrum uyumlu deprem yer hareketlerinin seçilmesi,

Deprem etkisinin tanımlanmasında ilk olarak ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki genel yaklaşımlar incelenmiş, daha sonra vaka analizi için önerilen deprem düzeyleri açıklanmıştır. Vaka analizi sahasının bulunduğu bölgedeki mevcut deprem tehlikesinin değerlendirilmesi; bölgeyi etkileyebilecek depremlerin kaynağı olabilecek sismotektonik birimler (mevcut fay sistemleri), bölgeyi genel olarak etkileyen tarihi depremler ve bölgede oluşan son depremlerle bölgenin depremselliği incelenerek yapılmıştır.

AFAD tarafından koordine edilen Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi Projesi kapsamında kullanılan ve MTA web sayfasında (<http://www.mta.gov.tr>) sunulan Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası (MTA Fay Haritası, 2012) verilerine göre, Proje sahasına uzaklıkları yaklaşık 1-2 km ile 10-15 km arasında değişen değişik uzunluk ve geometrilerde farklı fay uzanımları mevcuttur. Bu sebeple, literatürde mevcut “deprem yakın saha etkileri” ile ilgili çalışmalar, Somerville ve diğ. (1997) ve Abrahamson (2000) göz önünde tutularak ortalama spectral ivmelerin fay yırtılma yönelimine bağlı olarak değişimi dikkate alınarak yapılmıştır.

Deprem tasarım spektrumları ve spektrum uyumlu yer hareketlerinin belirlenmesinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esasları dikkate alınmıştır.

3.2.1. Deprem etkisinin tanımlanması

3.2.1.1. Mevcut yönetmeliklerde deprem etkisinin tanımlanması

Mühendislik yapılarının depreme dayanıklı tasarımı amacıyla tasarım bazlı yer hareketinin elde edilmesi ile ilgili esaslar mevcut deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Bu yönetmeliklerden Türkiye’de en yaygın olarak kullanılan ve bilinenleri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (TDY, 2007), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY, 2018), Eurocode8 (EC8, 2003), International Building Code (IBC, 2006) ve 2008 senesinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi için hazırlanan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği’dir (İYBDY, 2008). TBDY (2018), 2018 yılı sonu itibarıyla TDY (2007)’nin yerine yürürlüğe girmiştir.

Çalışmanın bu kısmında, TBDY (2018) Bölüm 2.4 “Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumlarının Belirlenmesi” maddesinde tarif edildiği şekilde, deprem tehlike analizi yapılmış olup, Bölüm 3.2.1.2’de tanımlanan DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketlerine ait spektrumlar belirlenmiştir. DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeyleri, sırası ile 2475, 474, 72 ve 43 yıllık ortalama yinelenme sürelerine tekabül etmektedir. Yönetmeliklerle ilgili bölümler EK-2’de sunulmaktadır.

3.2.1.2. Proje için önerilen deprem etkisi

Proje kapsamında belirlenecek sahaya özgü tehlike analizi 2018 yılı sonu itibarıyla yürürlüğe girmiş olan yenilenmiş Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kurallarına göre, yukarıda tanımlanan deprem yer hareketleri seviyeleri için yapılacaktır. DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem düzeyleri için maksimum yer ivmesi ve 0.01s - 8.0s aralığında yatay ve düşey deprem spektral ivme değerleri olasılıksal sismik tehlike analizi adımları kullanılarak belirlenecektir. Ancak, DD-4 deprem yer hareketi seviyesi servis deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır ve bu deprem seviyesi için zaman ortamı analizleri yapmaya gerek yoktur.

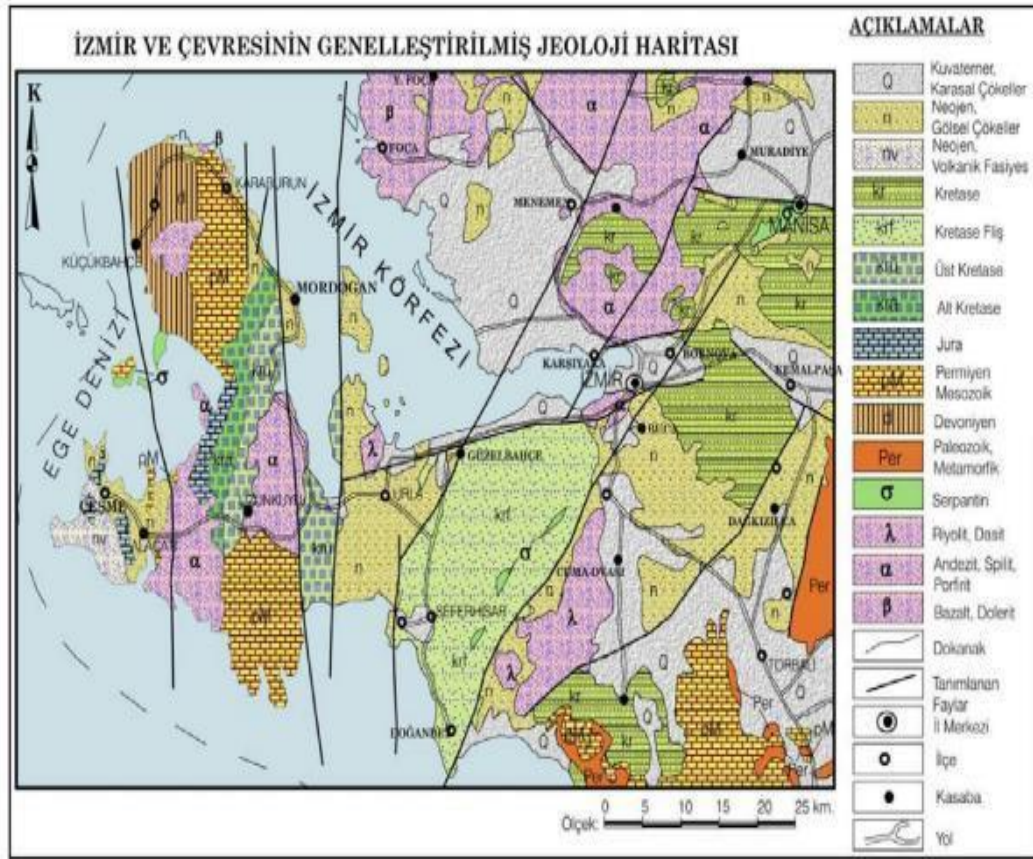
Olasılıksal Sismik Tehlike hesaplamalarında zemin yapısı, zemin etüt çalışmaları ile belirlenmiş olup, sahanın yerel zemin sınıfı “ZD” olarak değerlendirilmiştir. Olasılıksal Sismik Tehlike hesaplamalarında, temel seviyesinden itibaren V_{s30} hızı, PS Log ve yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) ölçümlerinde elde edilen sonuçlar dikkate alınarak $V_{s30} = 250$ m/s olarak seçilmiştir. Yapı zemin etkileşimi çalışması için öngörülen derinlik olan 100 m seviyelerinde ise S dalgası hızı $V_s = 550$ m/s olarak seçilmiş ve Olasılıksal Sismik Tehlike hesaplamalarında kullanılmıştır.

3.2.2. Deprem tehlikesinin değerlendirilmesi

İzmir ve çevresinin deprem tehlikesi analizleri detaylı olarak çalışılmış konulardan biridir. Bu konuda mevcut çalışmalar; İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı (İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi KRDAE, 2000) İzmir Sismotektonik Yöresinin Depremselliği (Sezer, 2004), Earthquake Hazard of the Aegean Extension Region (Polat ve diğ., 2008), Probabilistic Seismic Hazard Assesment for İzmir, Turkey (Deniz ve diğ., 2010) olarak sıralanabilir. Bir bölgede deprem tehlikesinin değerlendirilmesi aşamasında, bölgenin sismotektonik yapısı (faylanma mekanizmaları ve fay özellikleri), bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel ve aletsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle çalışmada deprem tehlikesinin değerlendirmesinde yukarıda sıralanan etkenlerin her birinden bahsedilecektir.

3.2.2.1. Bölgenin jeolojisi ve yerel zemin koşulları

İnceleme alanı ve yakın çevresinde jeolojik durum ve yerel zemin koşulları, zemin etüt raporunda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Elde mevcut verilere göre, proje sahasında alttan üste doğru; Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı, Neojen Sedimentleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. Bölgenin genelleştirilmiş genel jeoloji haritası Şekil 3.19.’da ve genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti Şekil 3.20.’de sunulmuştur.



Şekil 3.19. İzmir ve yakın çevresinin jeoloji haritası.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	AS SİSTEM	SERİ	BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENEZOYİK	SENEZOYİK	KUVATERNER	ALÜVYON			Kıl, silt, kum, çakıl seviyelerinden oluşur.
				Andezitik lav		Koyu yeşil renkli porfirik dokulu dayk Koyu gri renkli porfirik dokulu andezitik bileşimli dayk Siyahımsı-koyu gri renkli porfirik dokulu, alta belirgin akma yapılı, üstte masif görünümlü andezit bileşimli lav
				Andezit-tüf-aglcmera		Sarımsı-kahverengi renkli, az yuvarlaklaşmış andezit blokları tüf aramaddelidir. Alt düzeylerinde tüf mercikleri ve akma yapısı sunan, andezit bileşimli lav düzeyi ile üst düzeylerinde volkanoklastik çakıltaşı seviyeleri içerir.
				Dasitik lav		Yeşil renkli, porfirik dokulu, dasit bileşimli, kubbe şekilli felsik sokulum Yeşilimsi-gri renkli, porfiritik dokulu, belirgin akma yapıları sunan, dasit bileşimli lavlar
				Dasitik tüf		Açık yeşilimsi-gri renkli, breşik dokulu, aşırı silisleşmiş intrüzyon breşi, Sarımsı-beyaz renkli, az yuvarlaklaşmış kayaç kırıntıları içeren, az pekleşmiş aşırı ayrılmış dasitik tüf
				Kireçtaşı		Sarı kahve ve bej renkli olup kalın katmanlı, dayanımlı yer yer çatlakları kalsit dolguludur, Genelde açık yeşil, kahverengi ve sarı renklerde dayanımsız kıl ardalanması içerir.
				Çakıltaşı		Açık grimsi renkli bileşenleri orta ve iyi yuvarlaklaşmış orta küreselleşmiştir. Üst düzeylerinde kırmızı renkli düzenli orta-kalın tabakalı iyi pekleşmiş kumtaşları ile ardalanmalıdır.
				Bornova Karmaşığı		Fliş fasiyesinde kırıntılı kayaçlar ile bunlar içerisinde irili ufaklı bloklar oluşturan serpantinli, kireçtaşı, çöri, diyabazlardan oluşur. Bazı kesimleri metamorfizmaya uğramıştır. Kırıntılı kayaçlar bol kıvrımlıdır.
SENEZOYİK	ÜST KRETASE	PALEOJEN	NEOJEN			
		PALEOSEN	MİYOSEN			

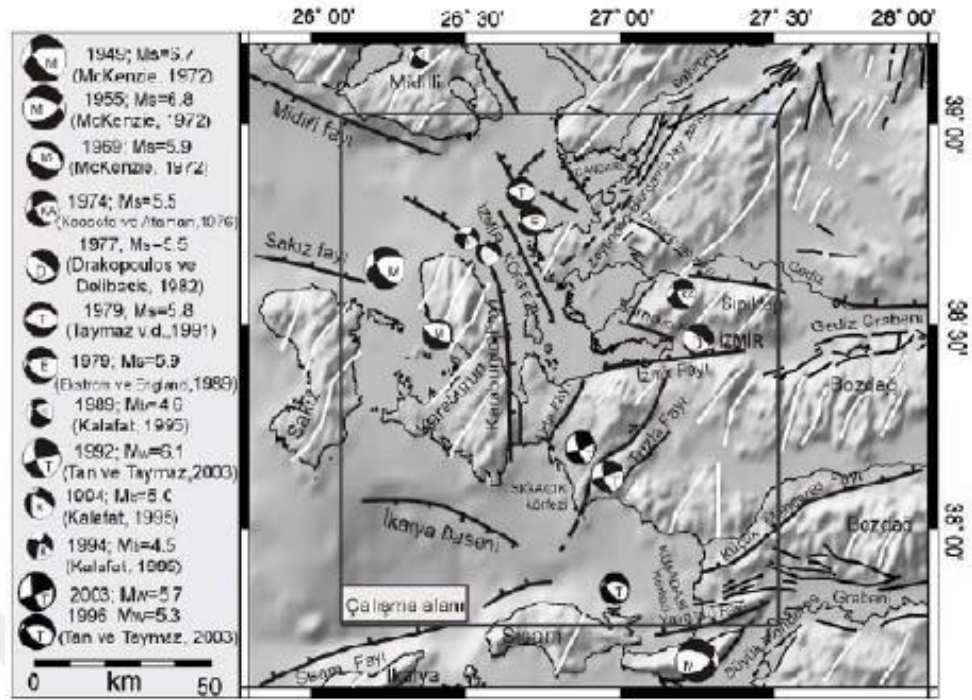
Şekil 3.20. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun sunumu.

3.2.2.2. Bölgenin tektonik ve sismotektonik yapısı

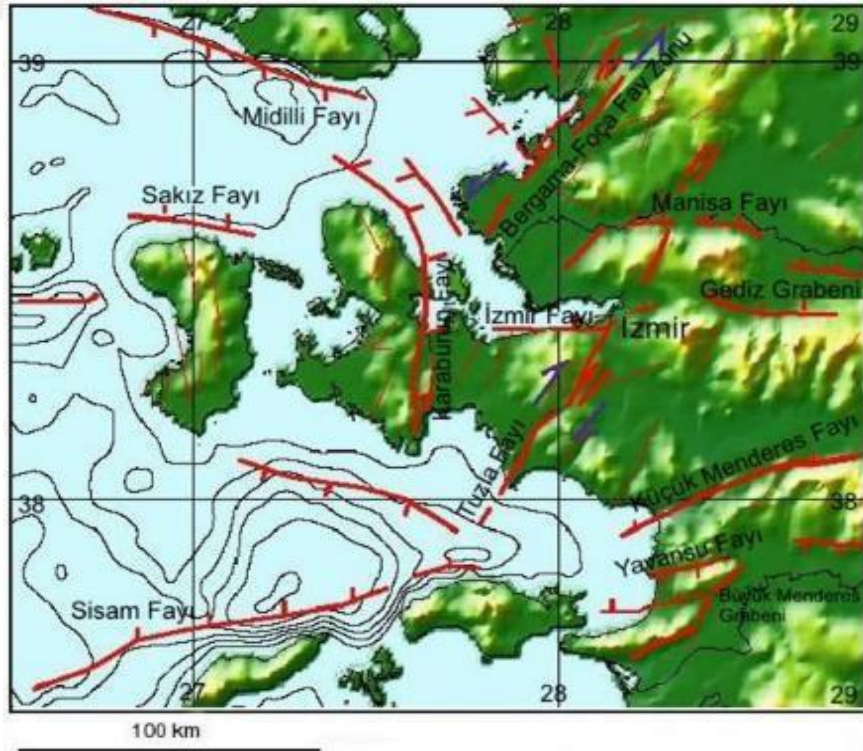
Jeolojik yapısı ve morfo-tektonik özelliği itibariyle Asor adalarından Endonezya'ya kadar uzanan Alpin Kuşak'ta (Akdeniz-Himalaya Kusağı) yer alan bölge, özellikle Ege-Hellen Hendeği ve bunun doğu uzantısı durumunda olan Kıbrıs yayı ile Ege graben sistemi, Batı-Kuzey Anadolu Fay sistemi ile bütünlük içinde Batı Anadolu çekme rejiminin denetimi altındadır.

Karaburun yöresi, özellikle Ege-Hellen Hendeği ve bunun doğu uzantısı durumunda olan Kıbrıs yayı ile Ege graben sistemini içeren Batı Anadolu çekme rejiminin denetimi altındadır. Anadolu'nun batıya hareketi, doğu-batı yönlü sıkışmalara, kuzey-güney yönlü genişlemeye ve dolayısıyla da yöredeki fay sistemlerinin domino taşları gibi kıpırdanmasına neden olmaktadır. Nitekim, Afrika levhasının Anadolu altına daldığı Ege-Hellen hendeği ve bunun doğu uzantısı durumunda olan Kıbrıs yayı, Ege graben sisteminin fayları, Kuzey Anadolu Fay sisteminin batısındaki faylar, depremlerin tarih boyunca yoğunlaştığı alanlar olarak dikkati çekmektedir (Sezer, 2004). Bilindiği üzere, Batı Anadolu, Post Alpin dönemde Akdeniz Tektoniği / Neotektonik olarak bilinen dikey tektonik hareketlere maruz kalarak parçalanmış, horst-graben sistemleri gelişmiş ve bu arada körfezleriyle birlikte Ege Denizi oluşmuştur (Sezer, 2004).

İzmir sismotektonik yöresi Bakırçay, Gediz, Küçük ve Büyük Menderes grabenlerini (Ege graben sistemini) içermesi nedeniyle Batı Anadolu'nun en önemli sismotektonik yöresi durumundadır. Şekil 3.21.'de İzmir ve çevresinde 1970'den günümüze kadar geçen sürede meydana gelen depremler gösterilmiştir. Şekilde 1970-2005 yılları arasındaki depremler kullanılmış olup, deprem verileri USGS'den alınmıştır. Bölgede sismik moment büyüklüğü 4'den daha büyük olan çok sayıda depremin meydana geldiği, depremlerin büyük çoğunluğunun Karaburun Yarımadası ile Doğanbey Körfezi arasındaki alanda ve Dikili Körfezi ile Çandarlı Körfezi'nin güneybatısında gerçekleştiği gözlenmektedir (Baysal ve diğer., 2010).



Şekil 3.22. Çalışma alanı ve yakın civarının aktif fayları, çizgisellikleri (beyaz ile gösterilen) ve aletsel dönemdeki depremlerin fay düzlemi çözümleri (Ocakoğlu ve Demirbağ, 2005).



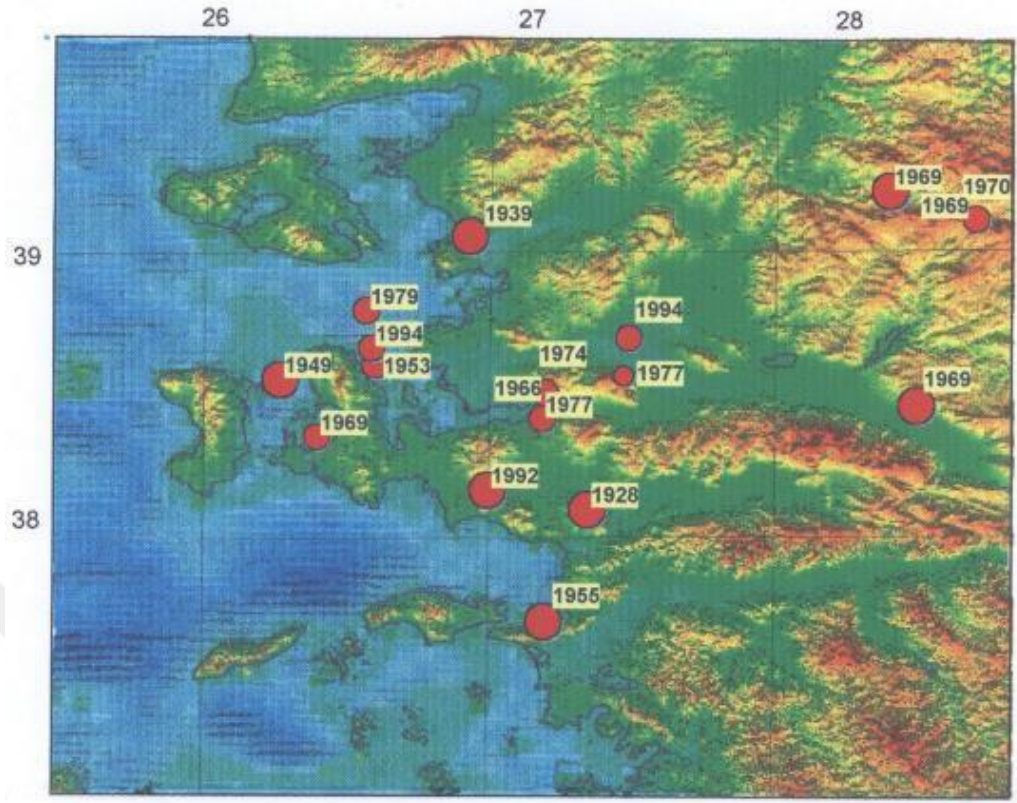
Şekil 3.23. İzmir yakın çevresi aktif fayları (İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Araştırma Projesi (2000)).

Araştırılan kayıtlar İzmir kentinin çoğu depremden etkilenmiş olmasına rağmen özellikle bazı depremlerde çok büyük hasarların meydana geldiğini göstermektedir. Tarihsel depremler açısından M.S. 17 depremi, İzmir yöresi için en önemli depremlerden birisidir. Bu depremler dışında özellikle 1688 depremi İzmir’de büyük ölçüde can kaybı ve hasara sebep olmuştur. Ayrıca, 1739 ve 1778 depremleri de yine İzmir yakınlarında meydana gelmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).

M.S. 1-2000 yılları arasında İzmir Körfezi ve civarında meydana gelen magnitüdü 4’e eşit ve daha büyük 269 depremin 92’si bu dönemde kaydedilmiştir. Bu az sayıdaki tarihsel deprem kayıtlarının %73’ü 5.5 M’nin (şiddeti VII’nin) altındadır. 10000’den çok can kaybının olduğu depremler genellikle İzmir ve civarında kaydedilmiştir. Örneğin 688 İzmir, 23 Şubat 1653 Batı Anadolu, 10 Temmuz 1688 İzmir, 15 Ekim 1883 Çeşme depremlerinde 10000’den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Depremlerin zaman içinde yoğunlaştığı dönemler hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılan frekans analizlerine göre, depremlerin %54’ü insanların genellikle zamanlarının çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirdiği ve ısınma araçlarının yandığı ve dolayısıyla da yangın tehlikesinin yüksek olduğu serin-soğuk dönemde meydana gelmiştir (Sezer, 2004).

3.2.2.4. İzmir ve civarındaki güncel depremsellik

1900’lü yılların başından itibaren “Alelsel Dönem” olarak adlandırılan ve günümüze kadarki dönemi içeren zaman diliminde İzmir kenti ve yakın çevresini etkileyen çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.25.). İzmir kenti merkez olmak üzere yaklaşık 50 km yarıçaplı bir daire içerisinde kalan alanda, 1900 yılından günümüze kadar magnitüdü 4.0’ten büyük 190 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin bazıları bölgede can kaybı ve büyük maddi hasarlara sebep olmuştur.



Şekil 3.25. İzmir ve çevresinde 20. Yüz yılda meydana gelmiş depremlerin merkez üssü dağılımı.

Son yüzyıl içinde İzmir ve çevresini etkileyen üç yıkıcı deprem meydana gelmiştir. 1928 Torbalı Depremi ($M=6.5$) (Solomon – Calvi, 1940), 1949 Karaburun Depremi (Pınar, 1950; Jackson ve McKenzie, 1984) ve 1992 Seferihisar Depremi ($M=6.0$) (Türkelli vd., 1994; Pınar, 1995) daha çok İzmir'in güneyindeki alanlarda etkili olmuştur. 2003 yılında meydana gelen Seferihisar Depremi ($M_w=5.7$) ise Seferihisar'da az hasara sebep olmuştur. İzmir kent yerleşkesi orta büyüklükte de olsa çevresinde oluşan bu depremlerden etkilenebilecek bir coğrafik konumdadır (Baykal, 2006).

M.S. 1-2000 yılları arasında İzmir Körfezi ve civarında meydana gelen magnitüdü 4 ve daha büyük 269 depremin 177'si bu dönemde kaydedilmiştir. %95' inin magnitüdü 5.5 M ve daha küçüktür. %86'sının odak derinliği 0-30 km arasındadır. M.S. 1900-2000 tarihleri arasında olmak üzere 9 kez 5.5 M sınırı erişilip aşılmıştır, yani 9 kez şiddetli deprem olmuştur. Bunların arasında 100 ve daha çok ölümlle sonuçlanan deprem, 23 Nisan 1970 Manisa depremidir. En aktif yıllar 1976 (11 deprem), 1994 (11

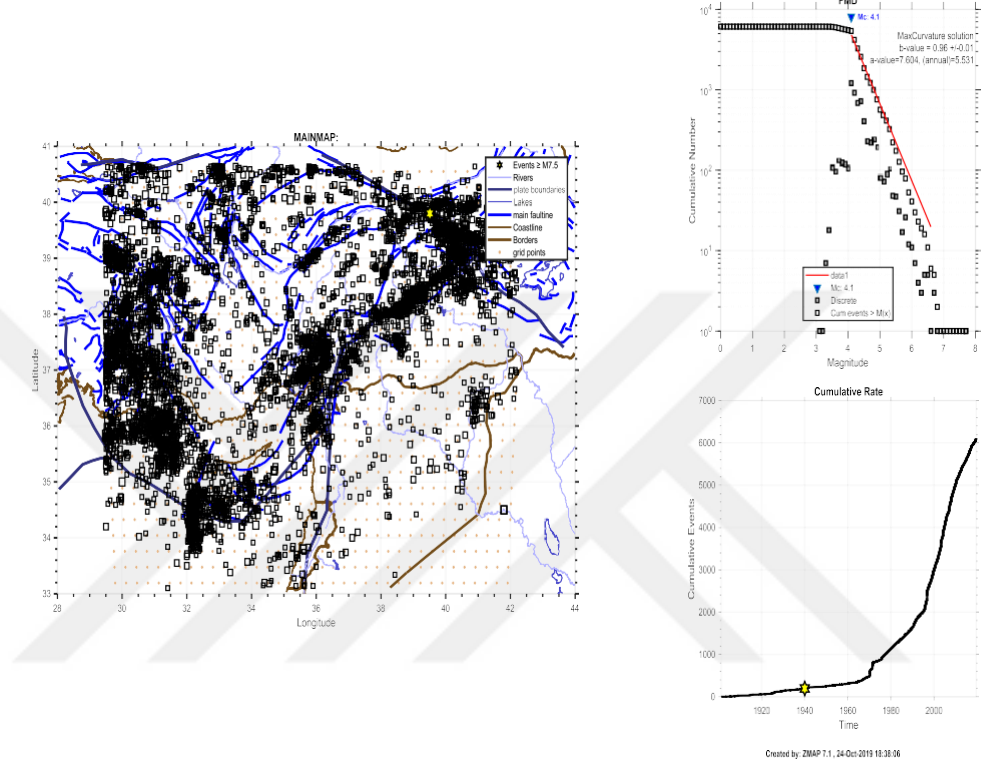
deprem) ve 1992 (10 deprem) yılları olmuştur. Depremlerin episantrları tarihsel dönemdeki aksine kuzeyde ve kıyı kesimlerinde faylara bağlı toplanma göstermiştir (Sezer, 2004).

3.2.3. Olasılıksal deprem tehlike değerlendirilmesi

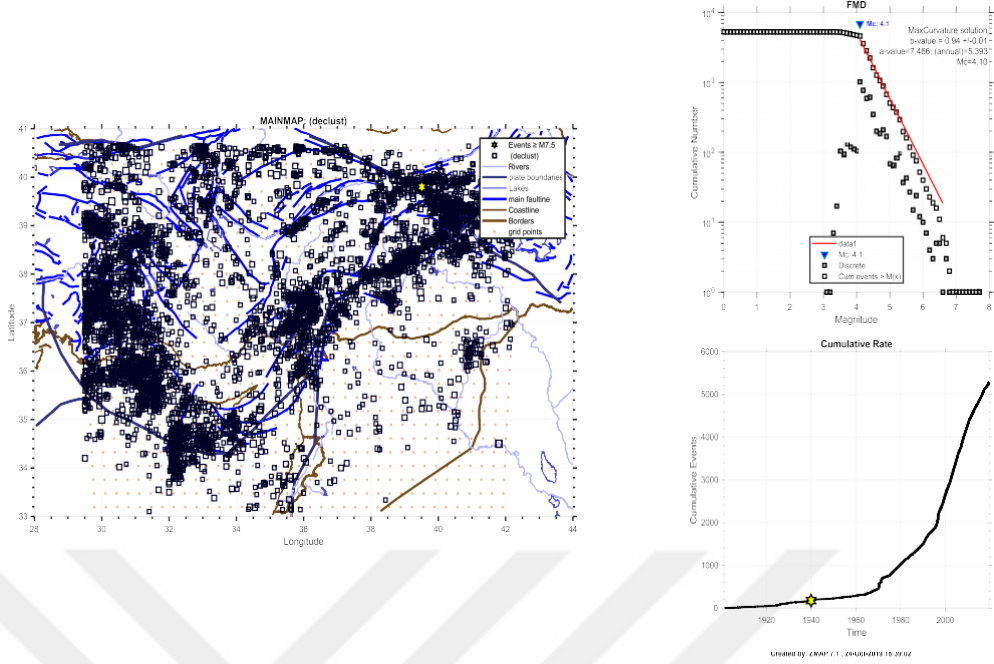
Bu çalışmada Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) verileri kullanılarak tutarlı (coherent) bir deprem kataloğu oluşturulmuştur. Bu amaçla, 01 Nisan 1901 ile 31 Temmuz 2019 tarihleri arasında KRDAE tarafından rapor edilmiş aletsel dönem deprem kayıtları kullanılmıştır. Her bir deprem için şu nitelikler derlenmiştir: Tarih, Oluş zamanı, Enlem, Boylam, Derinlik, Deprem büyüklüğü (genel olarak M_b). Çalışmanın amacına yönelik olarak tutarlı bir deprem kataloğu elde edebilmek amacıyla katalog, tamlık (completeness) ve deprem dağılımlarının zaman bağımsızlığı (time independency) ile aynı depremin birden fazla kullanılmaması (duplication) hususları dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Her bir depremin belirli ölçüde diğer bir depremi tetiklemesi olasılığı mevcuttur. Bu sebeple bu depremler zaman ve uzayda kümelenmeler (clustered) oluşturabilir. Bu çalışmada kullanılan deprem tehlikesi analizinin temel kabulü deprem kaynaklarının zaman bağımsızlığıdır (zamanda rastgele dağılım). Dolayısıyla deprem kataloğunun öncü şok (foreshock) ya da artçı şok (aftershock) gibi birbiriyle bağımlı ya da ana şok ile bağımlı olaylardan arındırılması gereklidir. Diğer depremler tarafından tetiklenmiş bu depremlerin (öncü şok ya da artçı şok) deprem kataloglarından arındırılmasıyla ilgili, yeniden kümelenme (decluster) işlemi için, belirli istatistiksel yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada Gardner and Knopoff (1974) tarafından Güney Kalifornia depremleri kullanılarak geliştirilmiş yöntem kullanılmıştır. Gardner and Knopoff (1974) artçı şok dizilerinin süre (T) ve boyutunu (L) ana şok manyitüdünün (M) bir fonksiyonu olarak tanımladıktan sonra verileri $\log T$ ya da $\log L = aM + b$ formunda en küçük üst sınır zarfa uydurmak koşuluyla yeniden kümelenme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan deprem kataloğunda yeniden kümelenme işlemi MapSeis isimli yazılım kullanılarak yapılmıştır. Yeniden kümelenme işlemi öncesinde deprem kataloğunda 6101 adet deprem mevcut iken

işlemin ardından declustering sonucunda 5126 adet deprem kalmıştır. Deprem kataloğunda yeniden kümelendirme işlemi öncesi ve sonrası sonuçlar Şekil 3.26. ve Şekil 3.27.'de sunulmuştur.



Şekil 3.26. 01.04 1901- 31.07.2019 tarihleri arası içerir deprem kataloğunun Decluster işlemi yapılmadan önceki hali.



Şekil 3.27. Decluster işlemi yapılmış deprem kataloğu.

Farklı büyüklük türleri içeren aletsel dönem deprem kataloğunun proje hedefleri doğrultusunda tek bir büyüklük türüne, “ M_w ” büyüklüğüne dönüştürülmesi amacıyla UDAP-Ç-13-06 dokümanı baz olarak alınmış ve UDAP-Ç-13-06 dokümanında verilen amprik bağıntılar kullanılmıştır. Bu bağıntılar şunlardır;

$$\begin{aligned}
 M_w &= 0.5716 (\pm 0.024927) M_s + 2.4980 (\pm 0.117197) & 3.4 \leq M_s \leq 5.4 \\
 M_w &= 0.8126 (\pm 0.034602) M_s + 1.1723 (\pm 0.208173) & M_s \geq 5.5 \\
 M_w &= 1.0319 (\pm 0.025) M_b + 0.0223 (\pm 0.117197) & 3.9 \leq M_b \leq 5.8 \\
 M_w &= 0.7947 (\pm 0.033) M_d + 1.3420 (\pm 0.163) & 3.5 \leq M_d \leq 5.0 \\
 M_w &= 0.7947 (\pm 0.031) M_l + 1.3003 (\pm 0.154) & 3.3 \leq M_d \leq 5.3
 \end{aligned}$$

Yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak, katalog M_w magnitüd ölçeği cinsinden homojen hale getirilmiştir. Bu çalışmalar Fahjan ve Mert tarafından 2018 yılında hazırlanan rapordan alınmıştır.

3.2.4. Analizlerde kullanılacak deprem yer hareketinin seçimi

TBDY (2018)'de zaman tanım alanında yapılacak analizler için aşağıdaki özelliklere sahip olan en az on bir deprem yer hareketi takımı (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilmesi istenmektedir. Her bir deprem yer hareketi takımı için senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtları kullanılacaktır. Bu çalışma kapsamında TBDY 2018 (2.4.1) dikkate alınarak sahaya özel deprem tehlikesi analizleri gerçekleştirilmiş ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları elde edilmiştir. Ölçeklendirme analizlerinde DD-1 ve DD-2 deprem seviyelerinde elde edilen sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları (GeoMean) kullanılmıştır. DD-1 (GeoMean) ve DD-2 (GeoMean) sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları ile uyumlu 11 adet yer hareketi takımının seçilmesinde aşağıdaki maddeler dikkate alınmıştır:

- a. Yeterli sayıda gerçek deprem ivme kaydı bulunamadığı durumlarda, deprem yer hareketi simülasyonları ve tasarım spektrumu ile uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketleri kullanılabilir. Aynı ivme kaydı (akselerogram) her iki yatay doğrultu için de kullanılmaz.
- b. Yapılacak deprem yer hareketi simülasyonları faylanma mekanizması, yırtılma özellikleri, deprem kaynağı ve kayıt istasyonu arasındaki ortamın jeolojik yapısını göz önüne alan fiziksel bir modele dayalı olmalıdır.
- c. Spektrum uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketlerinin faz spektrumunun senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtlarının faz spektrumuna benzemesi gereklidir.
- d. Her bir deprem yer hareketi takımından hesaplanan 0 s periyodundaki %5 sönüm oranlı spektral genliklerin ortalaması tasarım spektrumunun 0 s periyodundaki spektral genliğinden ($0.4S_{MS}$) daha düşük olmamalıdır.
- e. Her bir deprem yer hareketi kaydı ivme genliğinin $\pm 0.05g$ 'yi ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından veya 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

- f. Her bir deprem yer hareketi takımının iki bileşenine ait %5 sönüm oranlı spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilecektir.
- g. Bileşke spektrumun $0.2T$ ve $1.5T$ (T =binanın hakim doğal titreşim periyodu) periyotları arasındaki genliklerinin, deprem tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinin 1.3 katından daha az olmaması kuralına göre, deprem yer hareketleri bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki bileşenin ölçeklendirilmesi aynı oranlarda yapılacaktır.

Çalışma için spektrum uyumlu deprem yer hareketlerinin seçilmesinde yukarıda belirtilen kurallar aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

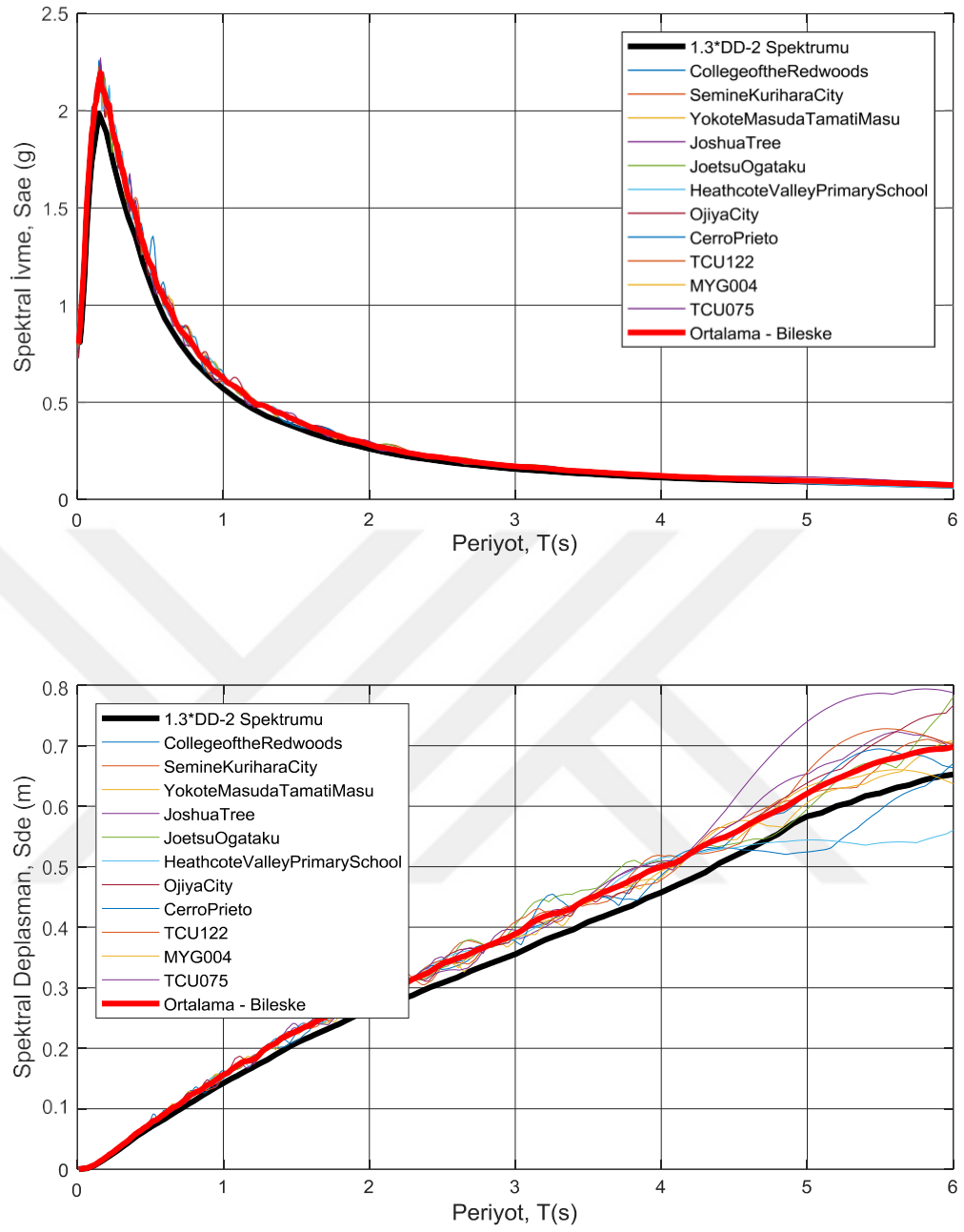
- a. Deprem yer hareketlerinin seçilmesinde PEER NGA Veri Bankası (PEER, 2013) (4096 adet yer hareketi) kullanılmıştır.
- b. Deprem moment büyüklüğü, $M_w=6.2-7.1$ aralığında ve zemin V_s hızı 362-573 m/s aralığında deprem yer hareketleri seçilmiştir.
- c. Seçilen deprem yer hareketlerinin fay hattına en yakın mesafesi 15-31 km arasında değişmektedir.
- d. Çalışma sahasında seçilen deprem yer hareketlerinden elde edilen bileşke spektrumun DD-1, DD-2 deprem düzeyleri için 0.15 s – 6.0 s periyotları arasındaki genlikleri TBDY (2018) e uygun olarak ölçeklendirilmiştir (Fahjan, 2008).
- e. Ölçeklendirilen deprem hareketleri içerisinde Deprem Tasarım Spektrumlarına en uygun olan 11 kayıt seçilmiştir. Deprem Tasarım Spektrumu ile zaman tanım alanında ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerinin spektrumları tam uyumlu olmadığından ölçeklendirme frekans alanında yapılmıştır.
- f. Tüm tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar, %5 sönüm oranı için elde edilmiştir.
- g. Bileşke spektrum, deprem yer hareketinin iki bileşenine ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir.

Deprem yer hareketinin zaman tanım alanındaki spektrum-uyumlu simülasyonları için yapılan analizlerde, Lilhanand ve Tseng (1987) tarafından zaman tanım aralığı için önerilmiş yöntem kullanılarak geliştirilmiş bir yazılım olan RSPMATCH (Al-Atik ve Abrahamson, 2010) programı tercih edilmiştir. Zaman tanım alanında çalışan bu yöntemde spektrum uyumlu yer hareketinin elde edilmesi için sonlu süreli dalgacık (wavelet) eklenmesi veya çıkarılması ile hedef spektruma uyumlu deprem kayıtları üretilmektedir. Bu yaklaşımla elde edilen kayıtların hedef spektruma oldukça yakın ve uyumlu olduğu görülmektedir. Dalgacıkların oluşturulması için RSPMATCH (Al-Atik ve Abrahamson, 2010) yazılımında iki model kullanılmaktadır. Bu temsili iki dalgacık modellerinin birincisi “zamanda tersinirilmiş tek dereceli sistem darbe davranış ivmesi”, ikincisi ise “filtrelenmiş kosinüs dalgası” yöntemidir. Uygulanan her iki dalgacık modeli sonucunda istenilen frekans içeriğinde en büyük ivme değerlerine göre faz içeriğinde önemli bir değişiklik olmadan yer hareketleri elde edilebilmektedir. Çalışmada ilk olarak, PEER NGA West2 Veri Bankasından (PEER, 2013) yer hareketi kayıtları incelenerek istenilen özelliklere sahip yer hareketi kayıtları seçilmiştir. Daha sonra seçilen kayıtlar RSPMATCH (Al-Atik ve Abrahamson, 2010) programı kullanılarak yukarıda belirtilen şartları sağlayan 11 adet yer hareketi kaydı belirlenmiştir.

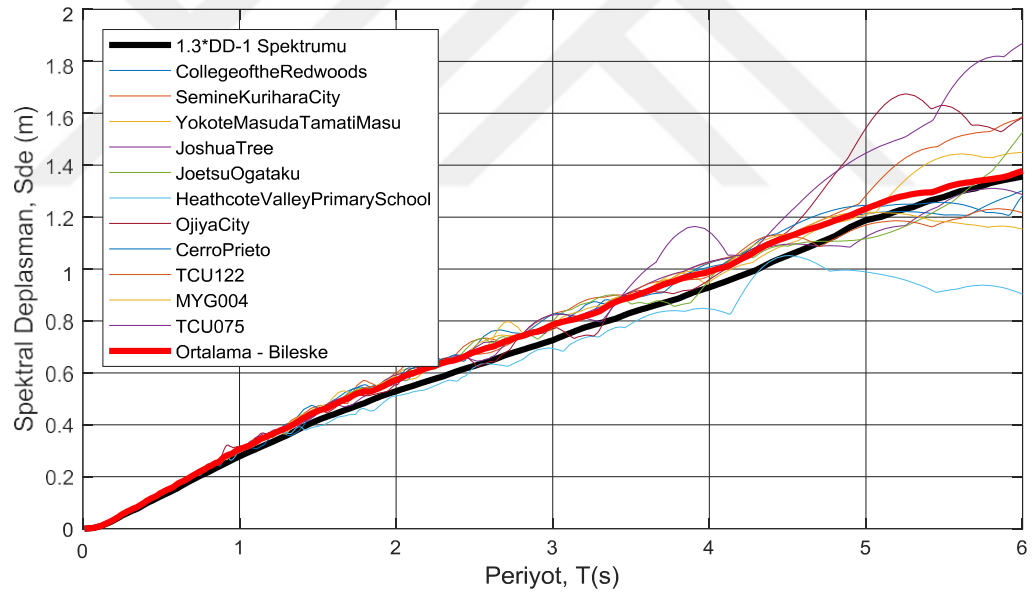
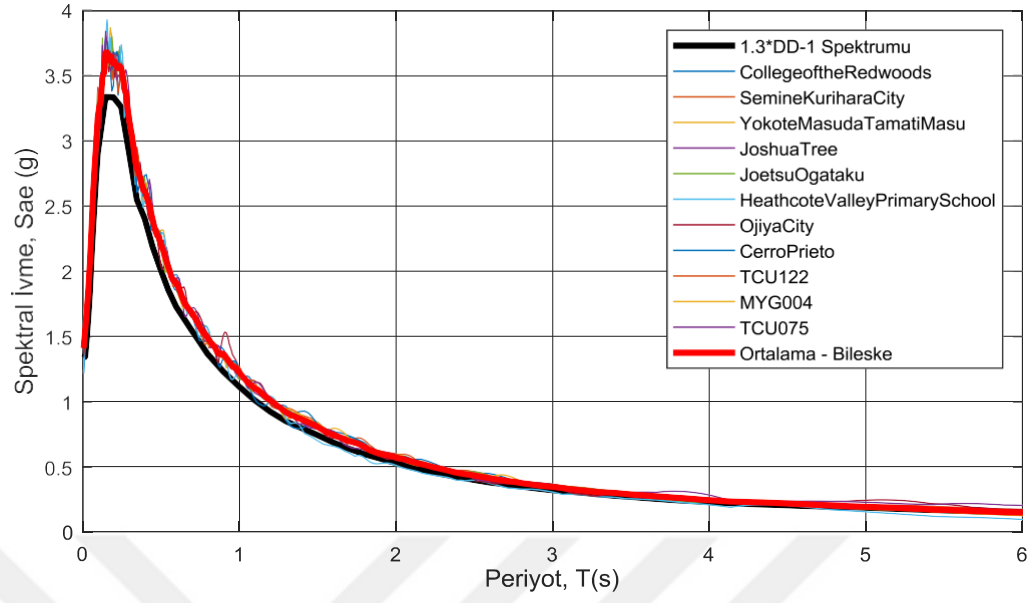
İstenilen koşullara sahip deprem yer hareketi kayıtları Tablo 3.1.’de verilmiştir. Deprem kayıtları ölçeklendirilirken kullanılan ölçeklendirme katsayıları bu tabloda sunulmuştur. Farklı depremler için elde edilen ölçeklendirilmiş deprem verileri Şekil 3.28. ile Şekil 3.73. arasında sunulmaktadır.

Tablo 3.1. Seçilen Deprem Yer Hareketlerinin Karakteristik Özellikleri

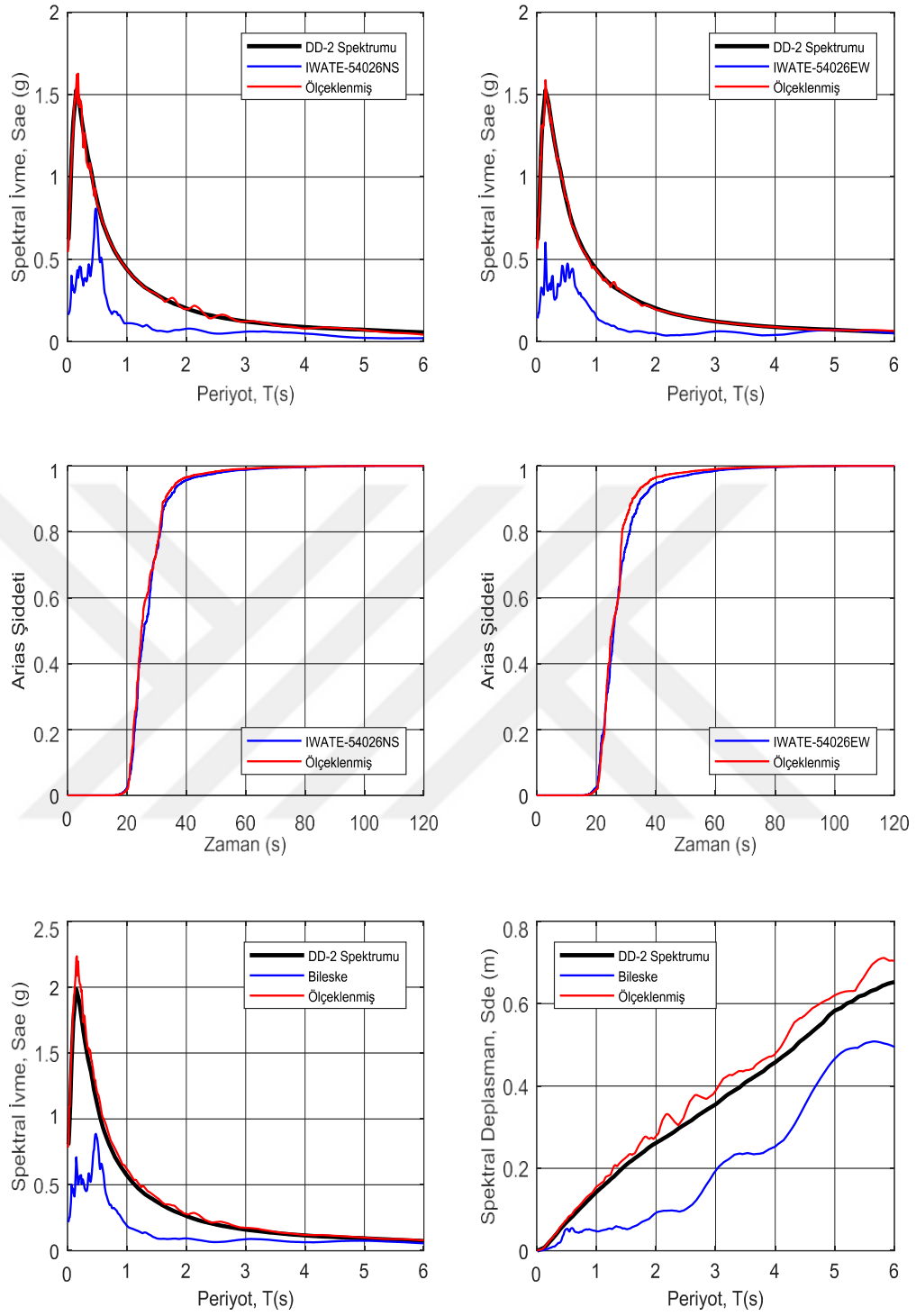
Deprem	Moment Büyükluğu	Fay Mekaniz ma	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	Epic Uzak (km)	En Kısa Uzak (km)	V _{s30}	Ölçeklendirme Katsayısı DD-2 DD-1	
Iwate, Japan, 2008	6,9	Reverse	Semine K. City Yokote	54026NS	54026EW	28,9	28,9	362	3,38	1,82
Iwate, Japan, 2008	6,9	Reverse	M. T. Masu College	55441NS	55441EW	27,24	29,89	368	3,25	1,70
Cape Mendocino, 1992	7,0	Reverse	Redwood s	CRW 270	CRW360	29,22	31,46	492	2,66	1,41
HectorMine, 1999	7,1	strikeslip	JoshuaTr ee	JOS090	JOS360	31,06	31,06	379	3,06	1,63
Chuetsu-oki, Japan, 2007	6,8	Reverse	Joetsu Ogataku	65011NS	65011EW	16,77	17,93	414	2,96	1,57
Darfield, NewZealand, 2010	7,0	strikeslip	Heathcot eV.P. School	HVSCS26W	HVSCS64 E	24,36	24,47	422	1,47	0,80
Chuetsu-oki, Japan, 2007	6,8	Reverse	Ojiya City	65321NS	65321EW	15,89	23,44	430	2,67	1,43
Imperial Valley-06, 1979	6,5	strikeslip	Cerro Prieto	H_H- CPE147.	H_H- CPE237	15,19	15,19	471	3,11	1,67
Chi-Chi, Taiwan- 03,1999	6,2	Reverse	TCU122	TCU122N	TCU122E	18,1	19,3	475	3,11	1,65
Iwate, Japan, 2008	6,9	Reverse	MYG004	MYG004NS	MYG004 EW	20,17	20,18	479	1,47	0,78
Chi-hi, Taiwan-03, 1999	6,2	Reverse	TCU075	TCU075N	TCU075E	18,47	19,65	573	3,60	1,93



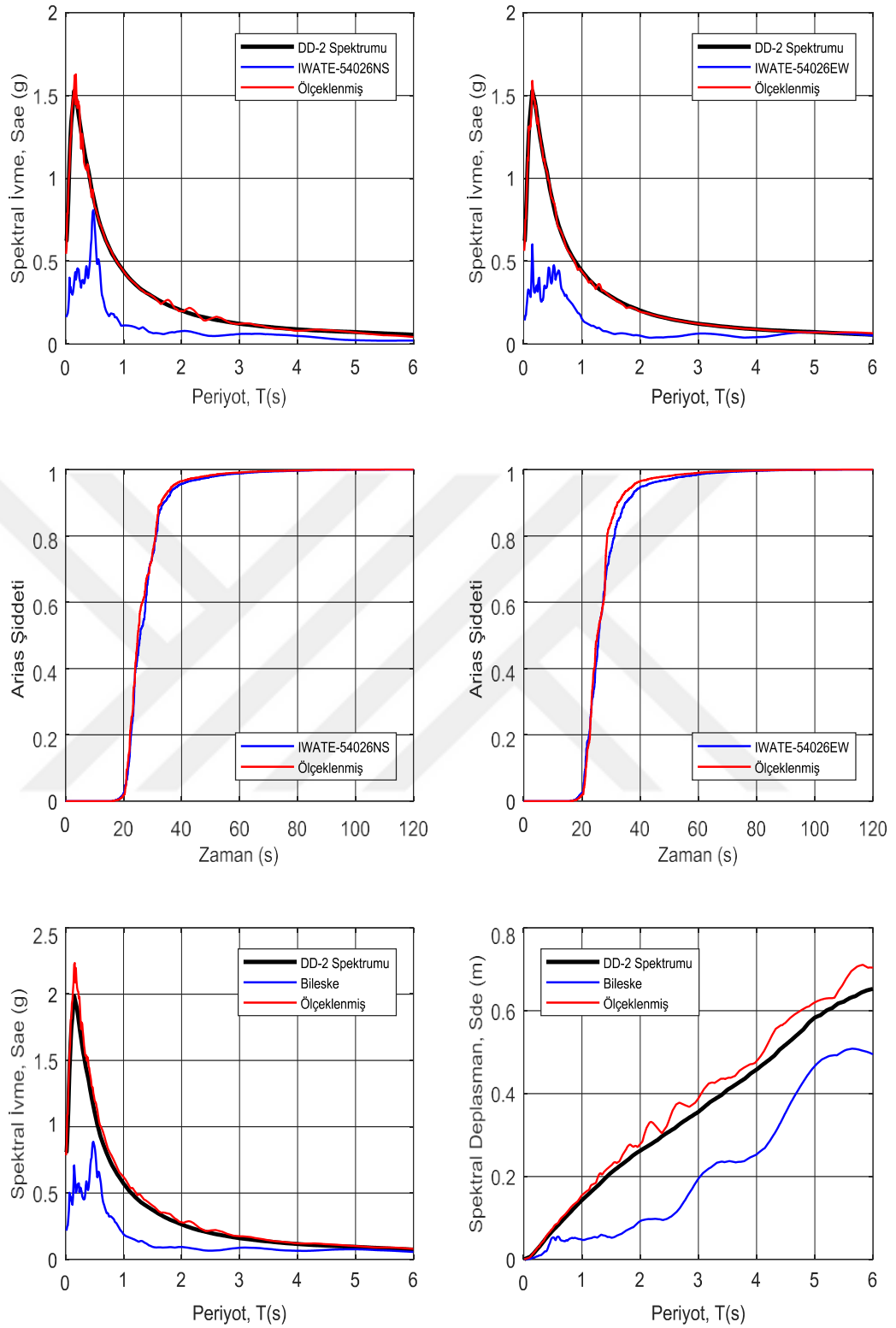
Şekil 3.28. Seçilen Deprem Yer Hareketlerine Ait (DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme ve Spektral Deplasman Bileşke Spektrumları ve Ortalamaları.



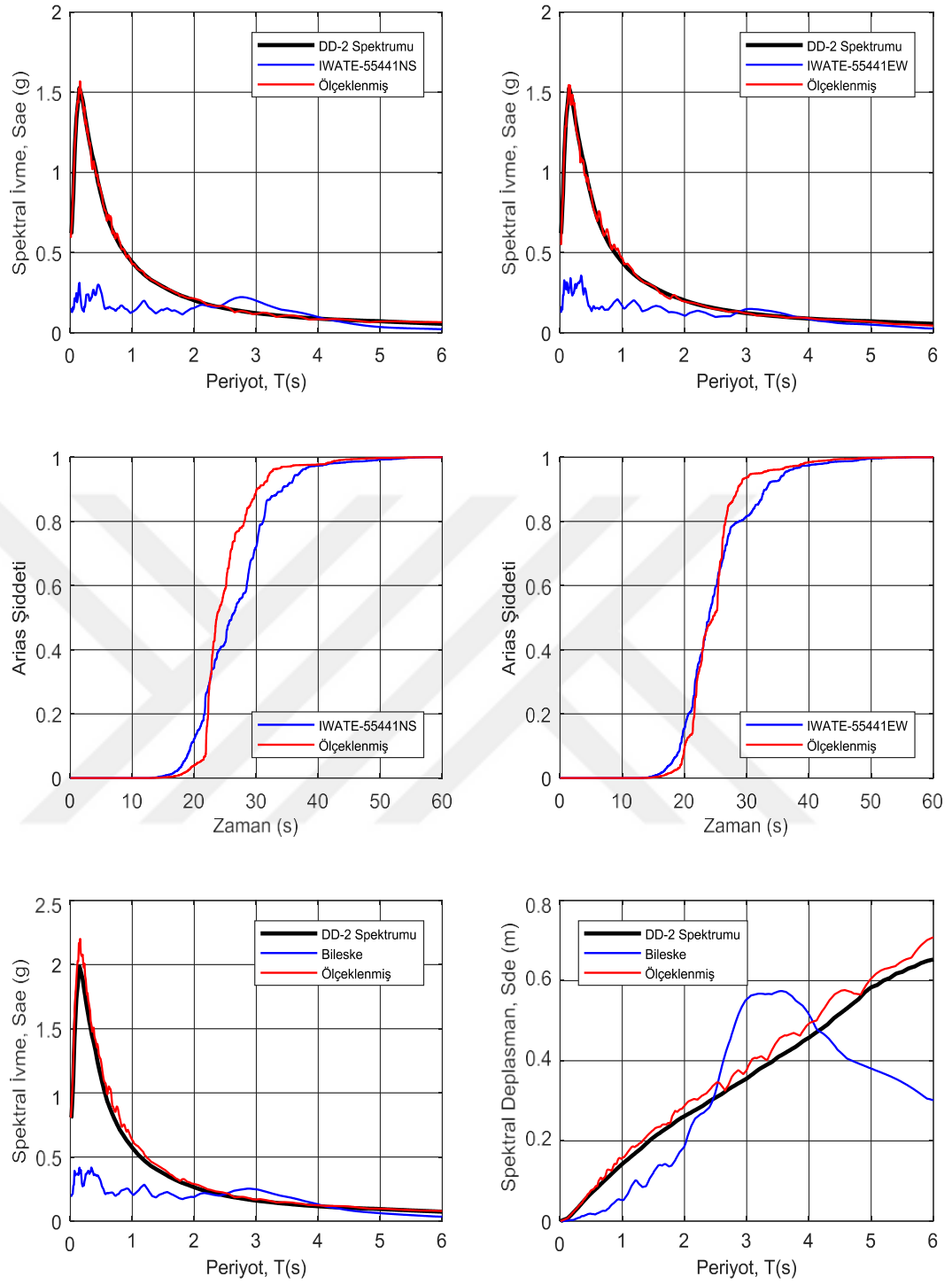
Şekil 3.29. Seçilen Deprem Yer Hareketlerine Ait (DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) Spektral İvme ve Spektral Deplasman Bileşke Spektrumları ve Ortalamaları.



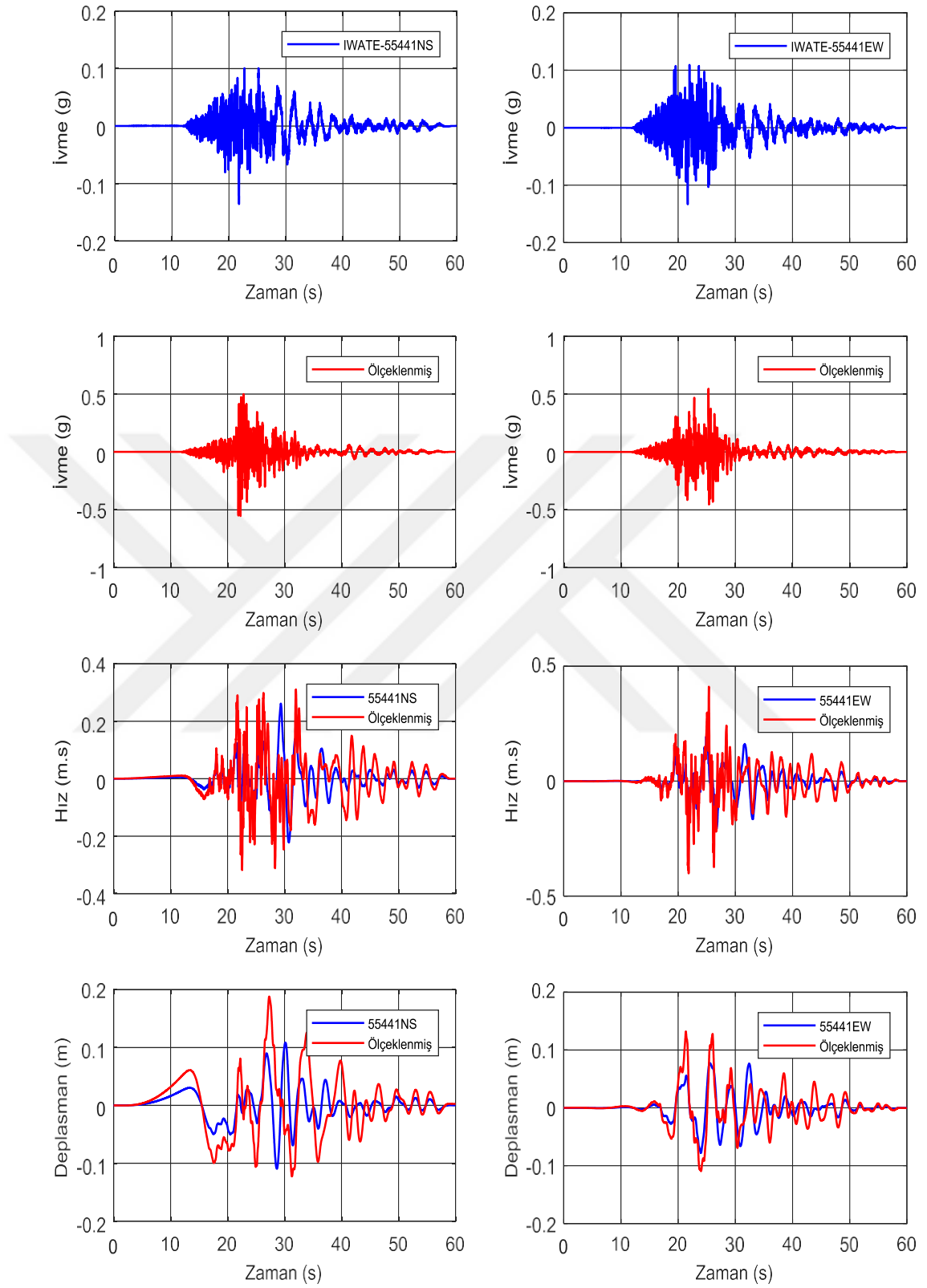
Şekil 3.30. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



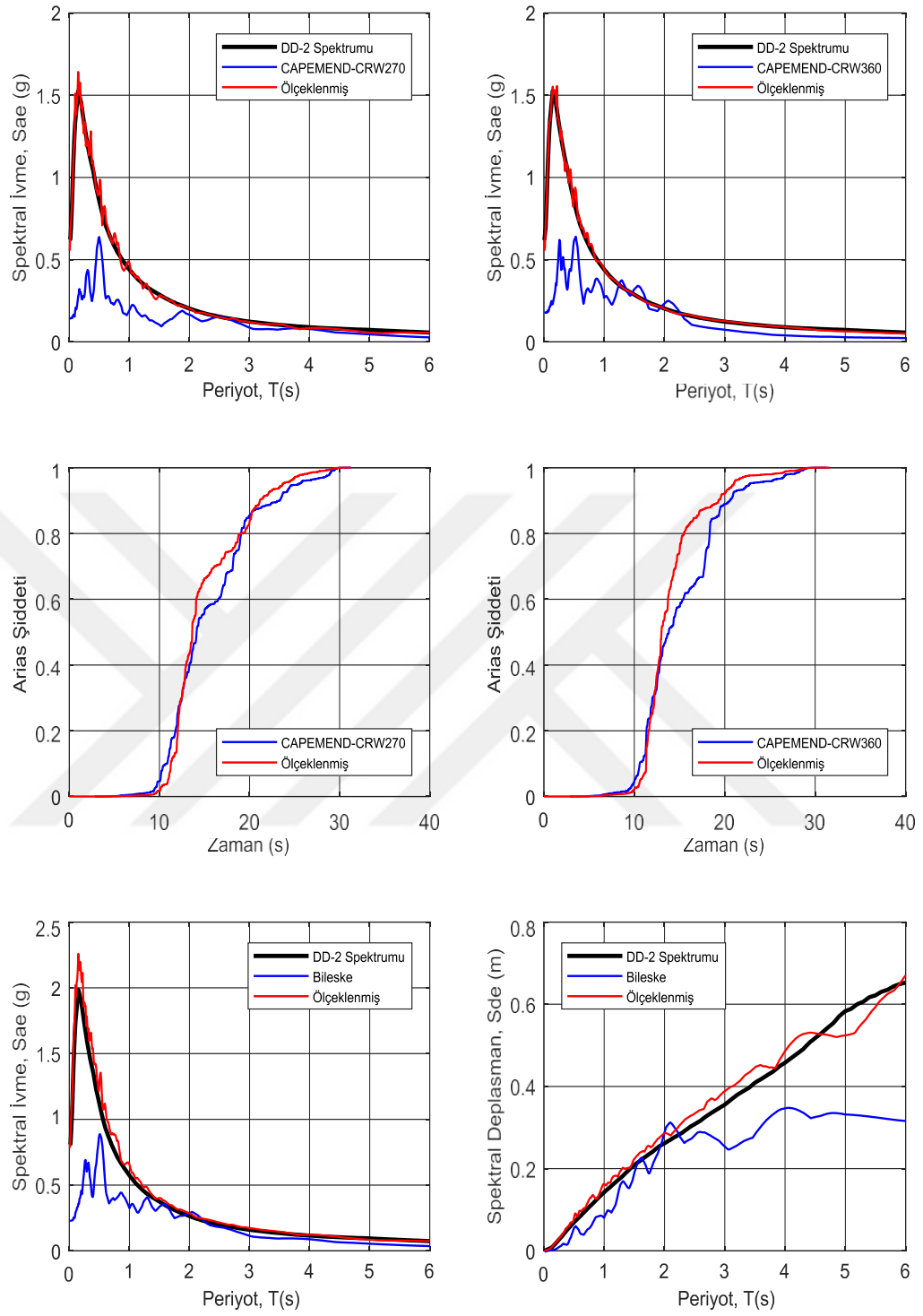
Şekil 3.31. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



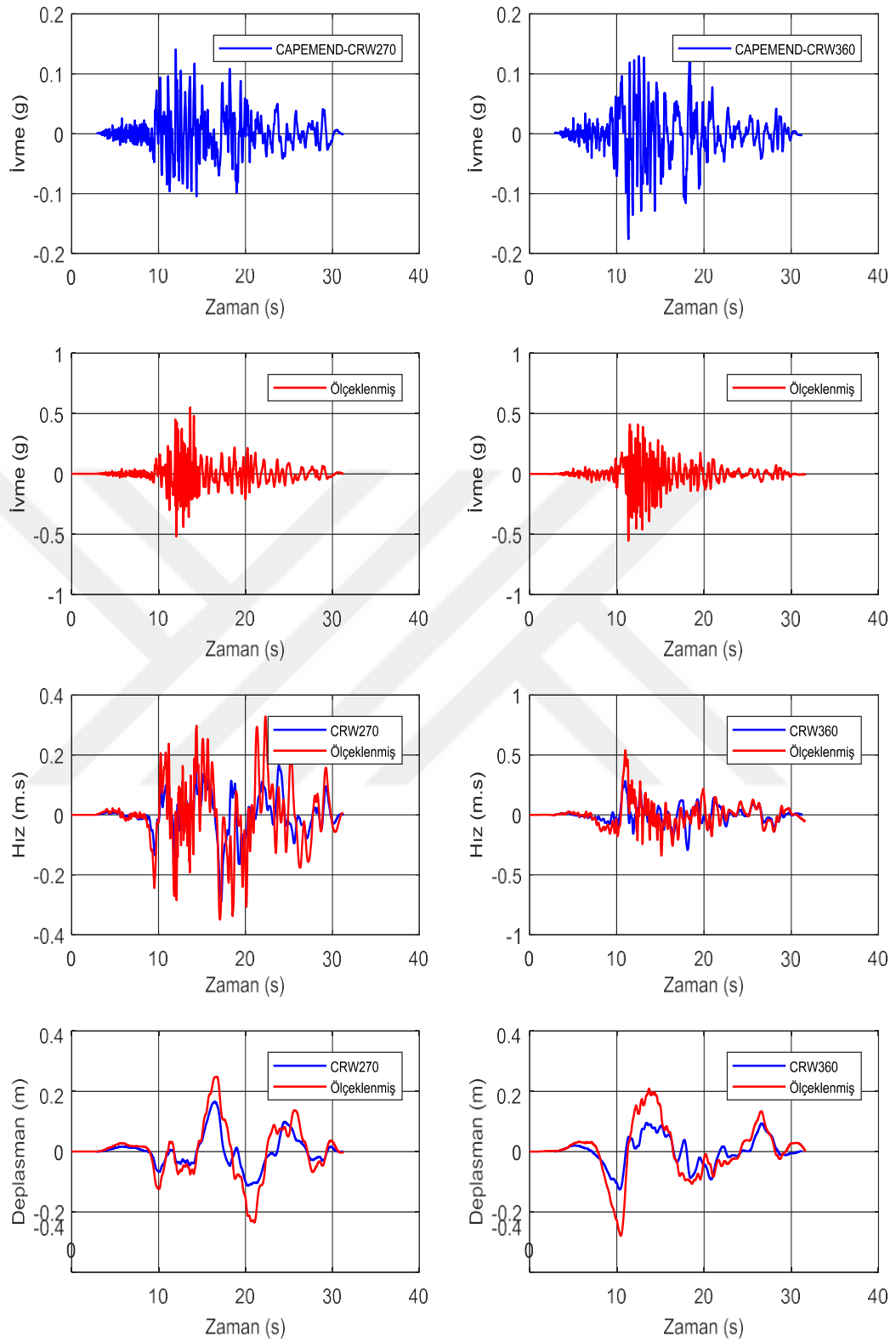
Şekil 3.32. Iwate Japan Depremi, Yokote Masuda Tamati Masu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



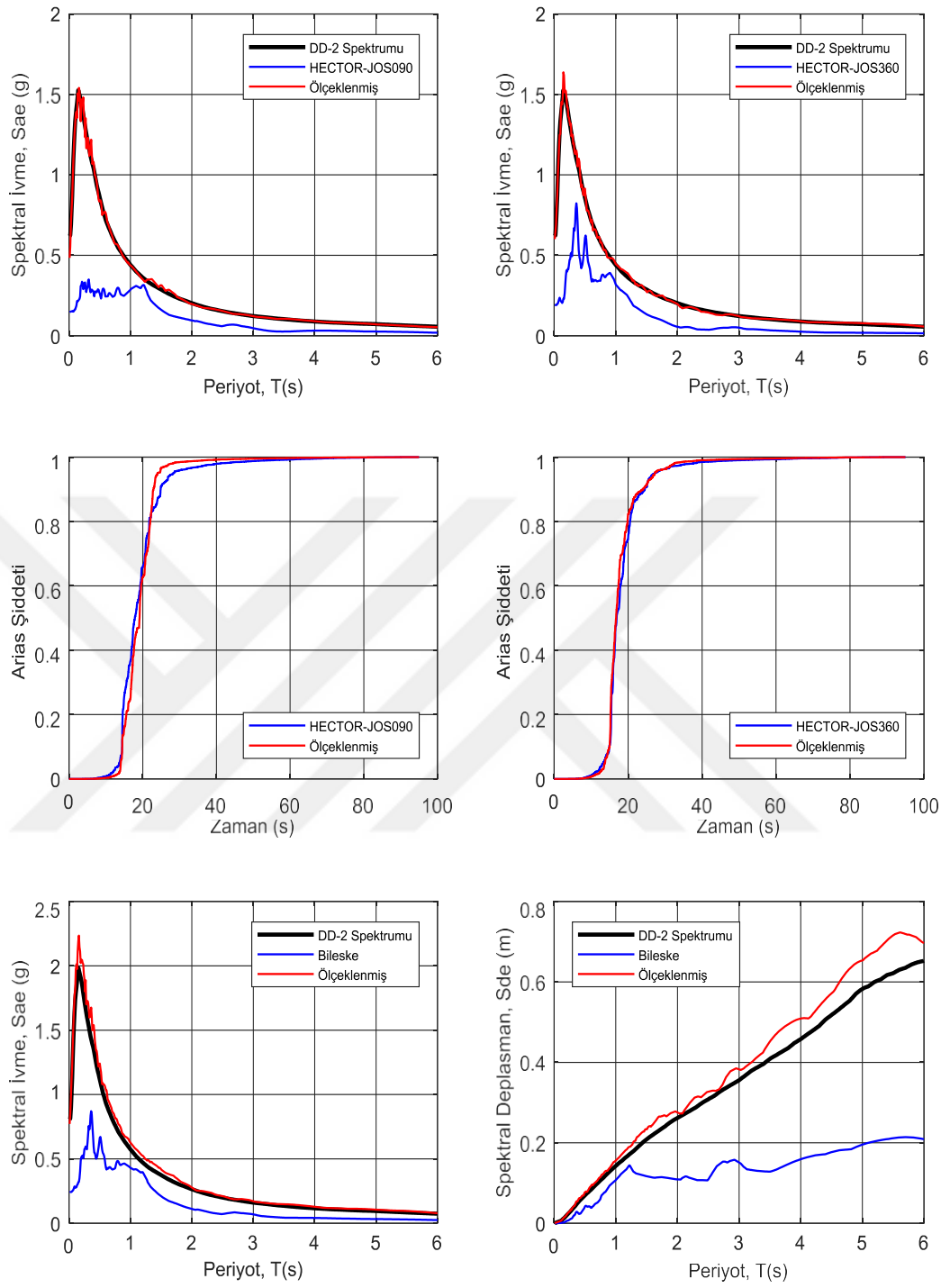
Şekil 3.33. Iwate Japan Depremi, Yokote Masuda Tamati Masu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



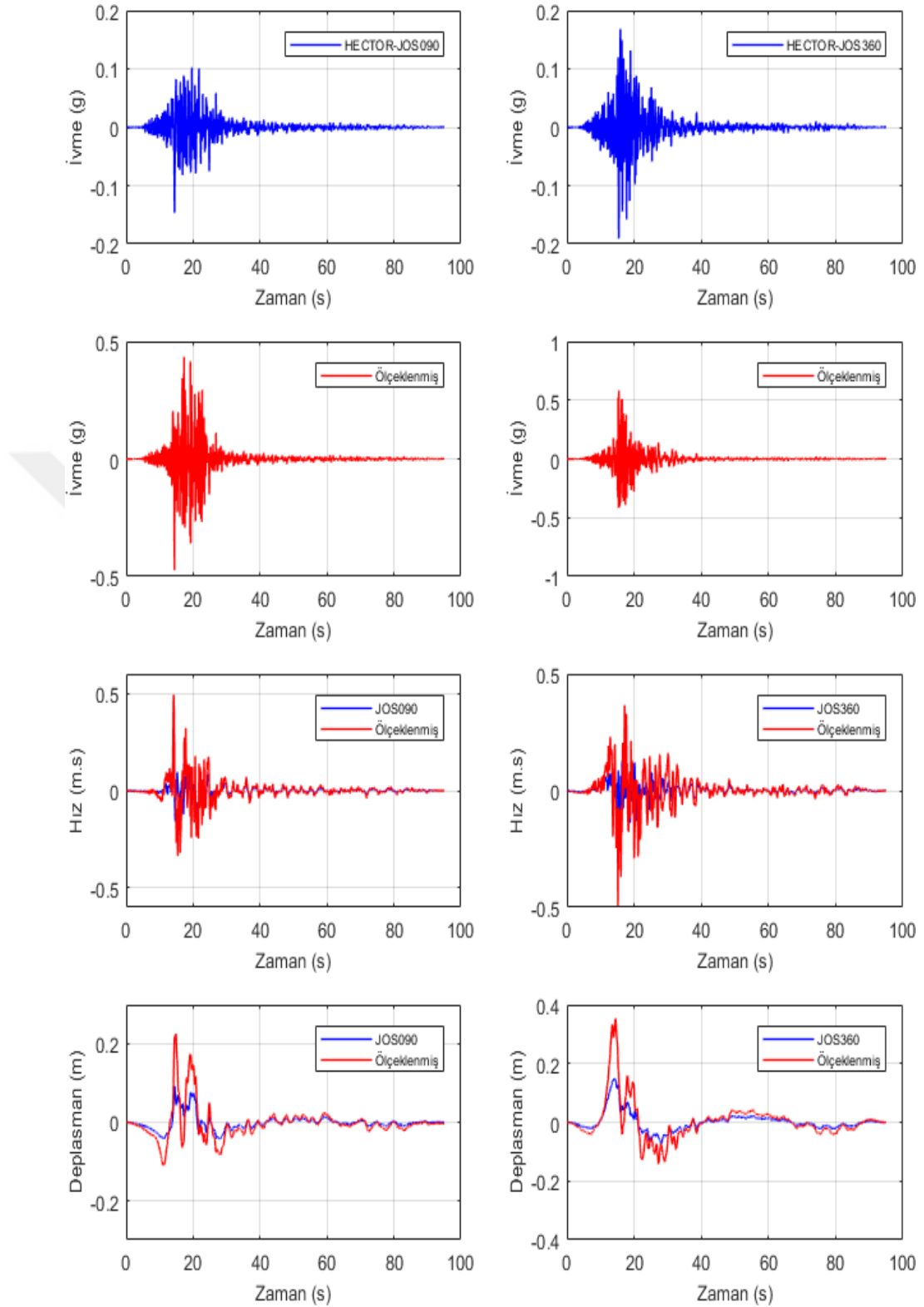
Şekil 3.34. Cape Mendocino Depremi, College of the Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



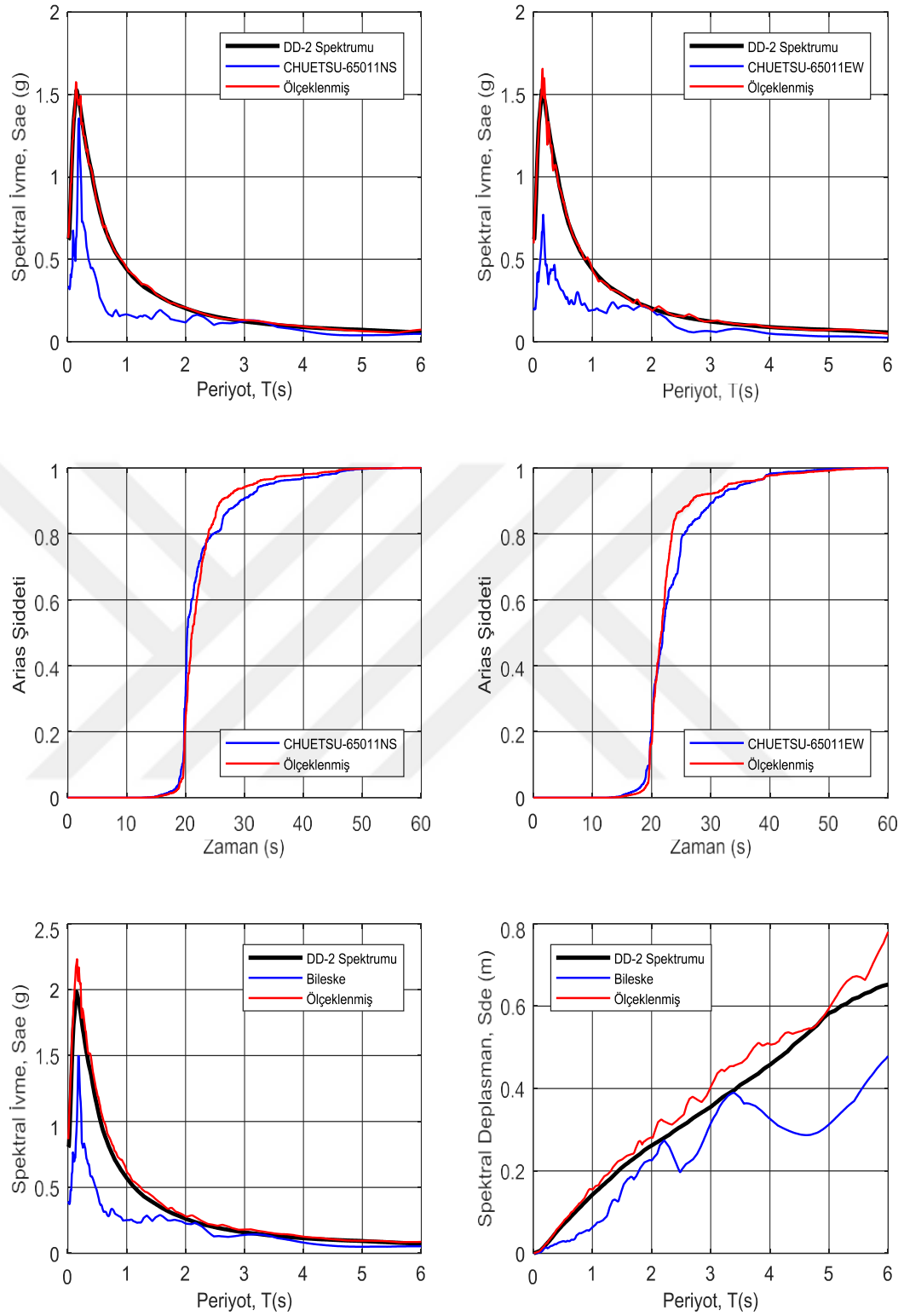
Şekil 3.35. Cape Mendocino Depremi, College of the Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



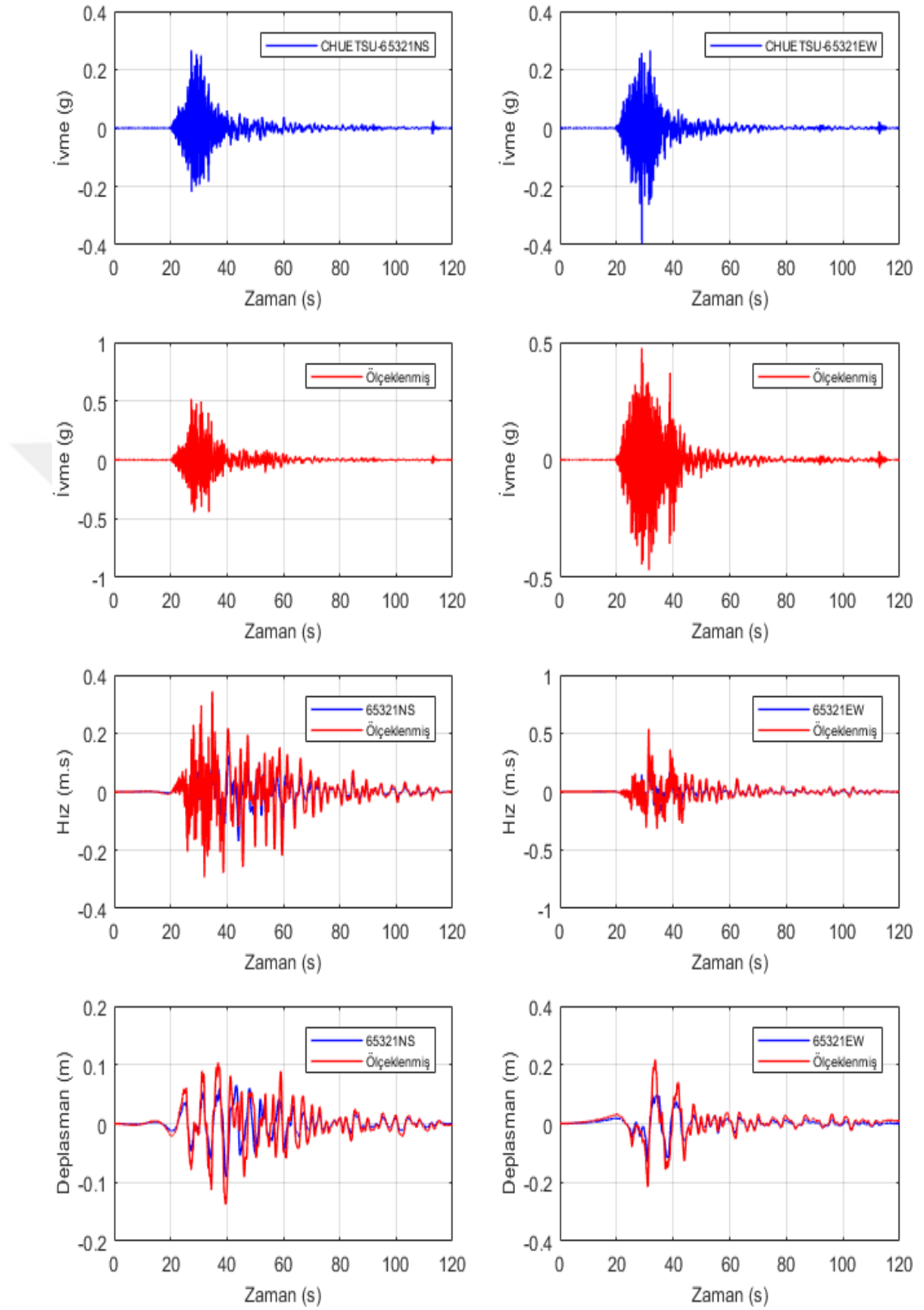
Şekil 3.36. Hector Mine Depremi, Joshua Tree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileske Spektrumlar.



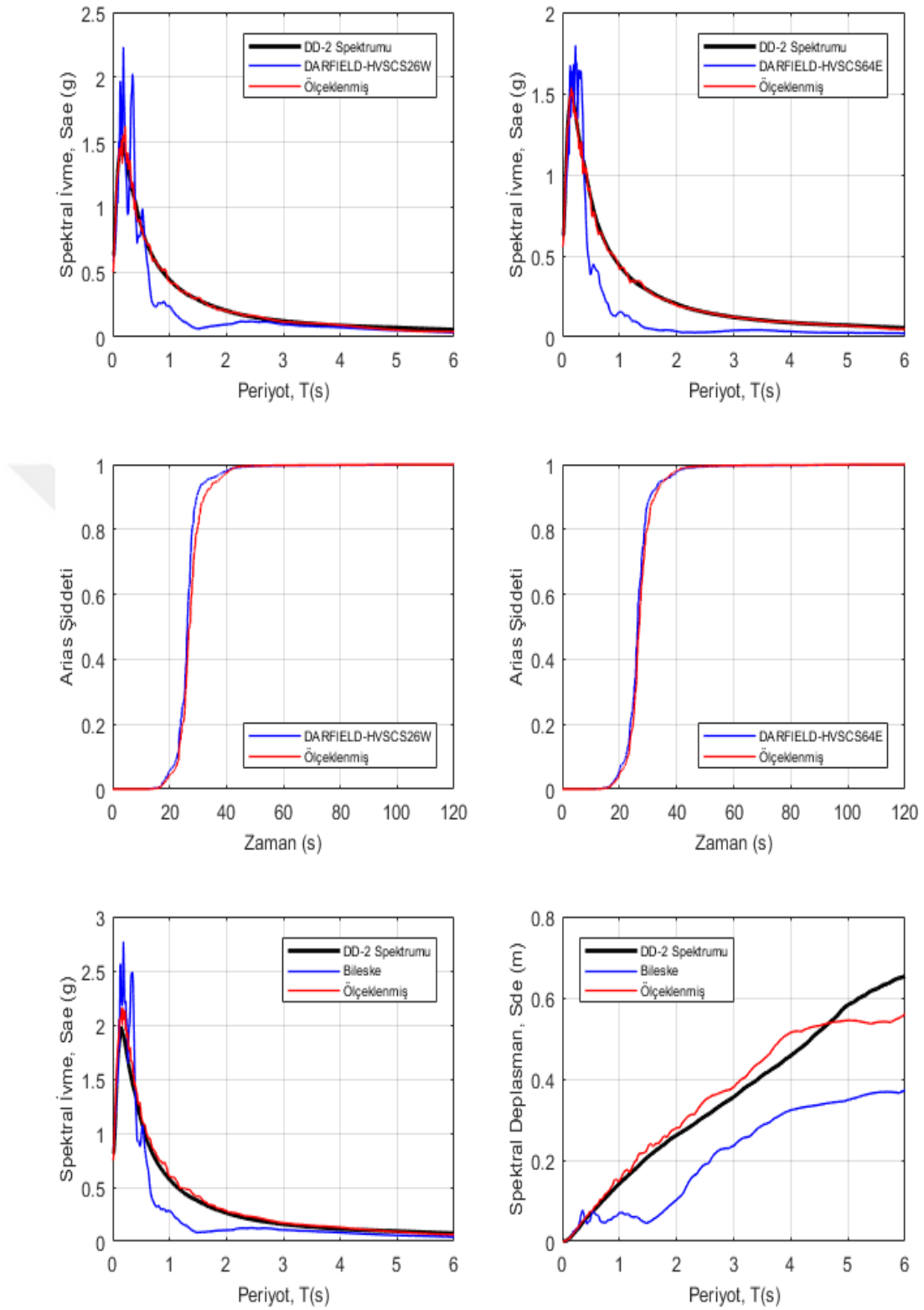
Şekil 3.37. Hector Mine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



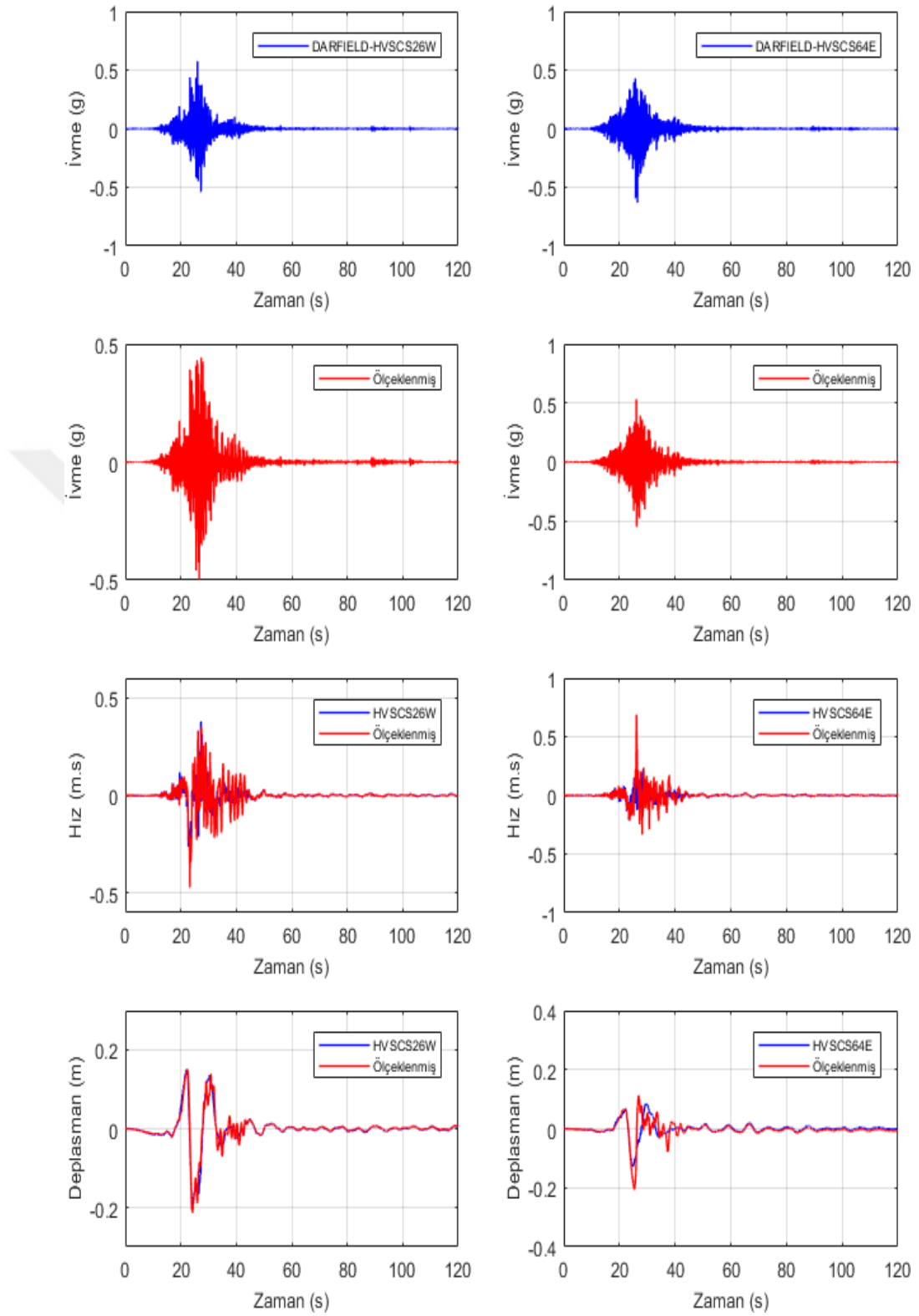
Şekil 3.38. Chuetsu-oki Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



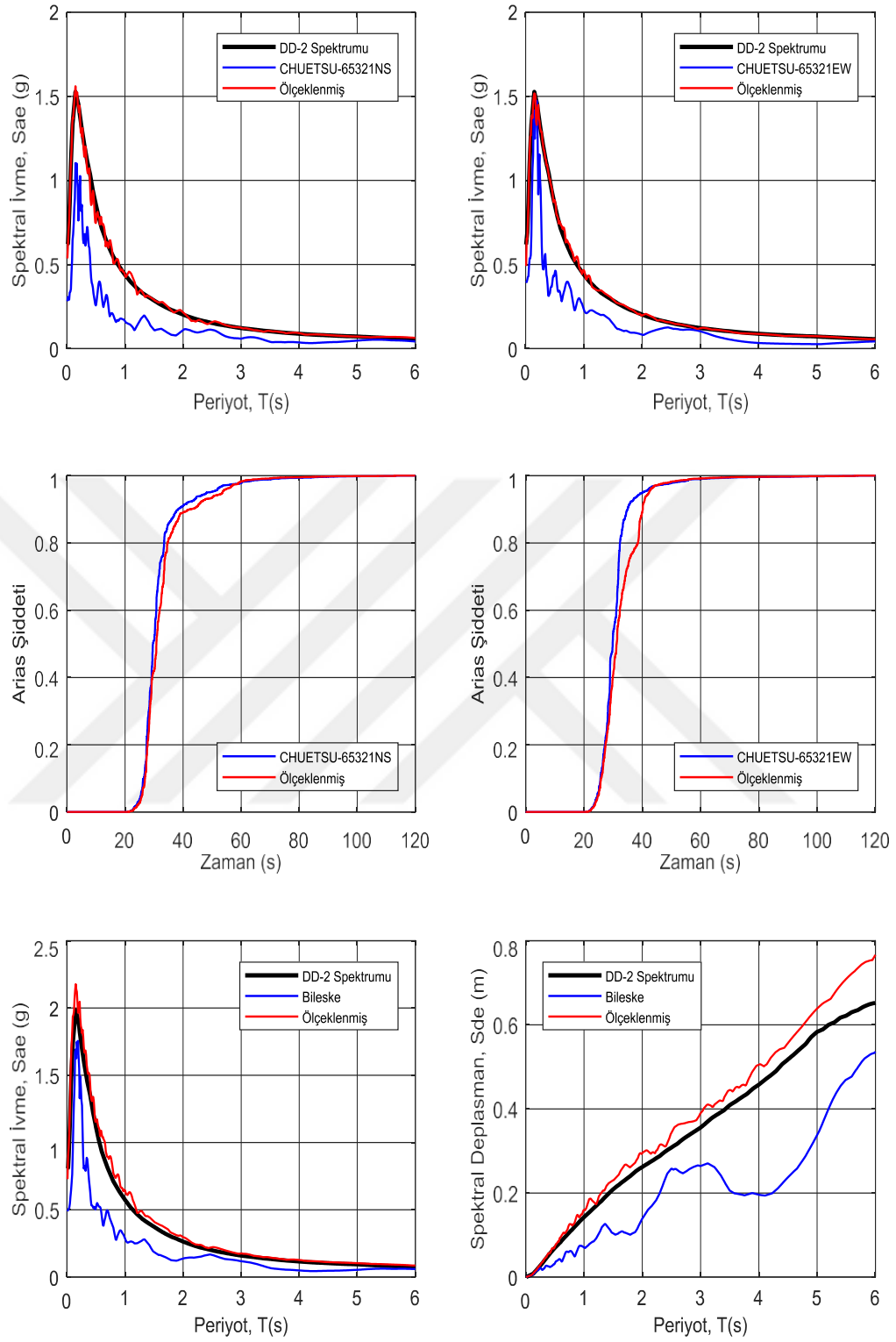
Şekil 3.39. Chuetsu-oki Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



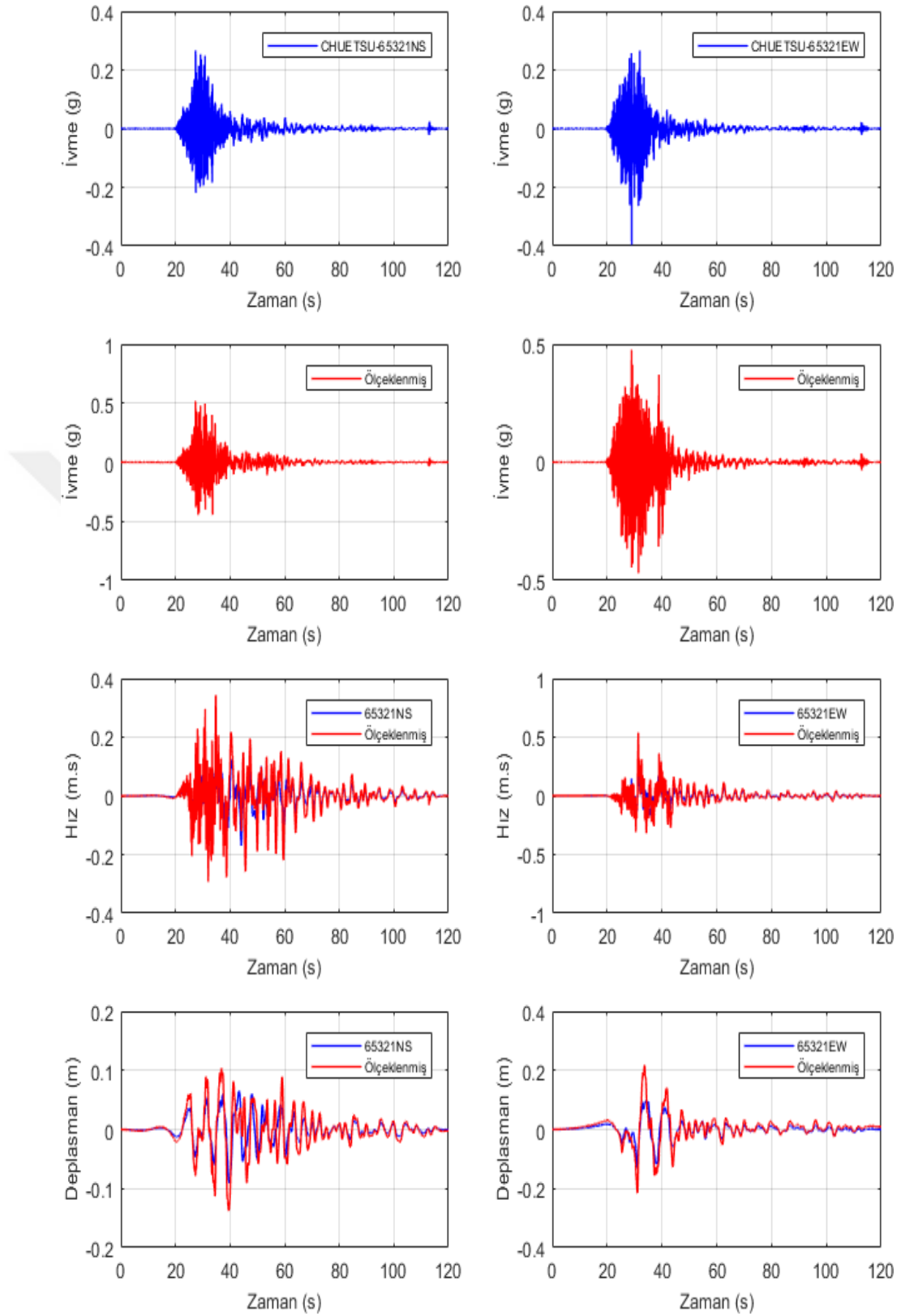
Şekil 3.40. Darfield New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



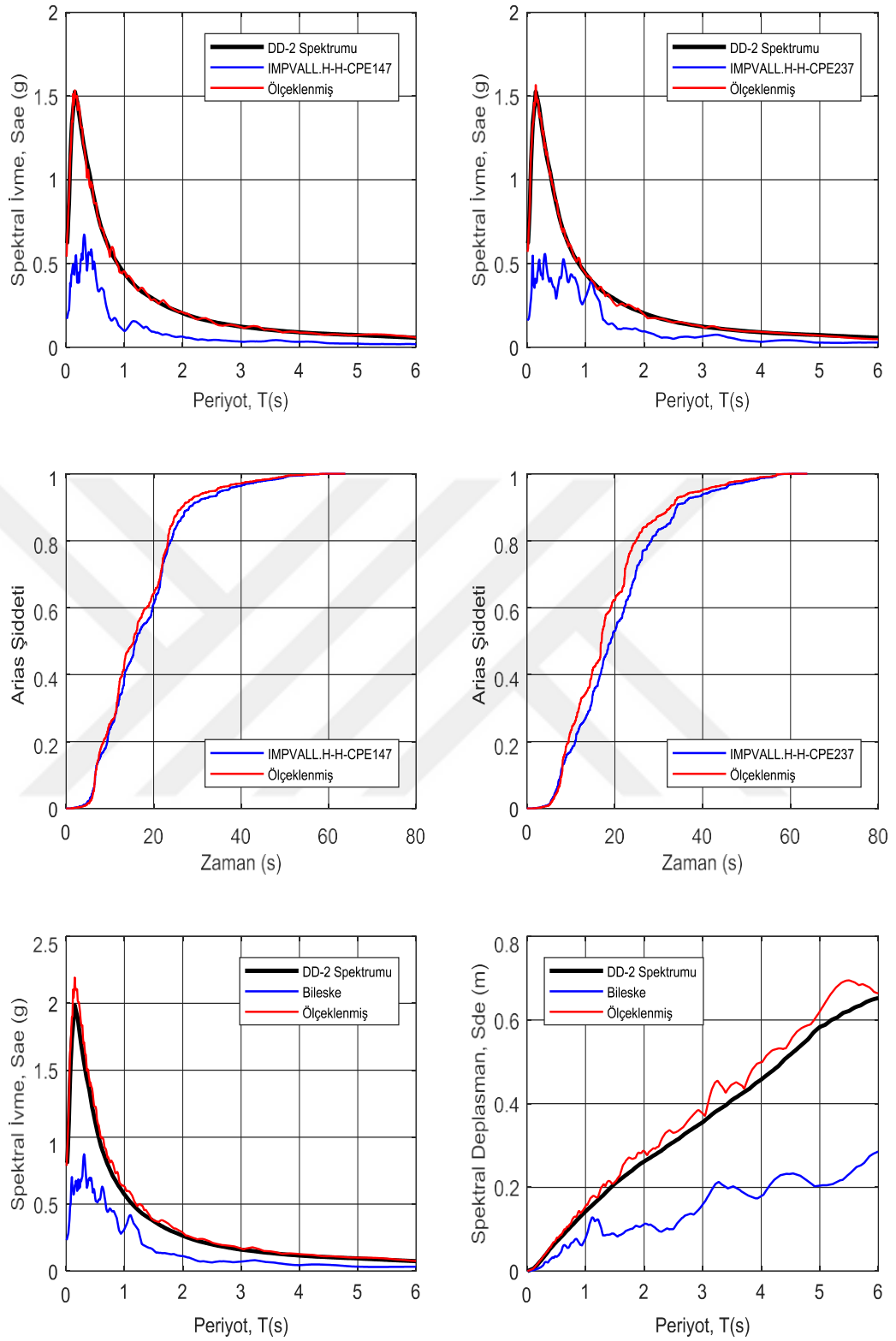
Şekil 3.41. Darfield New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



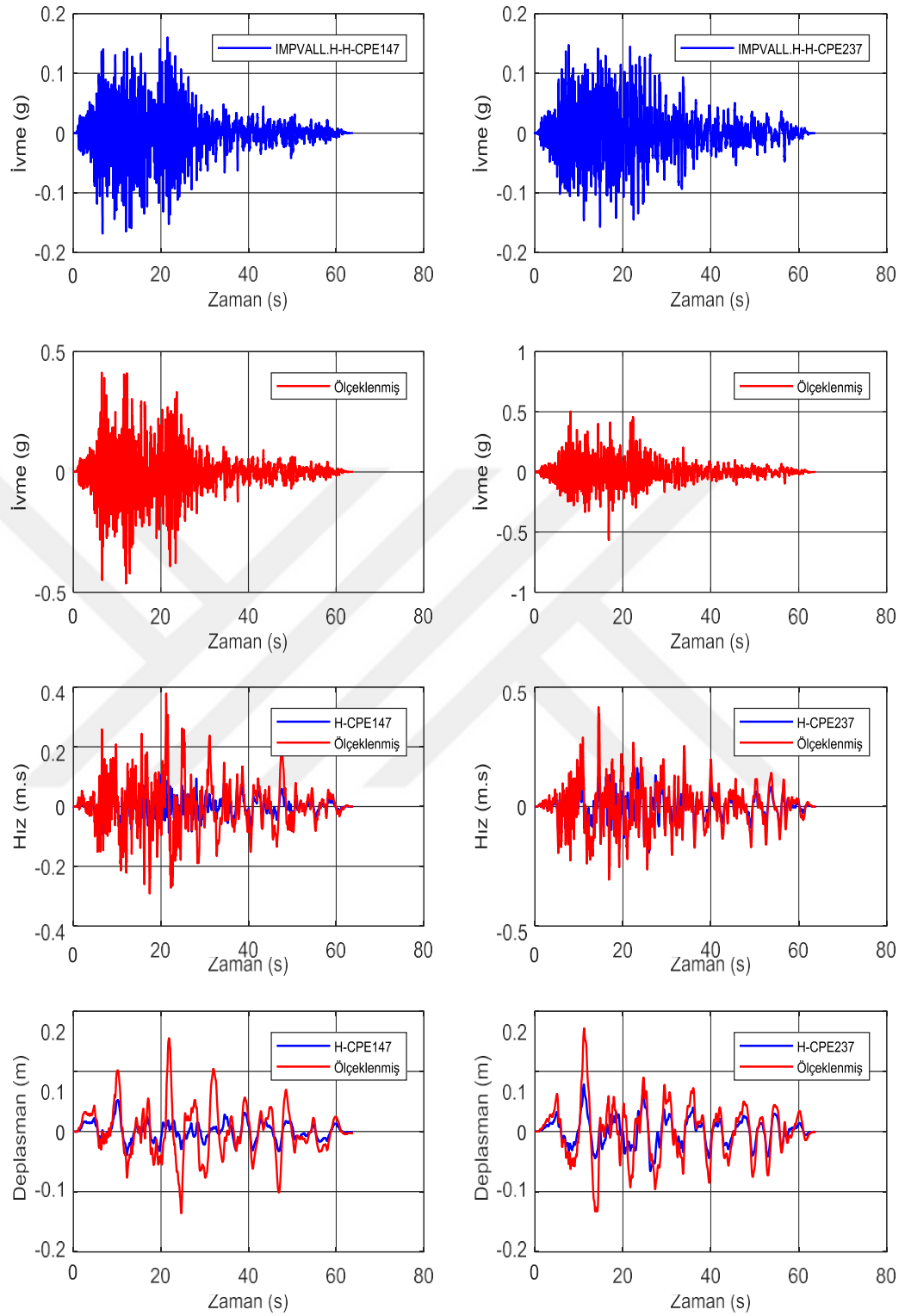
Şekil 3.42. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



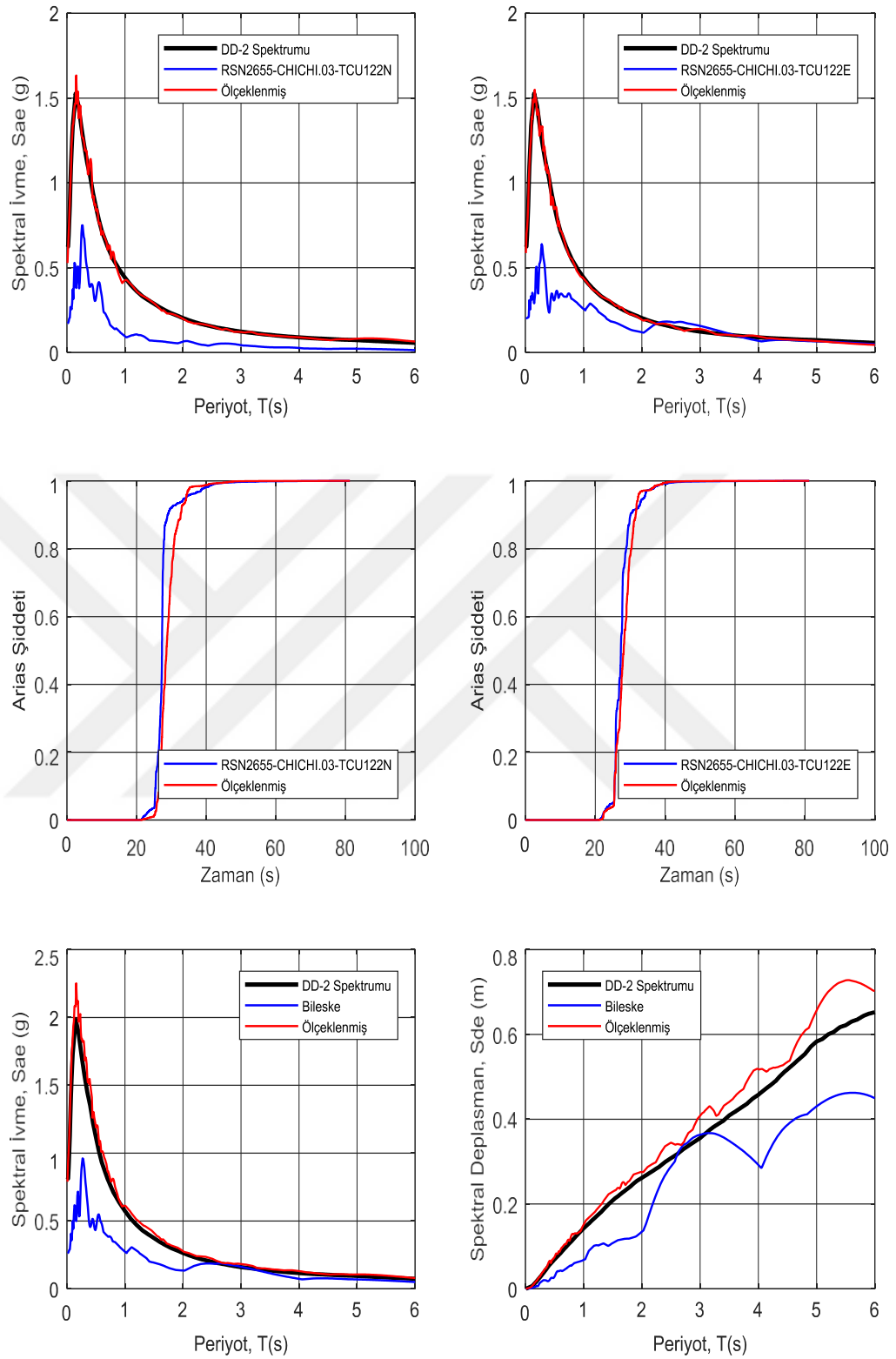
Şekil 3.43. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



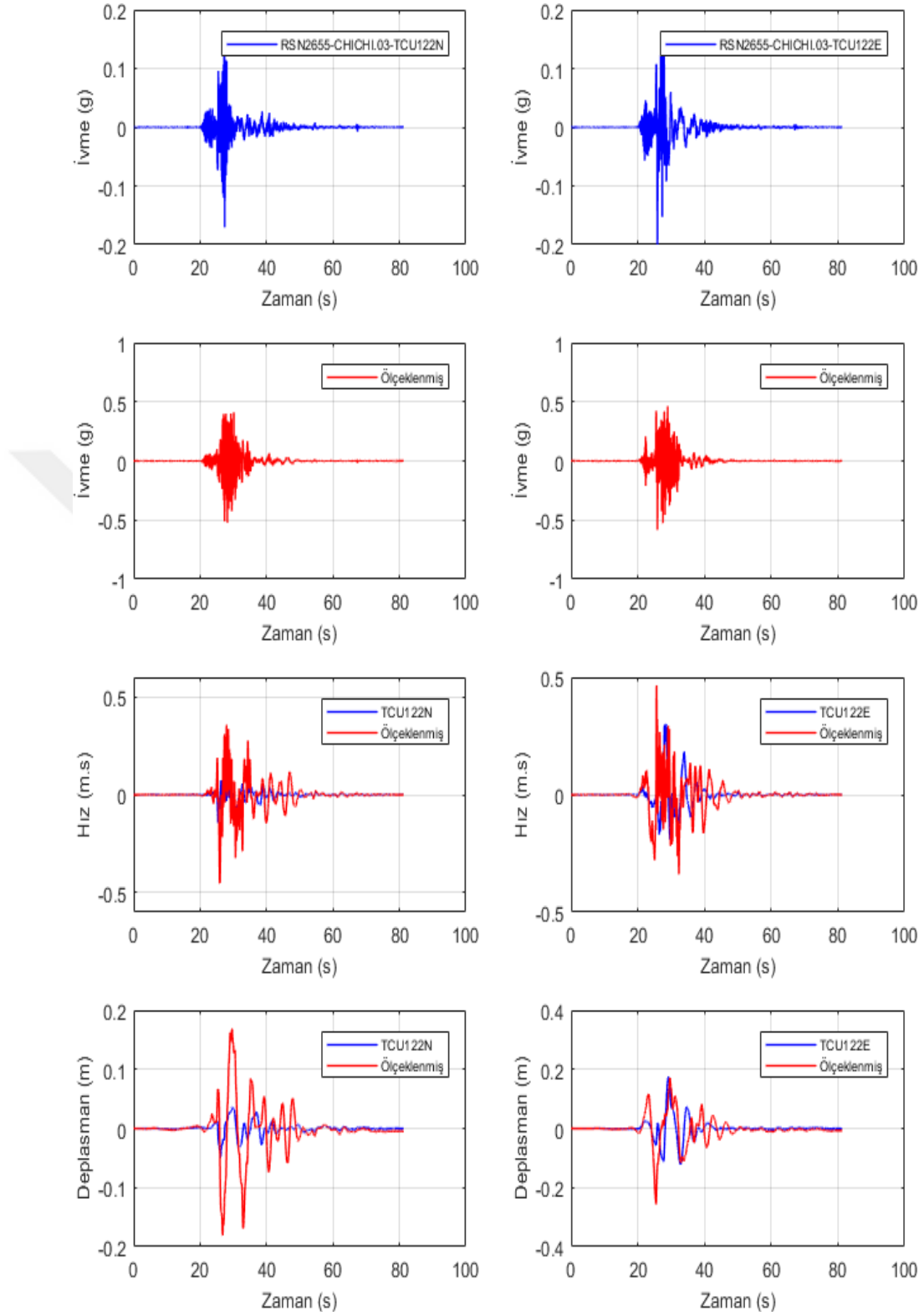
Şekil 3.44. ImperialValley-06 Depremi, Cerro Prieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



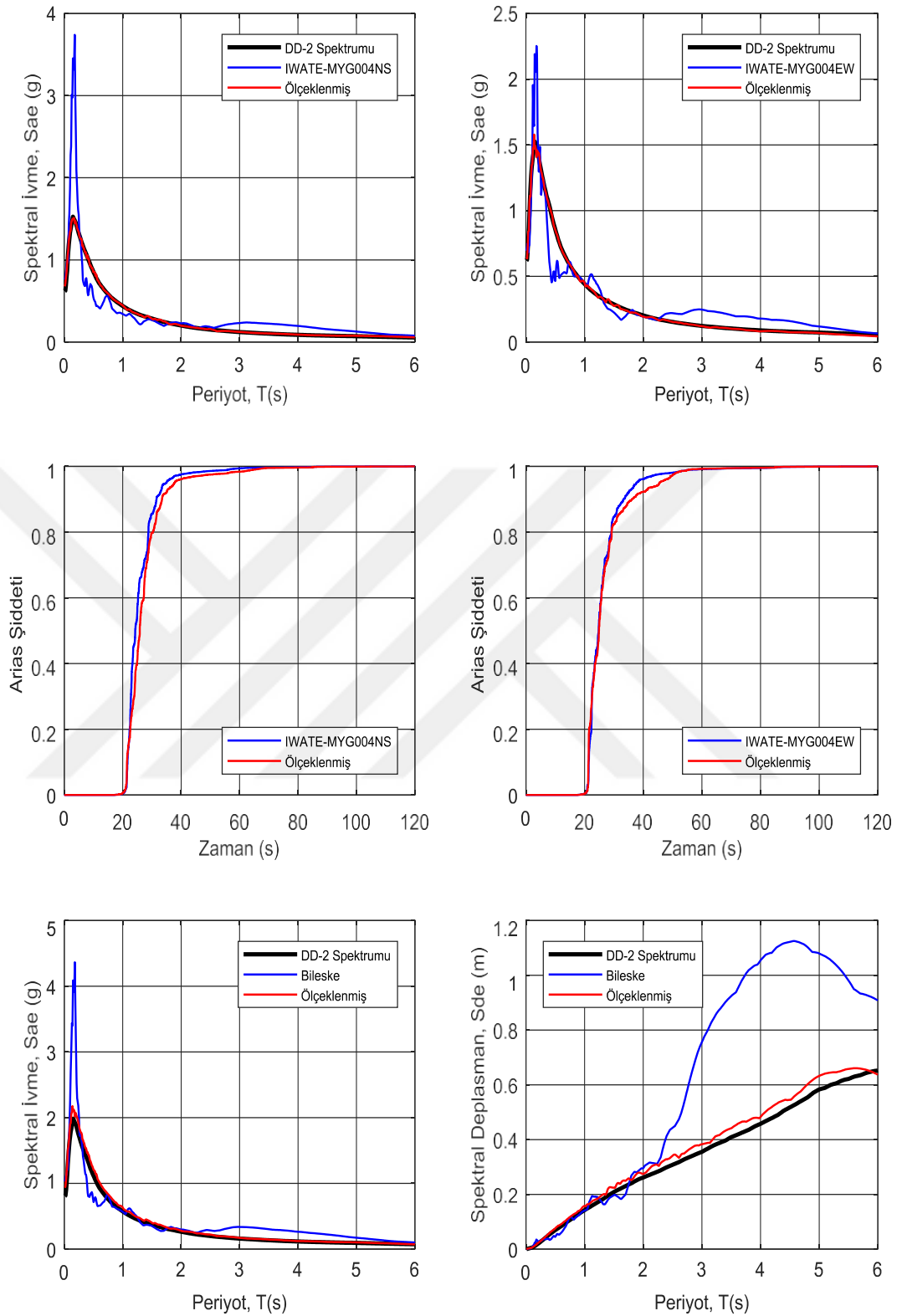
Şekil 3.45. ImperialValley-06 Depremi, Cerro Prieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



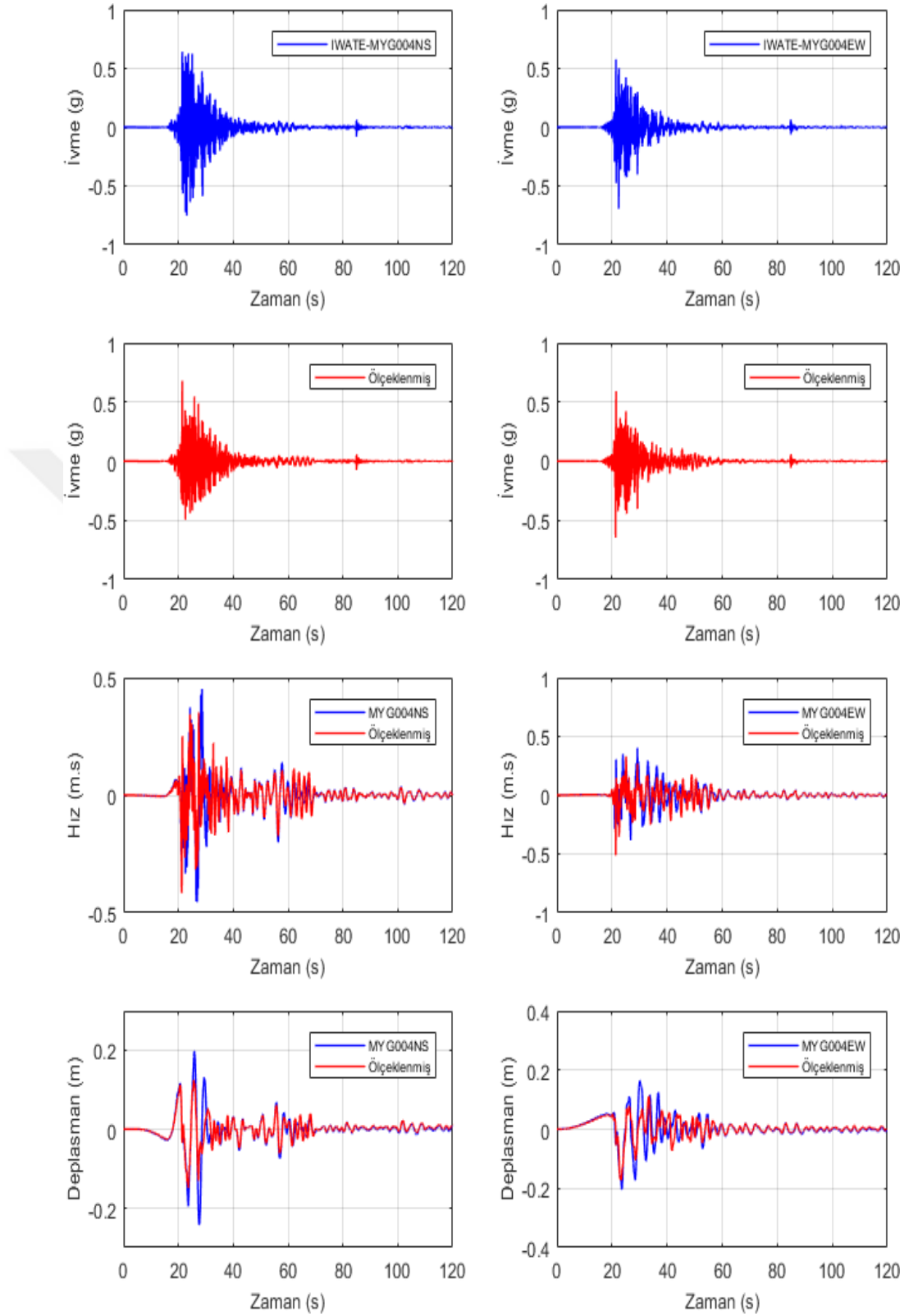
Şekil 3.46. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_ CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



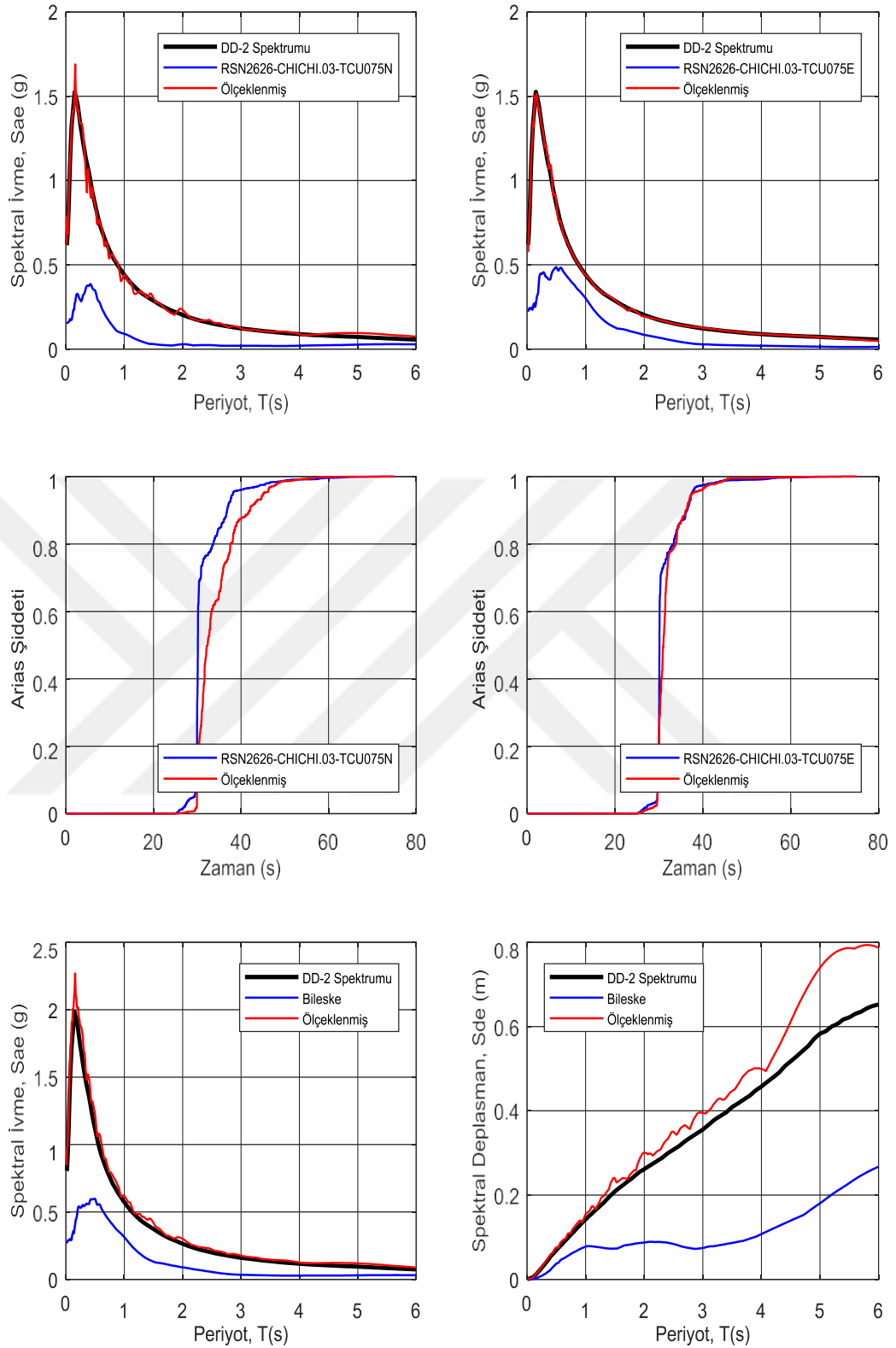
Şekil 3.47. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



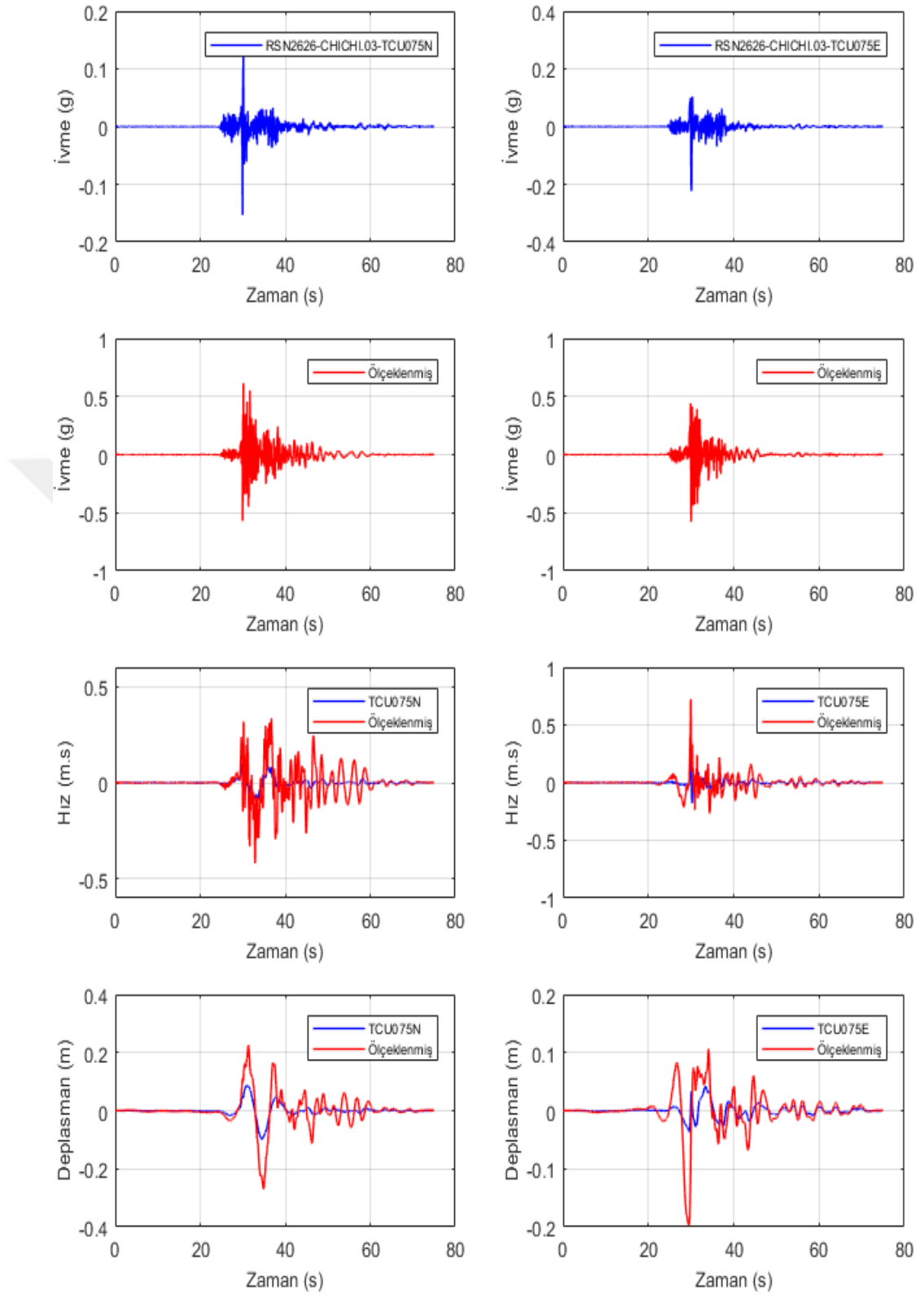
Şekil 3.48. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



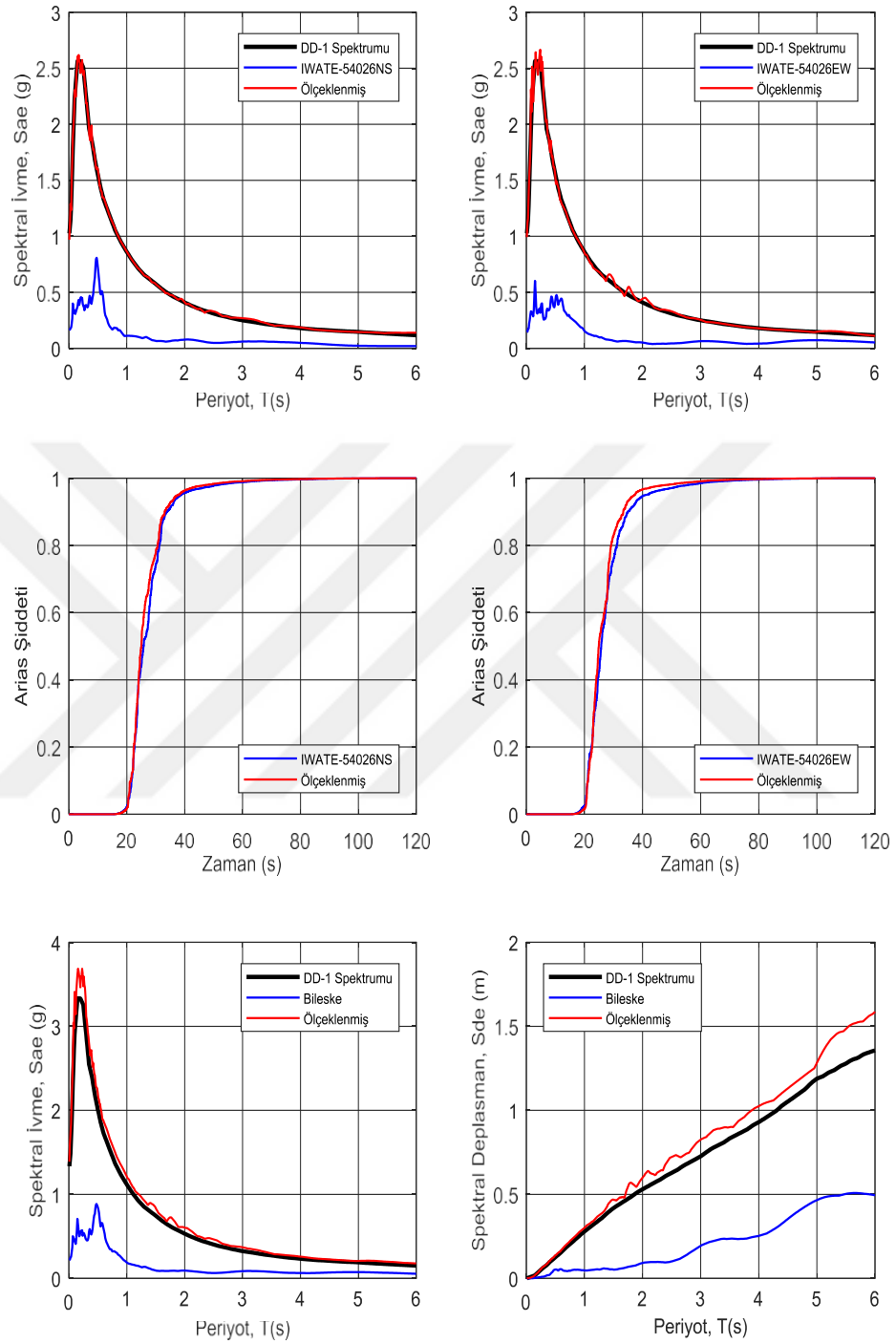
Şekil 3.49. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



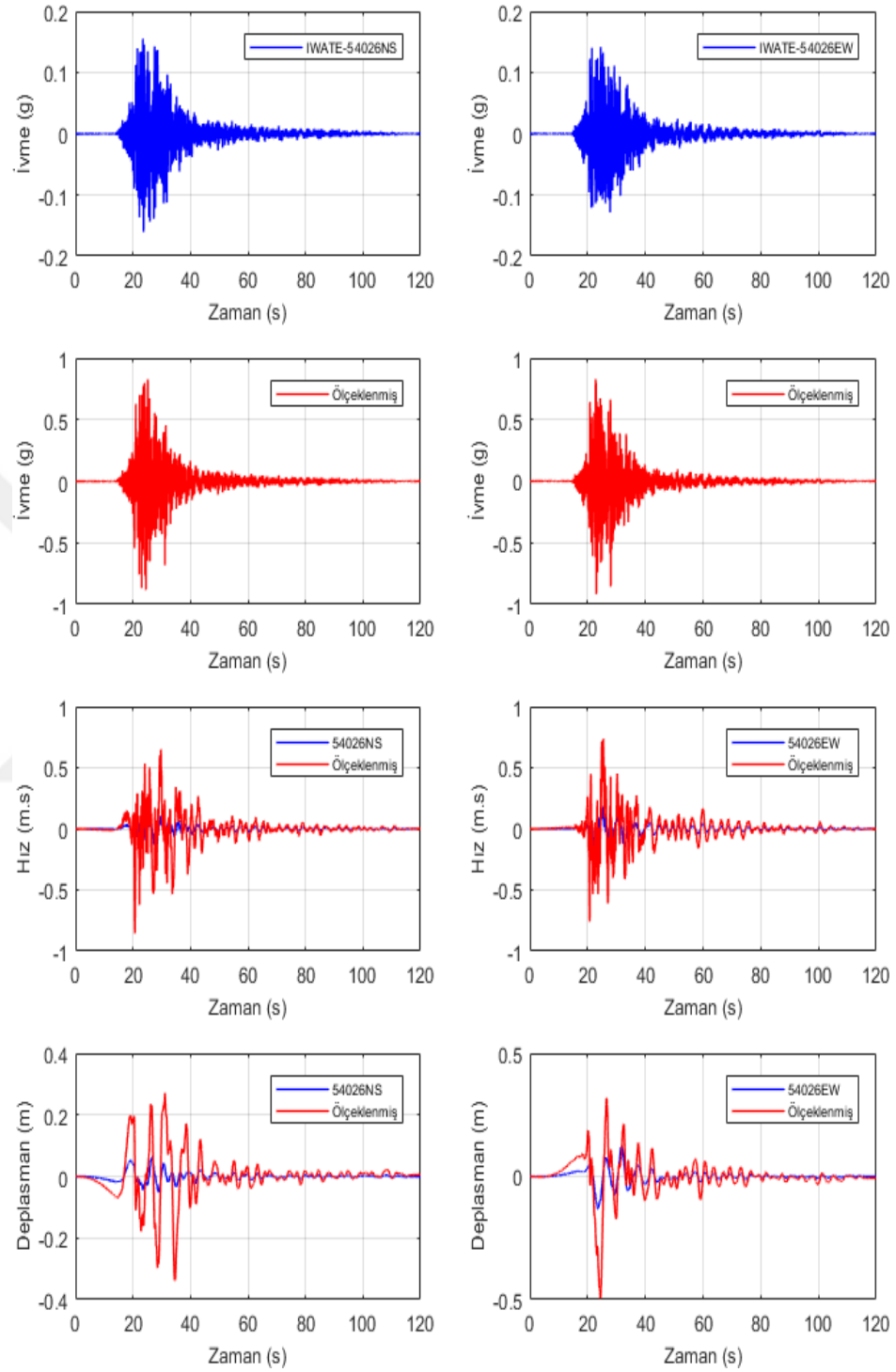
Şekil 3.50. Chi-Chi Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03_TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-2 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



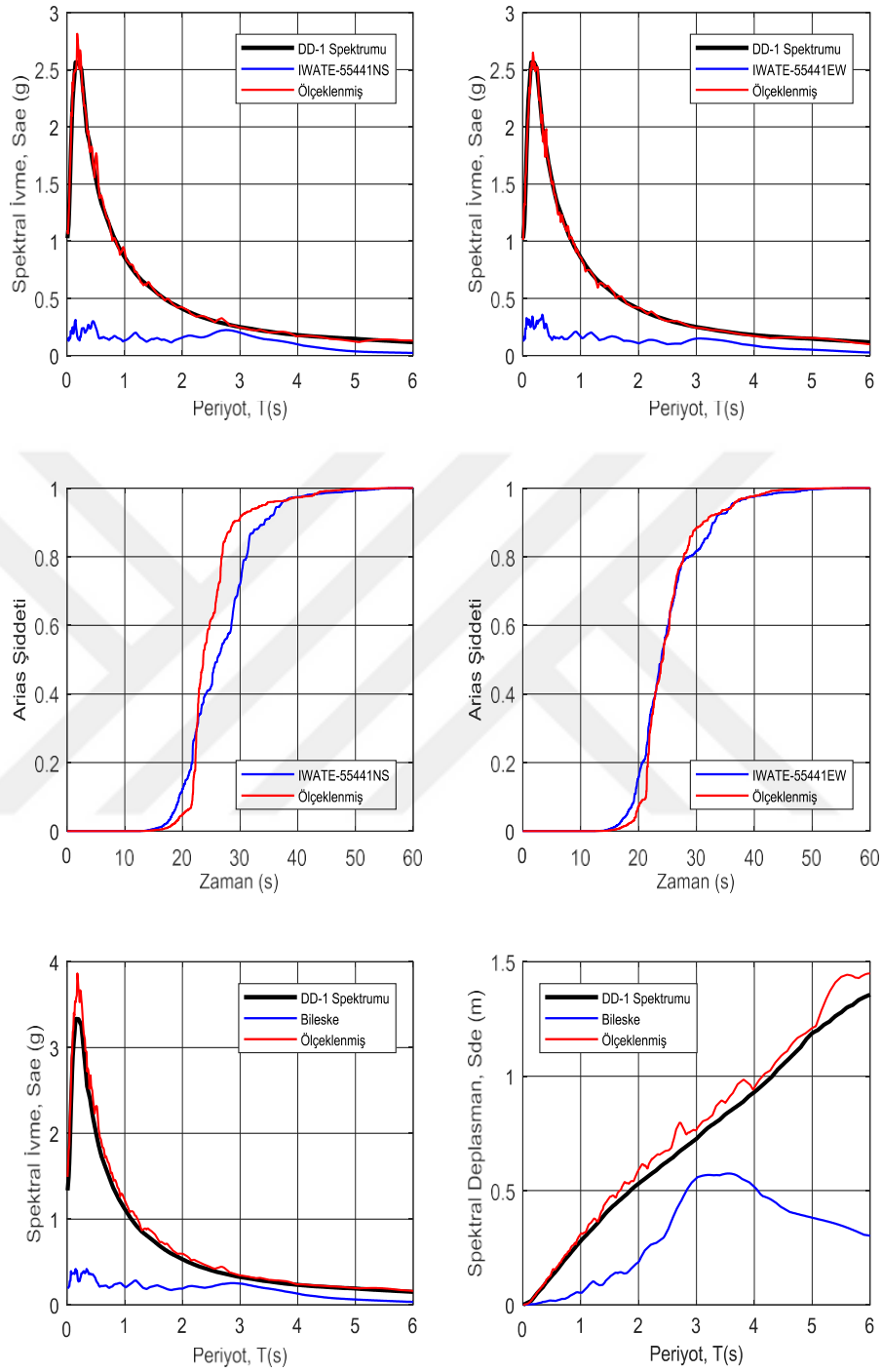
Şekil 3.51. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03 _TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



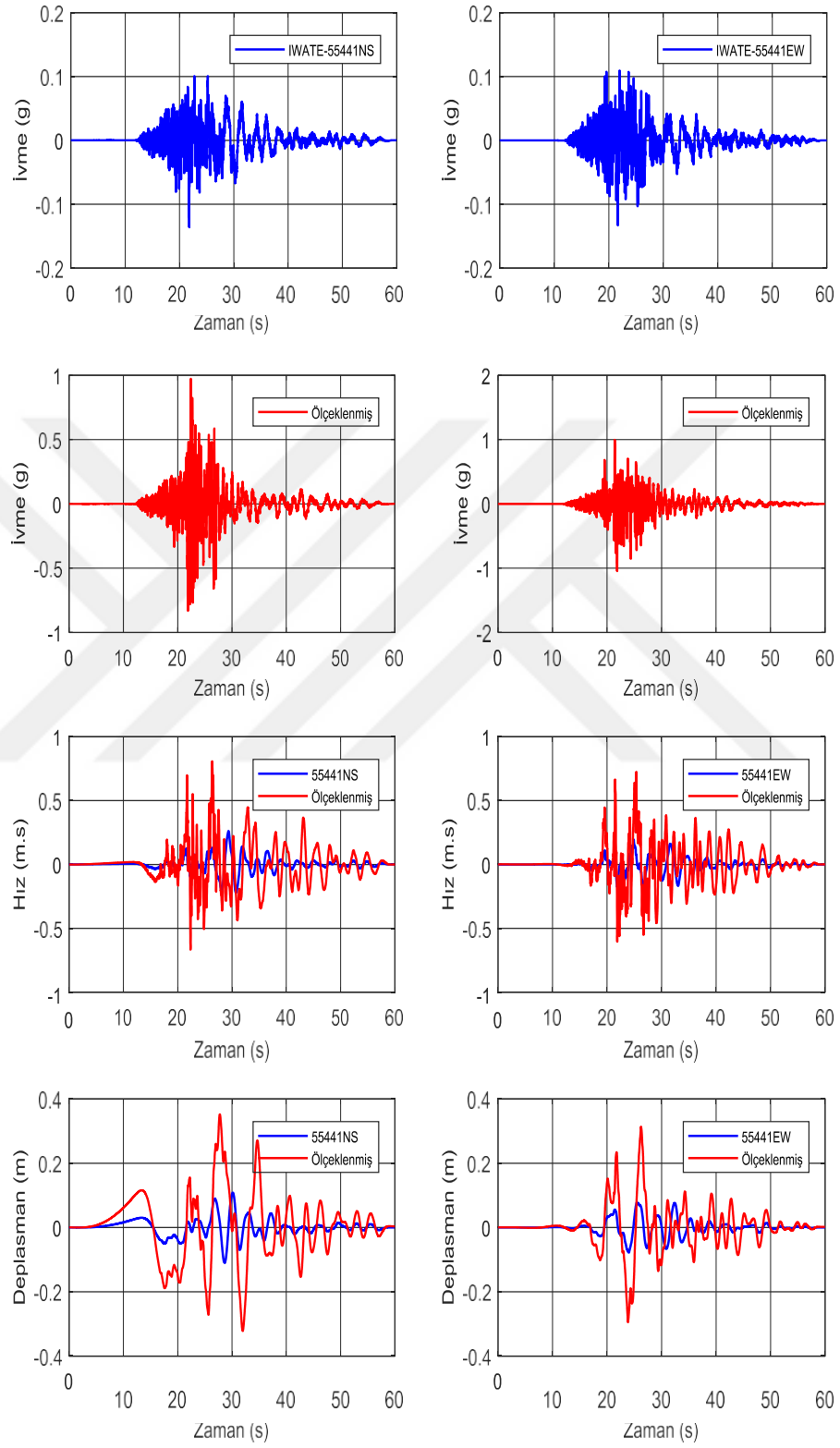
Şekil 3.52. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



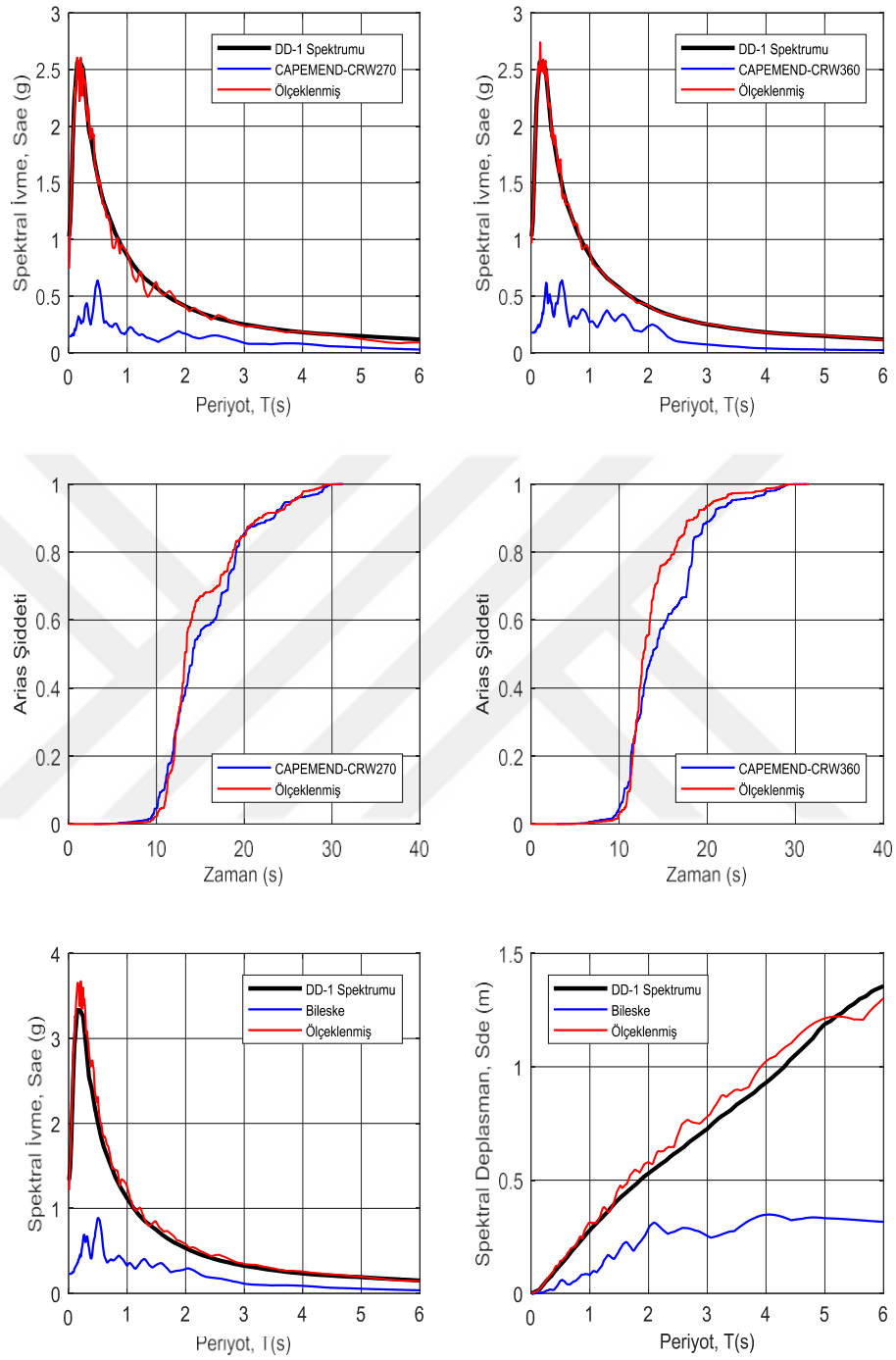
Şekil 3.53. Iwate Japan Depremi, SemineKuriharaCity İstasyonu IWATE_54026NS ve IWATE_54026EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



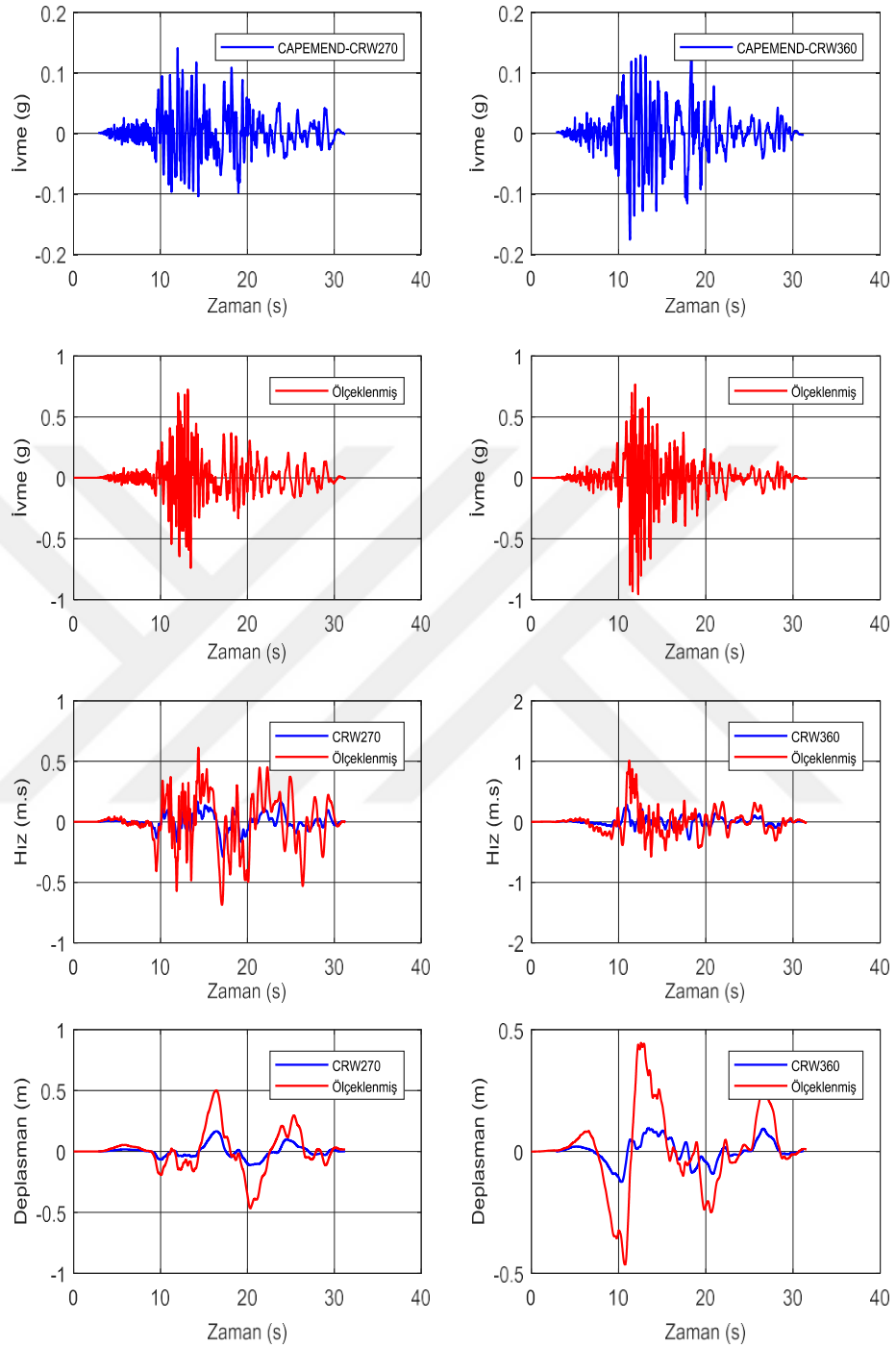
Şekil 3.54. Iwate ,Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



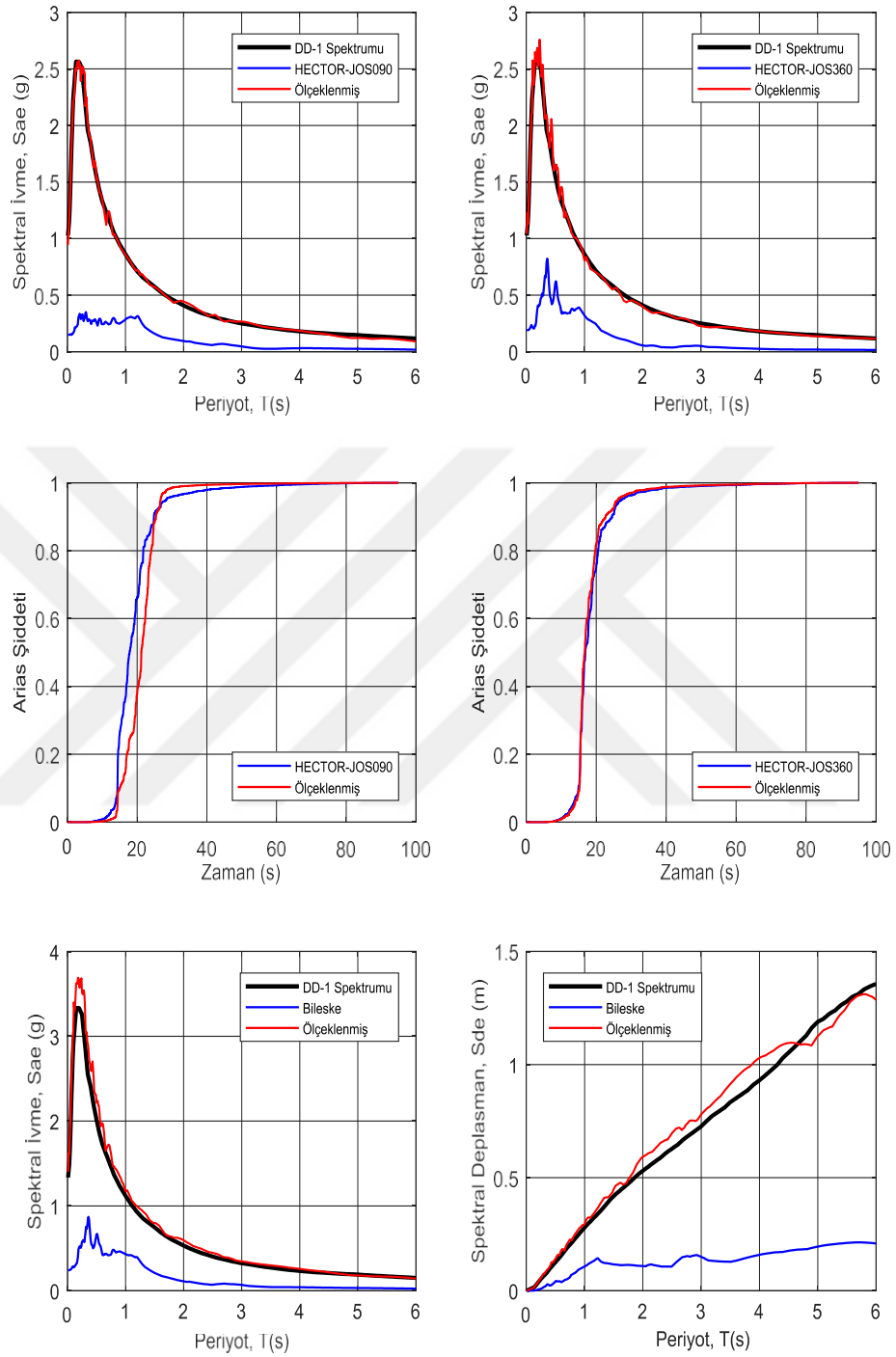
Şekil 3.55. Iwate ,Japan Depremi, YokoteMasudaTamatiMasu İstasyonu IWATE_55441NS ve IWATE_55441EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



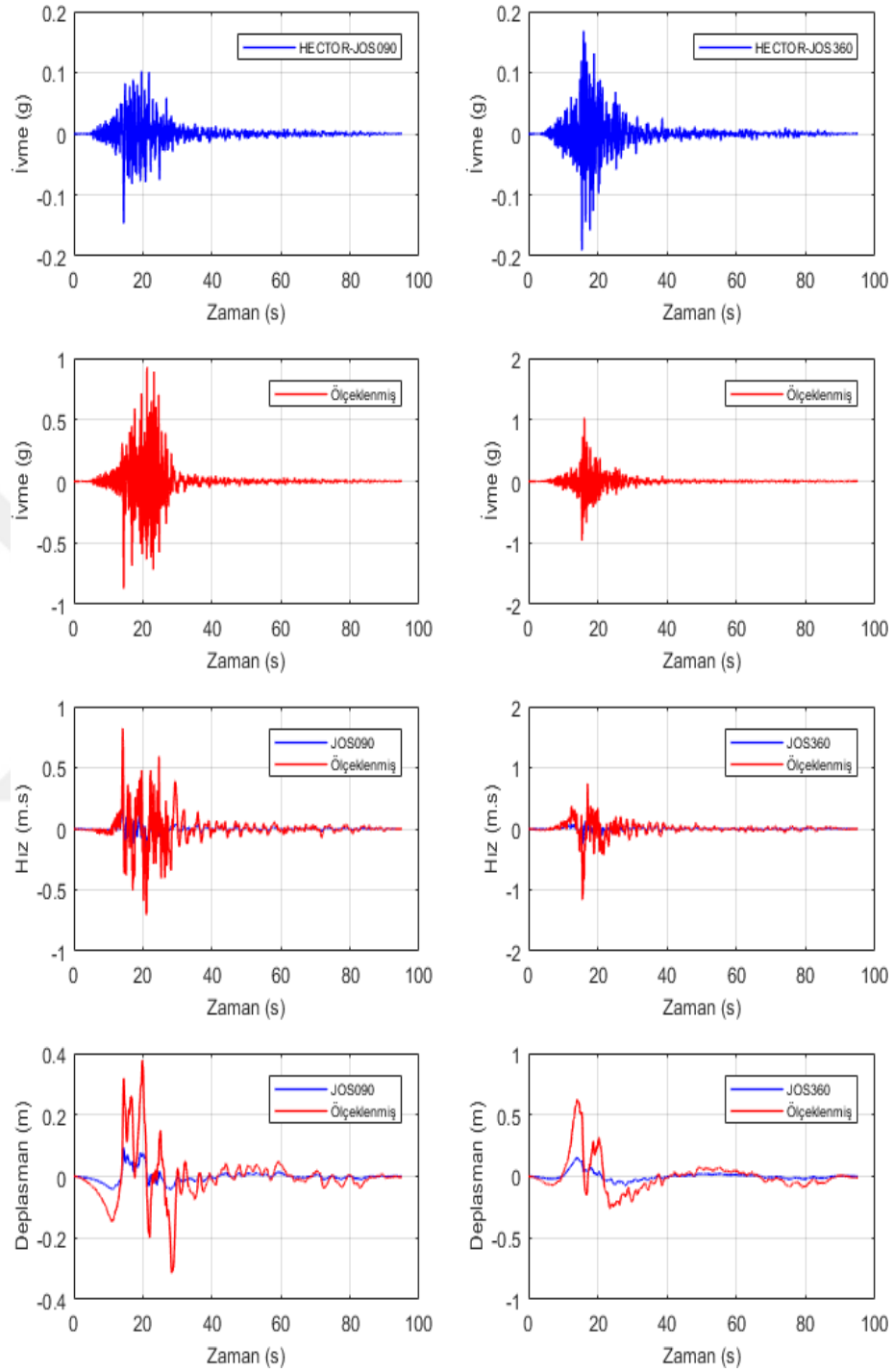
Şekil 3.56. Cape Mendocino Depremi, College of the Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



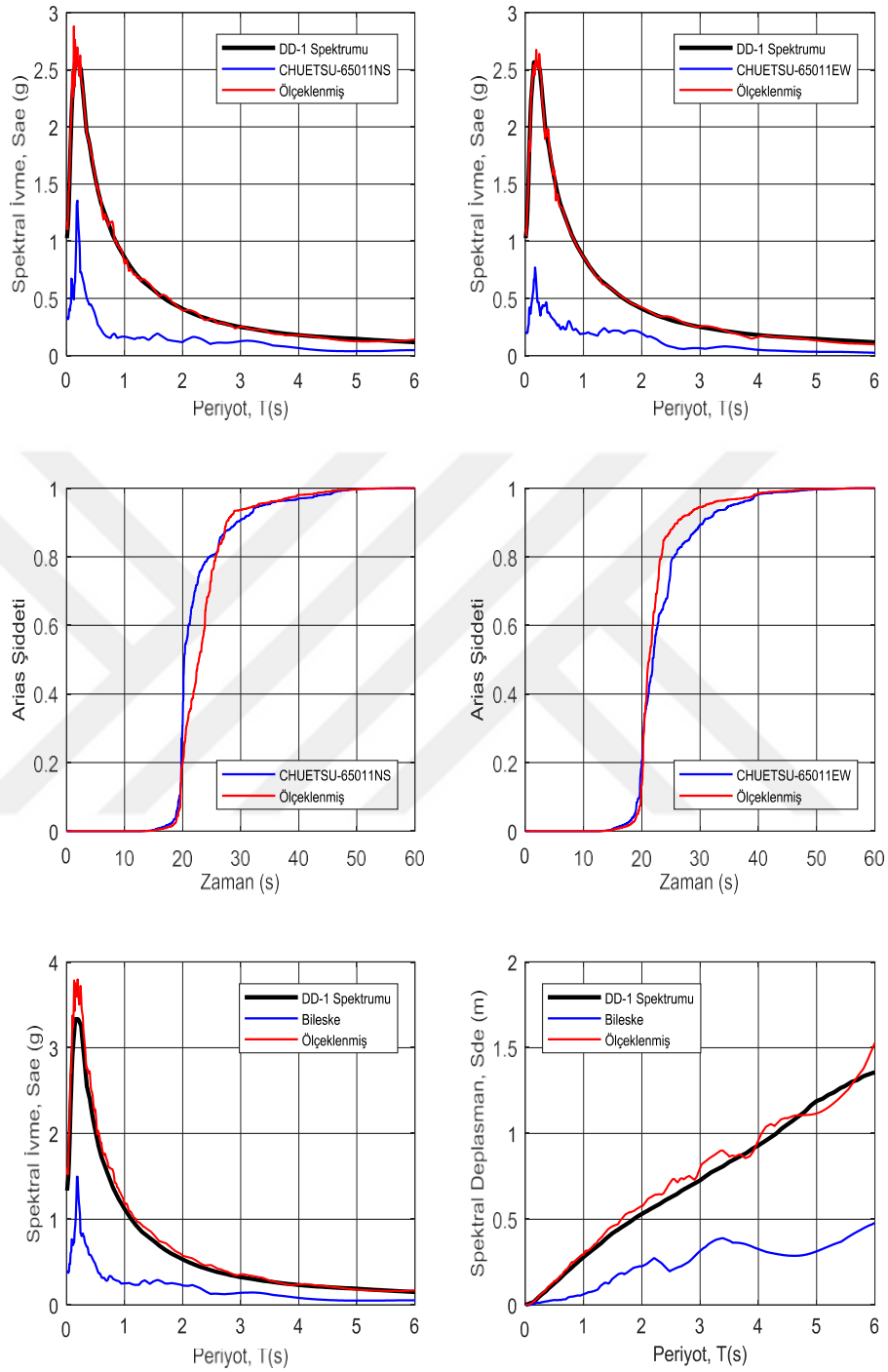
Şekil 3.57. Cape Mendocino Depremi, College of the Redwoods İstasyonu CAPEMEND_CRW270 ve CAPEMEND_CRW360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



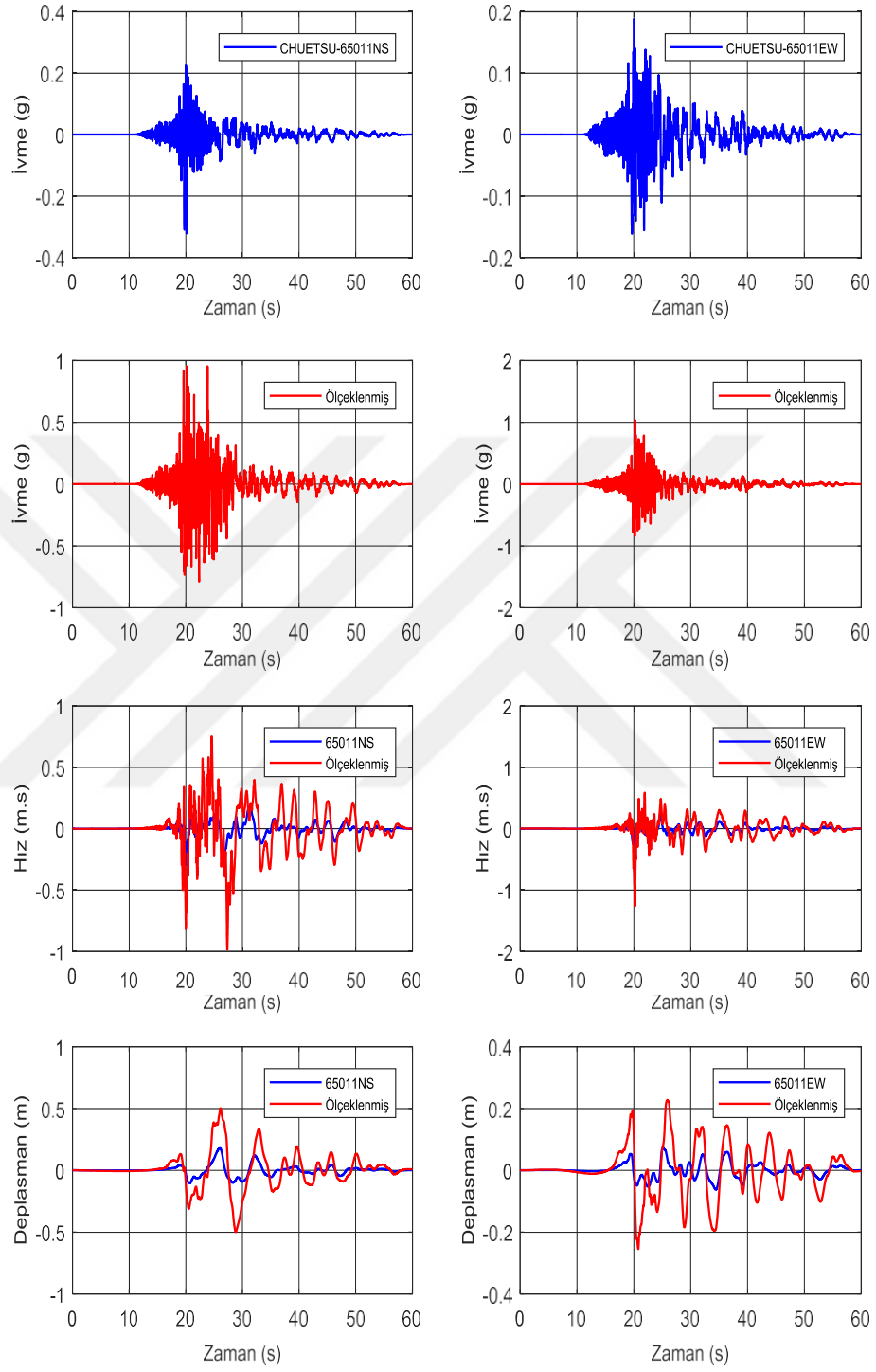
Şekil 3.58. HectorMine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



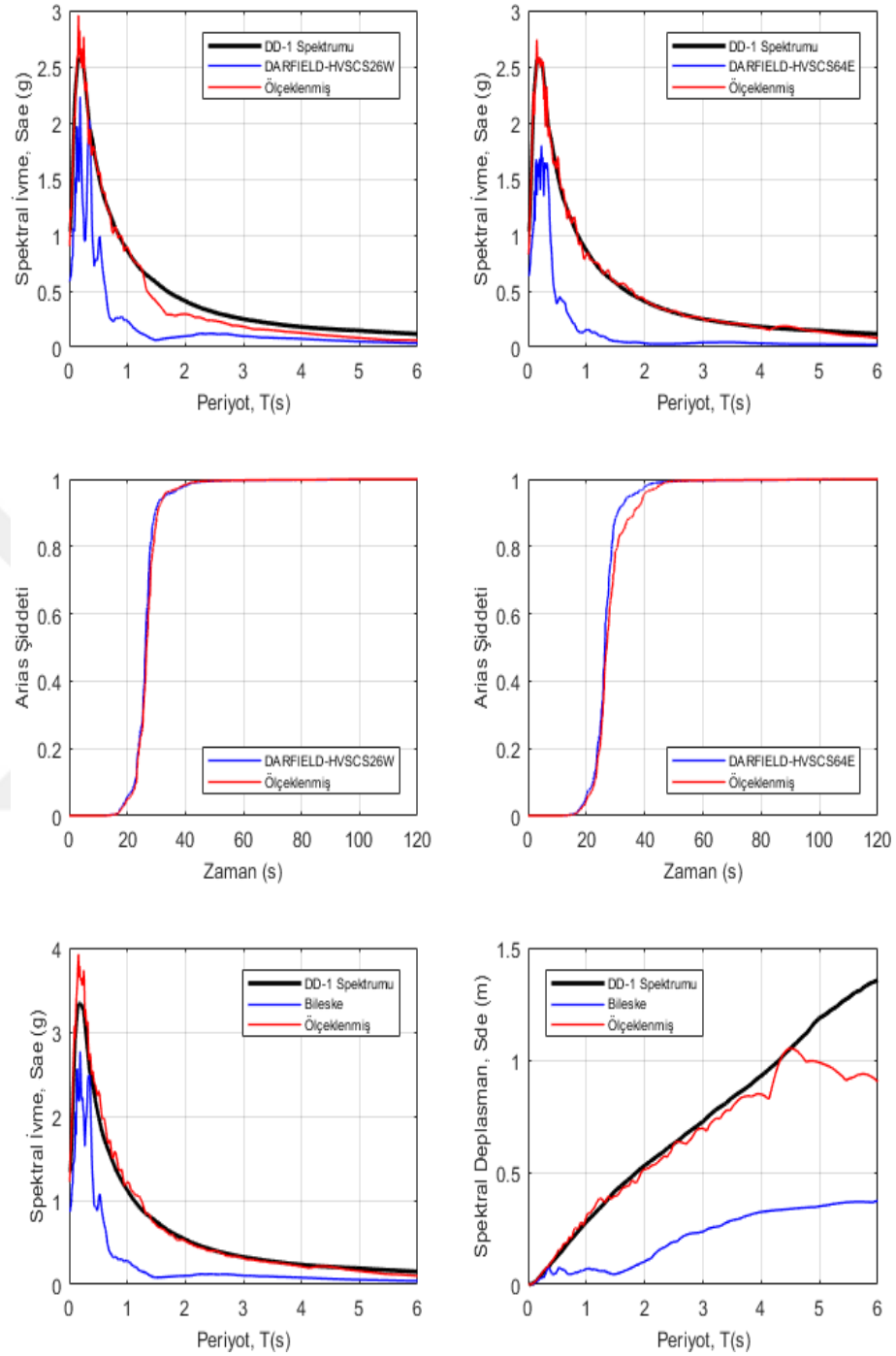
Şekil 3.59. HectorMine Depremi, JoshuaTree İstasyonu HECTOR_JOS090 ve HECTOR_JOS360 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



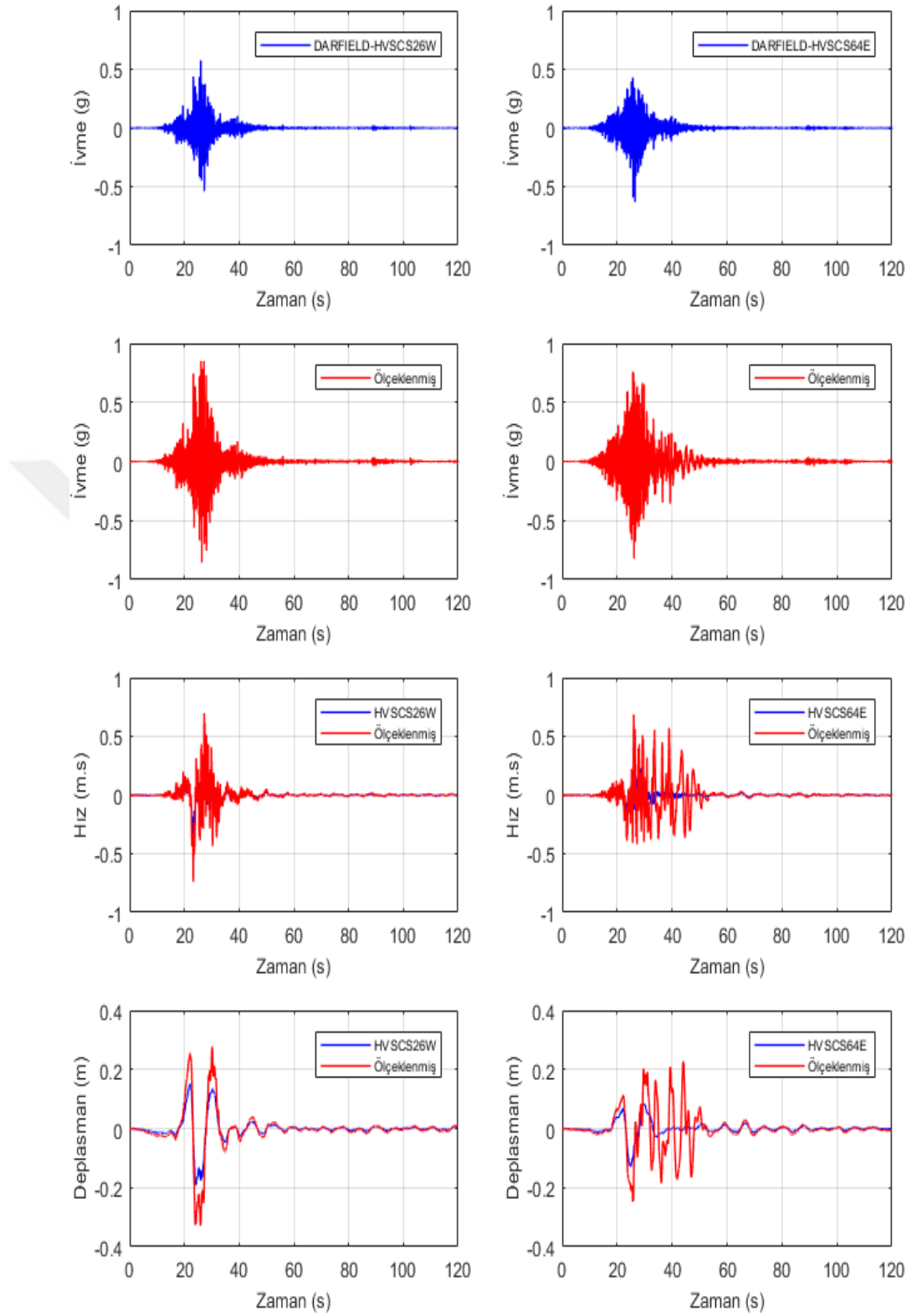
Şekil 3.60. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



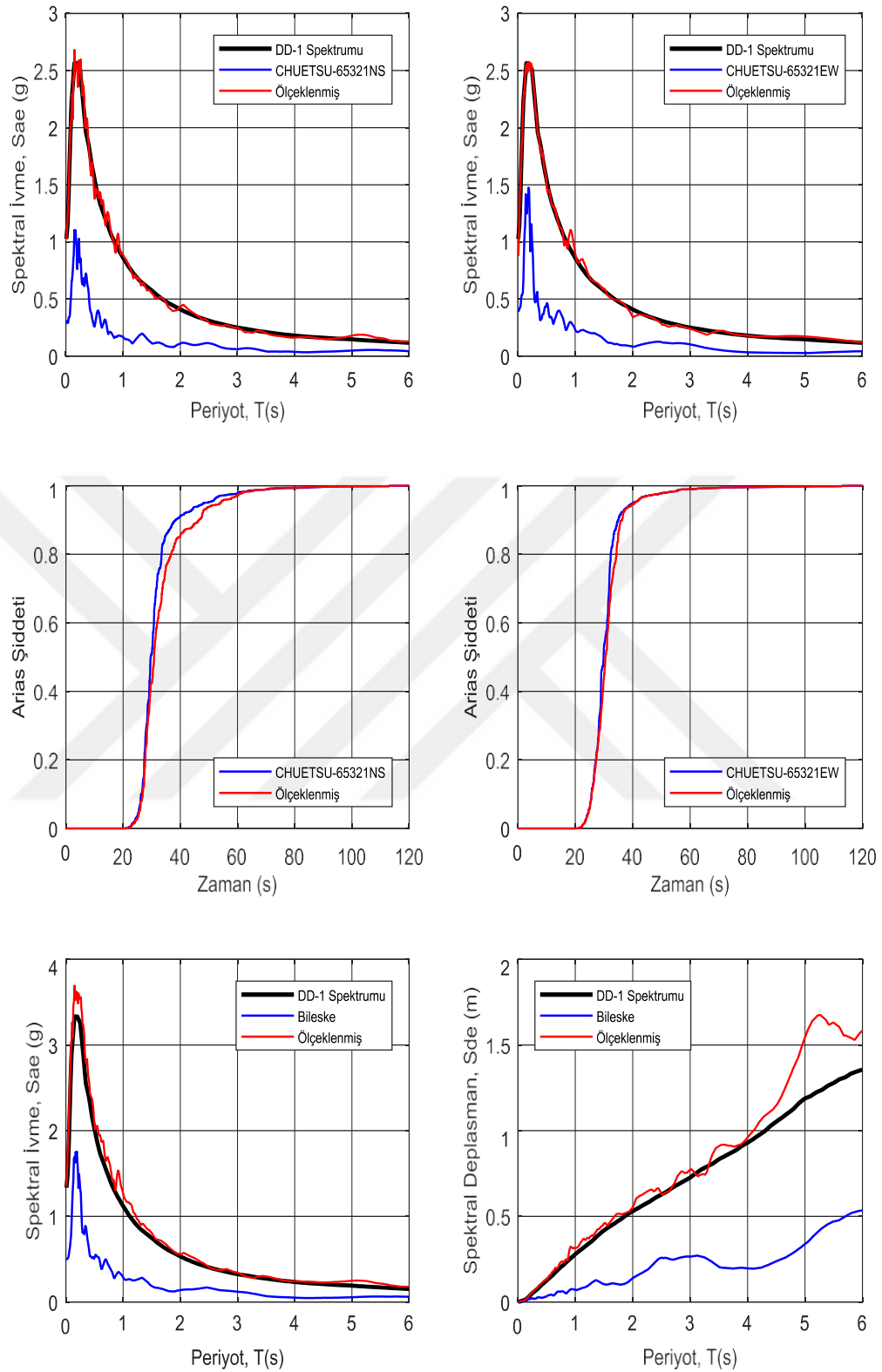
Şekil 3.61. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, JoetsuOgataku İstasyonu CHUETSU_65011NS ve CHUETSU_65011EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



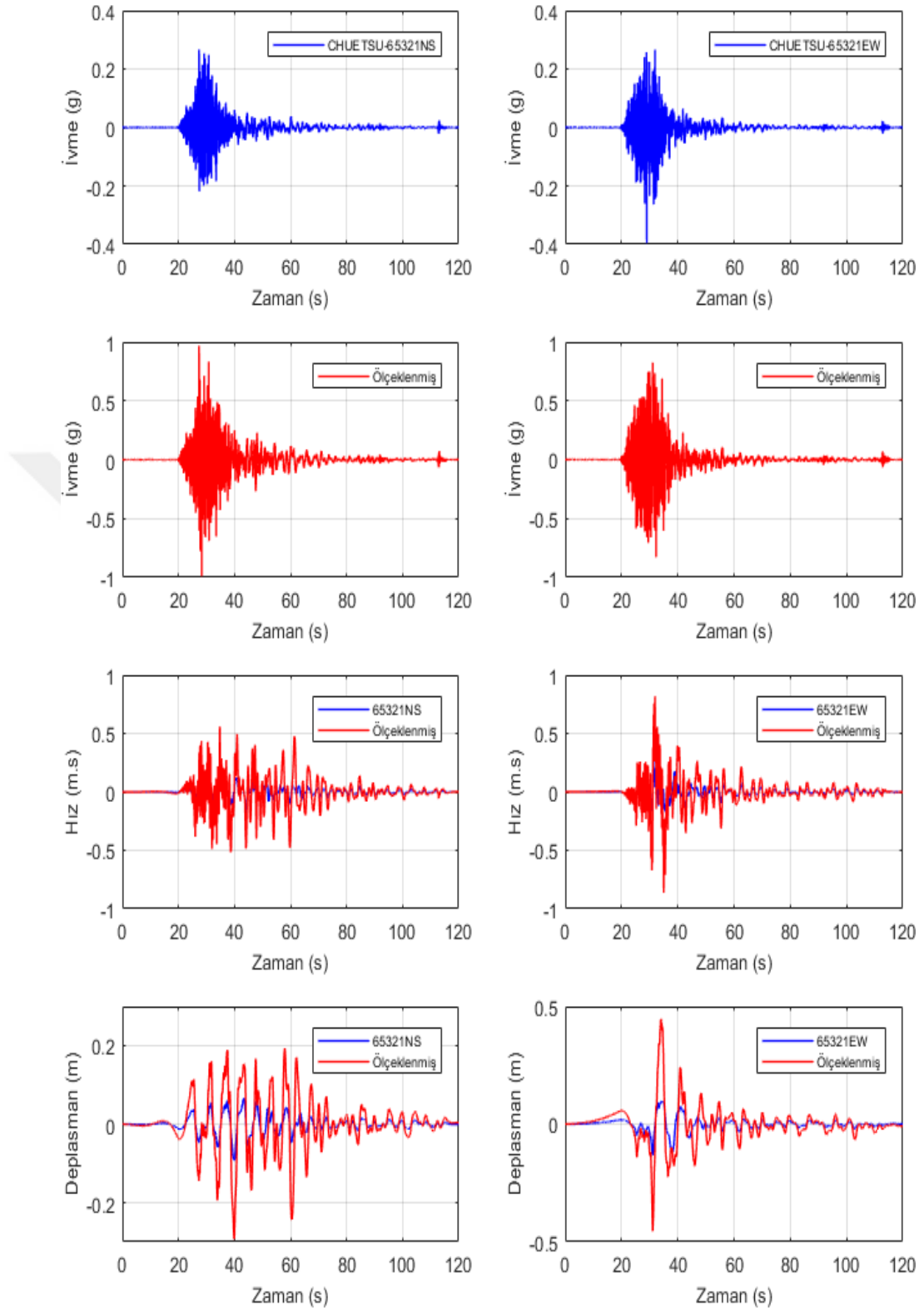
Şekil 3.62. Darfield New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



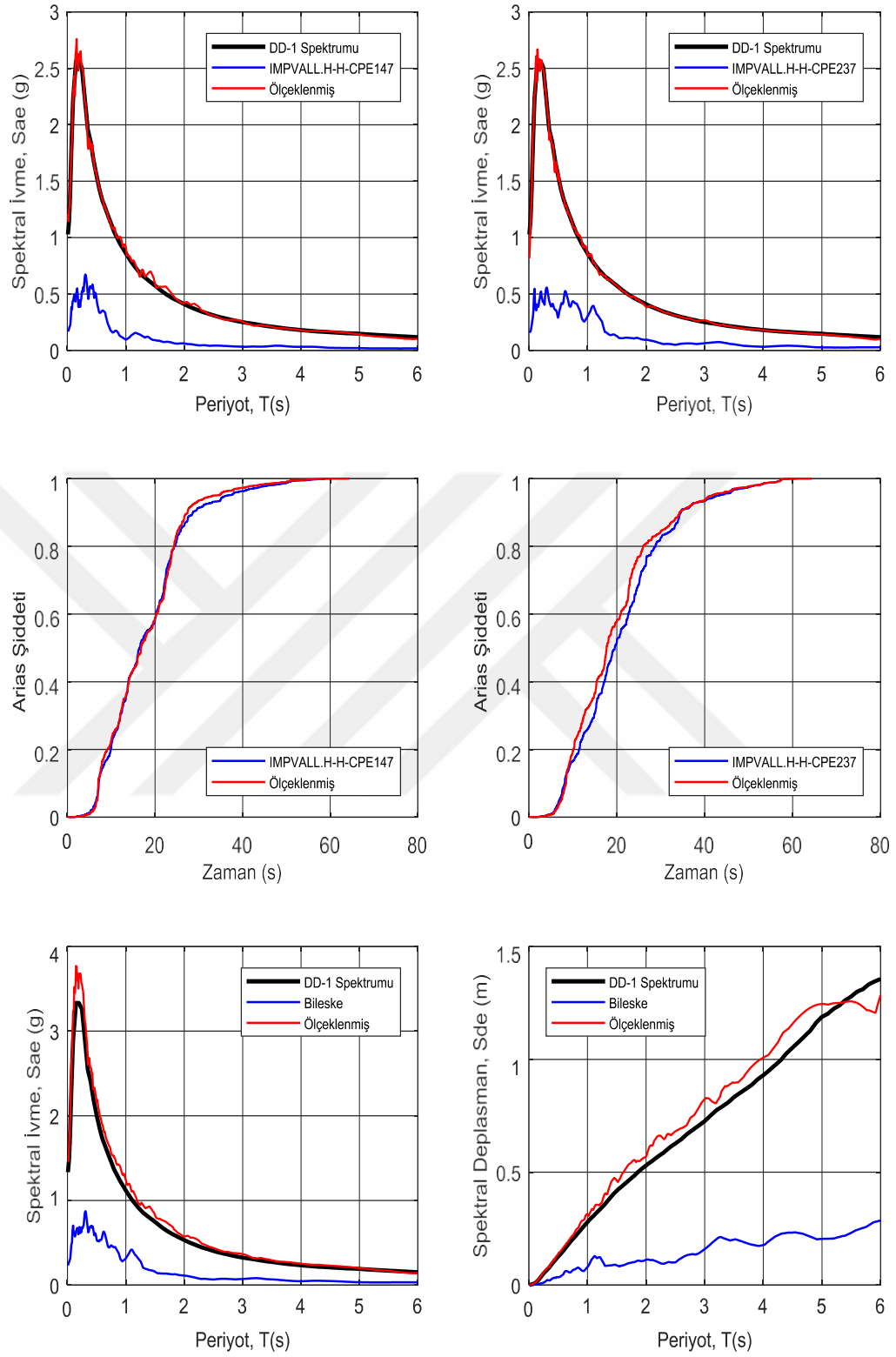
Şekil 3.63. Darfield ,New Zealand Depremi, Heathcote Valley Primary School İstasyonu DARFIELD_HVSCS26W ve DARFIELD_HVSCS64E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



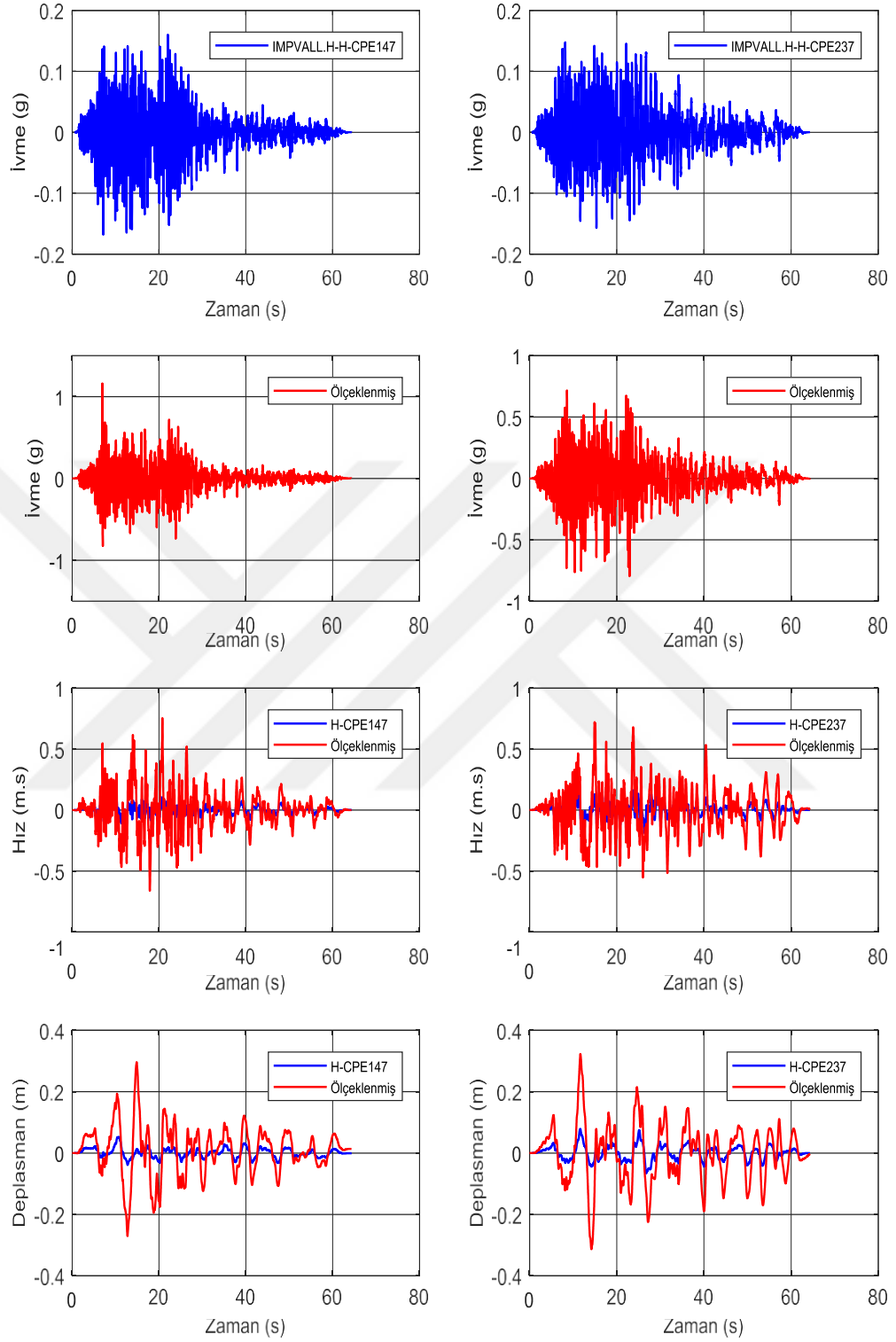
Şekil 3.64. Chuetsu-oki Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



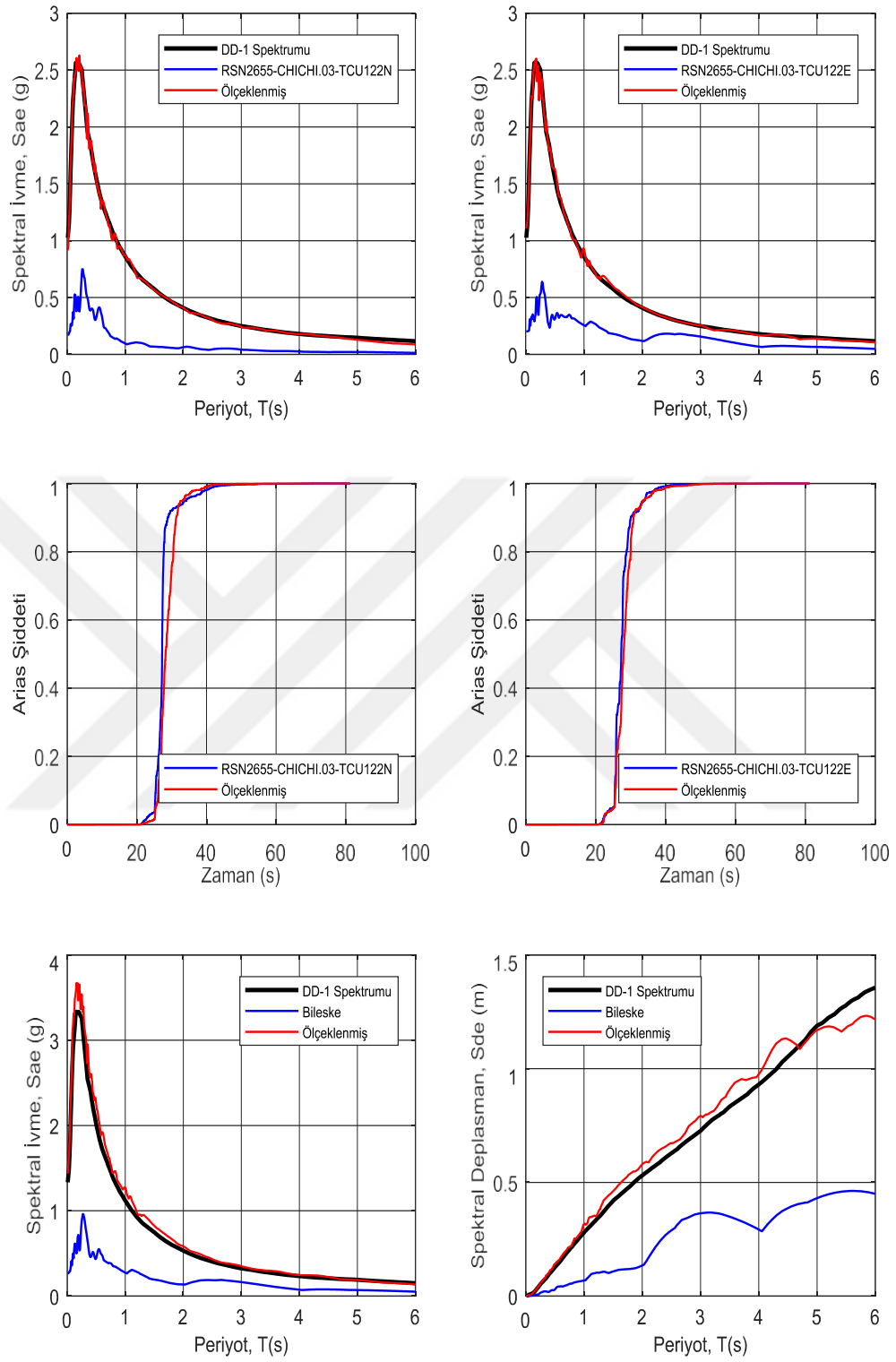
Şekil 3.65. Chuetsu-oki ,Japan Depremi, OjiyaCity İstasyonu CHUETSU_65321NS ve CHUETSU_65321EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



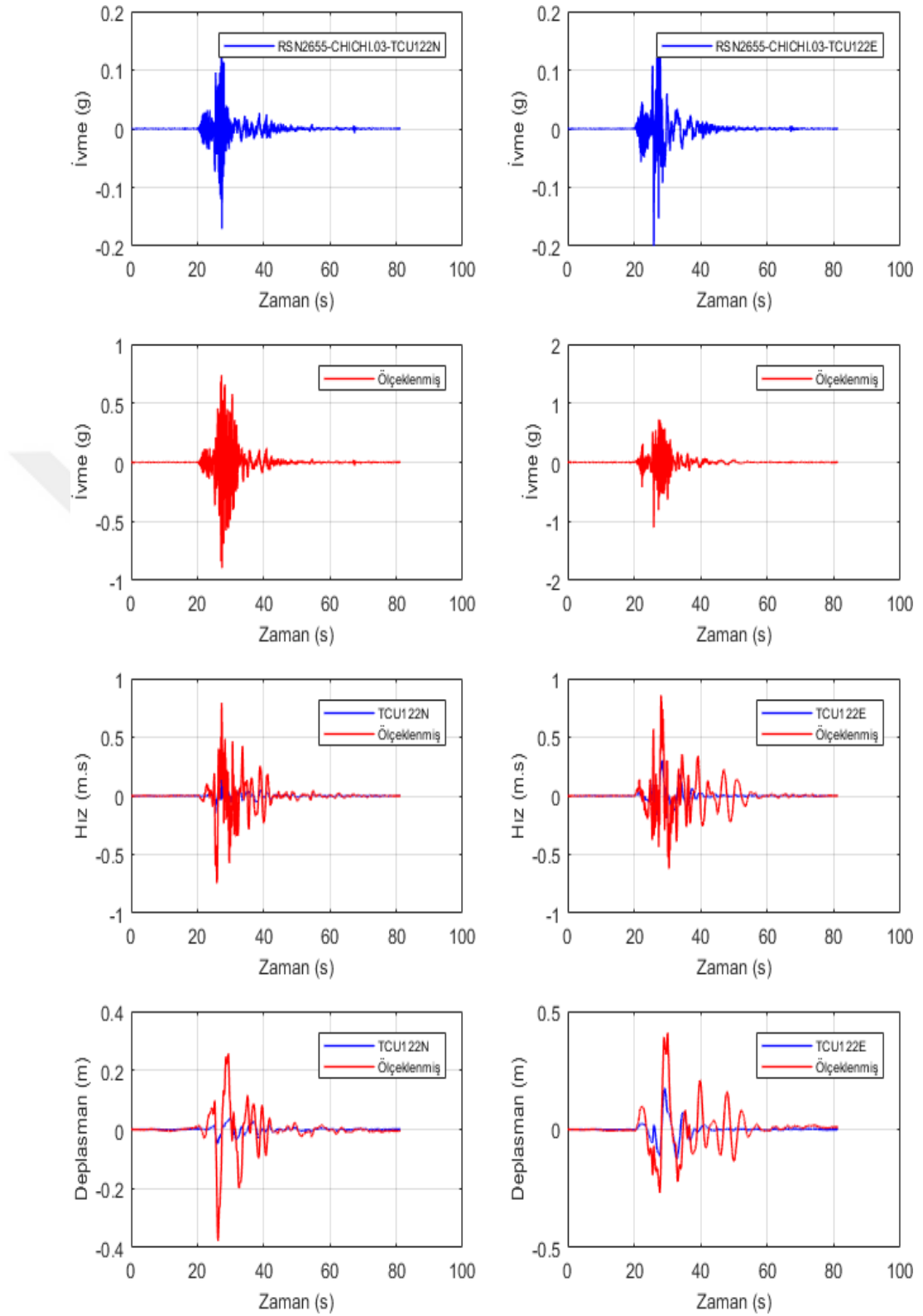
Şekil 3.66. ImperialValley-06 Depremi, CerroPrieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



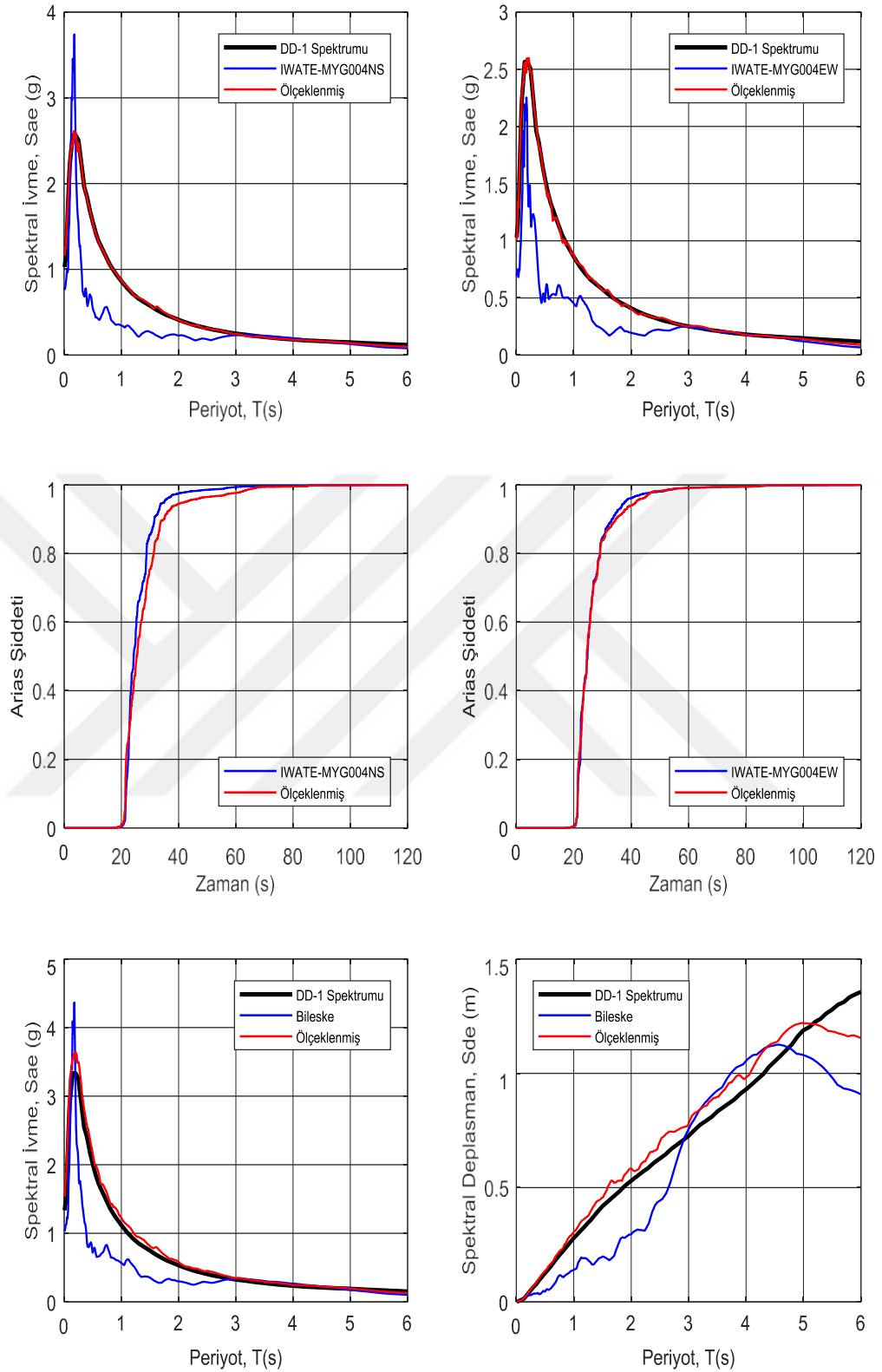
Şekil 3.67. ImperialValley-06 Depremi, CerroPrieto İstasyonu IMPVALL.H_H-CPE147 ve IMPVALL.H_H-CPE237 Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



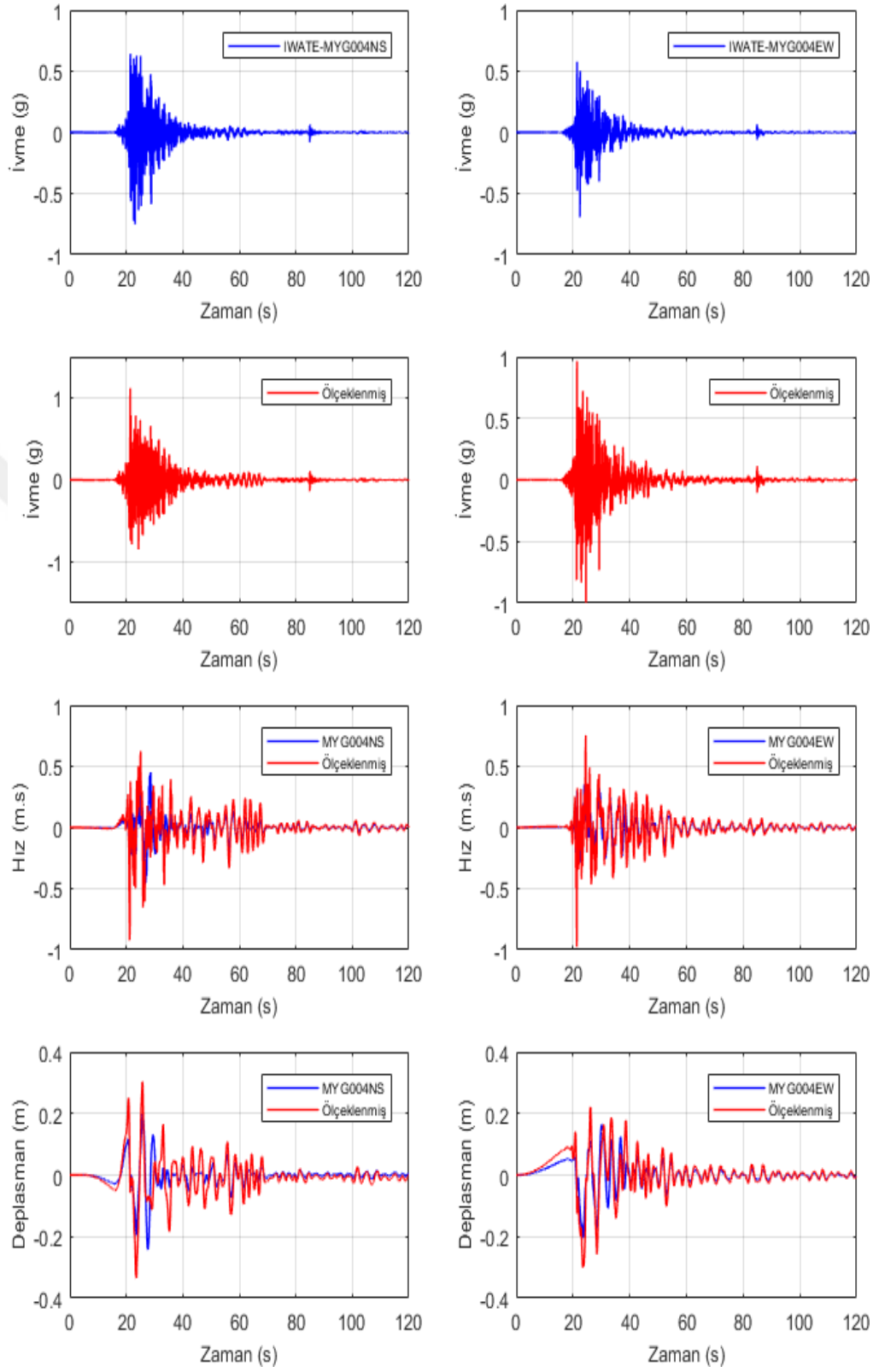
Şekil 3.68. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



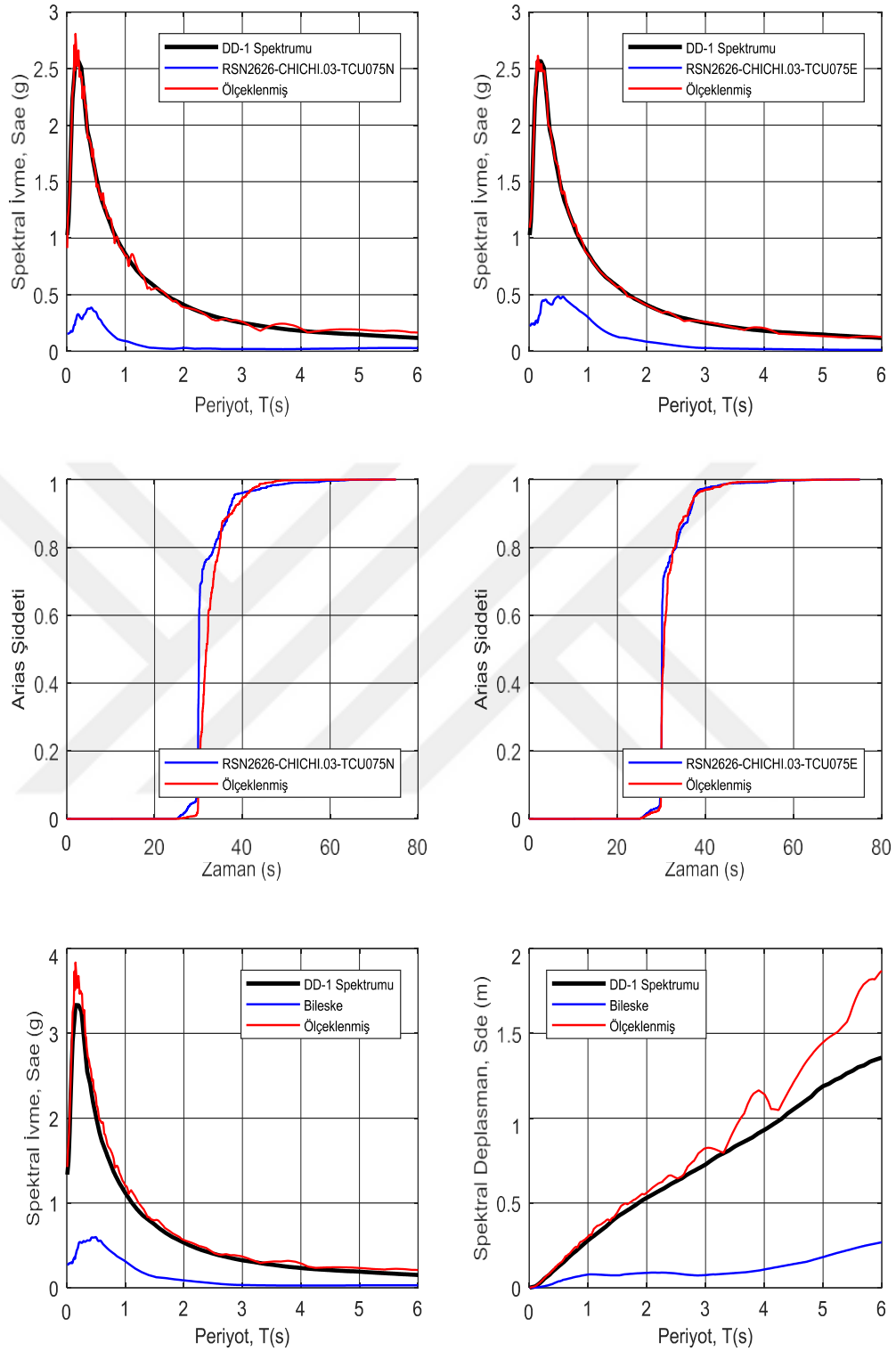
Şekil 3.69. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU122 İstasyonu RSN2655_CHICHI.03_TCU122N ve RSN2655_CHICHI.03_TCU122E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



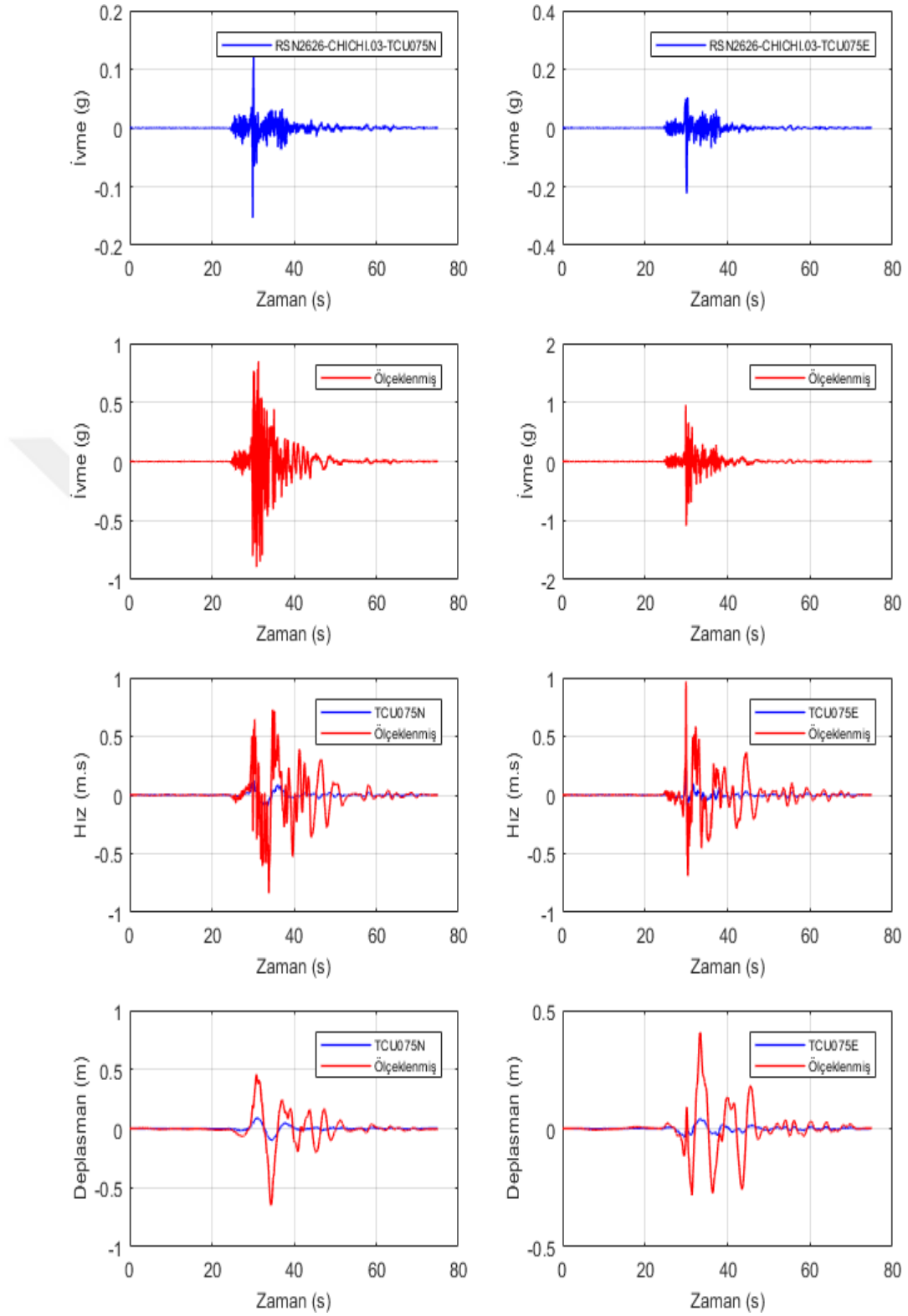
Şekil 3.70. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



Şekil 3.71. Iwate Japan Depremi, MYG004 İstasyonu IWATE_MYG004NS ve IWATE_MYG004EW Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).



Şekil 3.72. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03_TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Bileşenleri Deprem Yer Hareketleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) İçin Spektral İvme, Arias Şiddeti ve DD-1 Deprem Düzeyi için Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar.



Şekil 3.73. Chi-Chi_Taiwan-03 Depremi, TCU075 İstasyonu RSN2626_CHICHI.03_TCU075N ve RSN2626_CHICHI.03_TCU075E Yatay Bileşenlerinin Deprem Yer Hareketlerine Ait İvme, Hız ve Deplasman Grafikleri (orijinal ve DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş).

3.3. Zemin Tepki Analizleri

Tez çalışması kapsamında TBDY 2018'e göre kazıkların kinematik etkileşim analizleri Yöntem II ve Yöntem III'e göre araştırılmıştır. Kinematik etkileşim analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programı ile gerçekleştirilmiş olup, sonlu elemanlar analizleri daha ileriki bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır. SAP2000 programında zemin özellikleri doğrudan tanımlanamamakta olup, zeminin dinamik yükler altındaki davranışı DeepSoil programı ile belirlenmiş olup, dinamik yüklemeler sonucu elde edilen toplam deplasmanlar ya da zaman tanım alanındaki deplasmanlar kazık elemanlara tanımlanmıştır. Bu bölümde DeepSoil programının kullanımına değinilecek olup, elde edilen sonuçlar "4. ARAŞTIRMA BULGULARI" bölümünde değerlendirilecektir.

3.3.1. DeepSoil programı

DeepSoil programı yatay tabakalı zeminlerin dinamik yükler altındaki yer tepki analizlerinin yapılması için geliştirilmiştir (Hashash ve ark., 2015). Program yardımıyla bir boyutlu doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal yaklaşımla saha davranış analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Program çeşitli alternatif ve yöntemlere dayalı olup, birçok işlem menüsünü içinde barındırmaktadır. Bu menülerle aşağıdaki alternatifli işlemler gerçekleştirilebilir.

- a. Analizler İngiliz veya metrik birim sisteminden biri ile gerçekleştirilebilir.
- b. Analizlerde zemin düşey kesiti kullanıcılar tarafından oluşturulabilmekte ve kesitler kaydedilerek daha sonra kullanılabilir.
- c. Zemin düşey kesitine zemin özellikleri kolaylıkla tanımlanabilmektedir.
- d. Programa girilen veriler grafik haline getirilebilmektedir. Elde edilen sonuçlara ilişkin birçok grafik elde edilebilmektedir.
- e. Zeminin düşey kesiti içerisindeki herhangi bir derinlikte pik ivme, pik hız, pik yer değiştirme, baskın periyot gibi pek çok değer hesaplatılabilmektedir.
- f. Program yardımıyla deprem sarsıntısı sırasında bir zeminin yatay yer değiştirmesi simüle edilebilmektedir.

- g. Programın işlem aşamalarında elde edilen sonuçların Word ortamında saklanabilmesi için (kes-yapıştır tekniğiyle) rapor dosyası oluşturulabilmektedir.

3.3.2. DeepSoil programının yapısı

Program, sezgisel bir ara yüzey kullanır ve sırasıyla; veri girişi penceresi, analiz penceresi, çıktı (sonuç) penceresi ve rapor penceresinden oluşmaktadır. Veri girişi penceresi; bütün verilerin girişinin yapıldığı ve kaydedildiği yerdir. Zemin düşey kesiti ve deprem kayıt dosyaları bir veri dosyasını oluşturan girdilerdir. Veri yöneticisinde girdiler grafik olarak çizdirilebilir ve veri değerleri hesaplatılabilir. Bu kısımdaki bilgilerin tamamı rapor dosyası olarak kaydedilebilir. Analiz penceresi; zemin tepki analizinin yapıldığı işlem penceresidir. Kullanıcının hazırlayıp, kaydettiği veri dosyası kullanılarak istenen hesaplamalar yapılır.

Çıktı penceresi; yapılan analiz sonuçlarının çizdirilmesini sağlar. Bu pencere yardımıyla, zemin kesitinin özelliklerine göre; meydana gelebilecek yatay yer değiştirmenin animasyonu izlenebilir.

Rapor penceresi; analiz sonucunda oluşturulan rapor dosyasının kaydedildiği penceredir. Saha davranış analizi sürecindeki tüm veri girişleri ve sonuç penceresindeki yapılan tüm işlemler otomatik olarak rapor dosyasına kaydedilir.

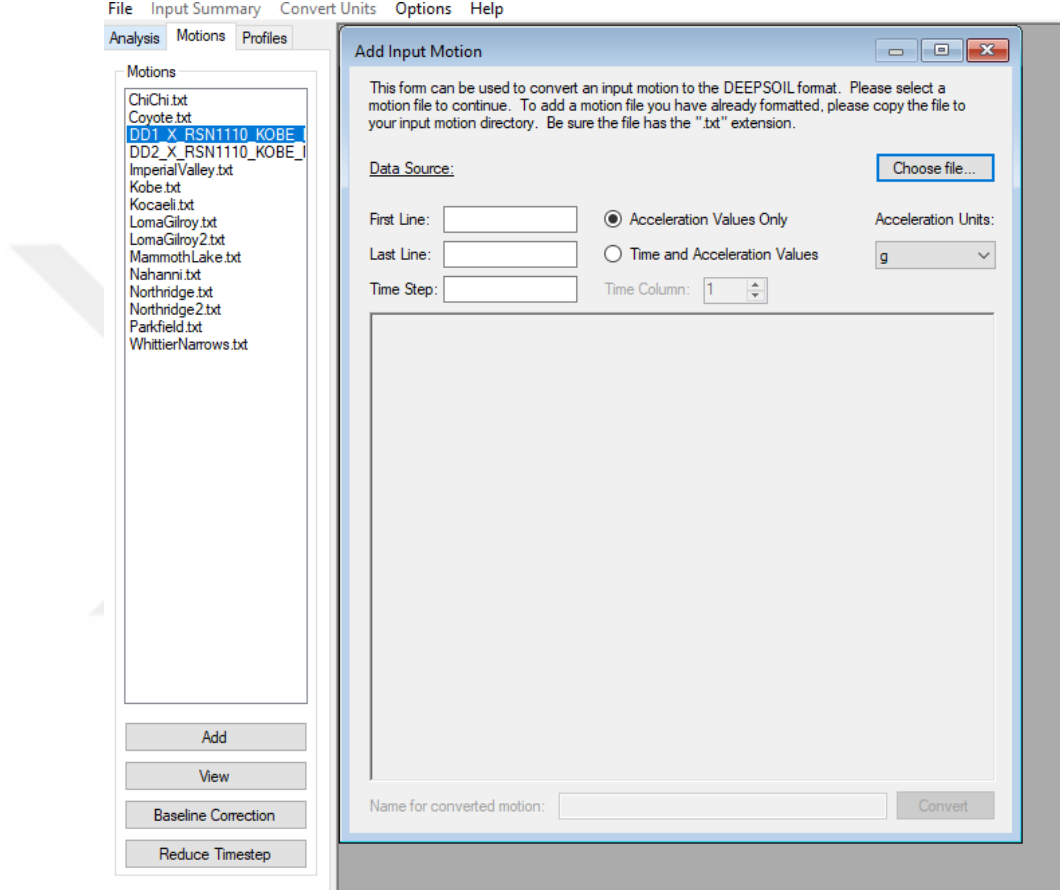
3.3.3. DeepSoil programının kullanımı

DeepSoil yer tepki analiz programı başlıca 3 adımdan oluşur.

- a. Veri girişlerinin yapılması,
- b. Programın çalıştırılması (analizin yapılması),
- c. Çıktı işlemlerinin yapılması.

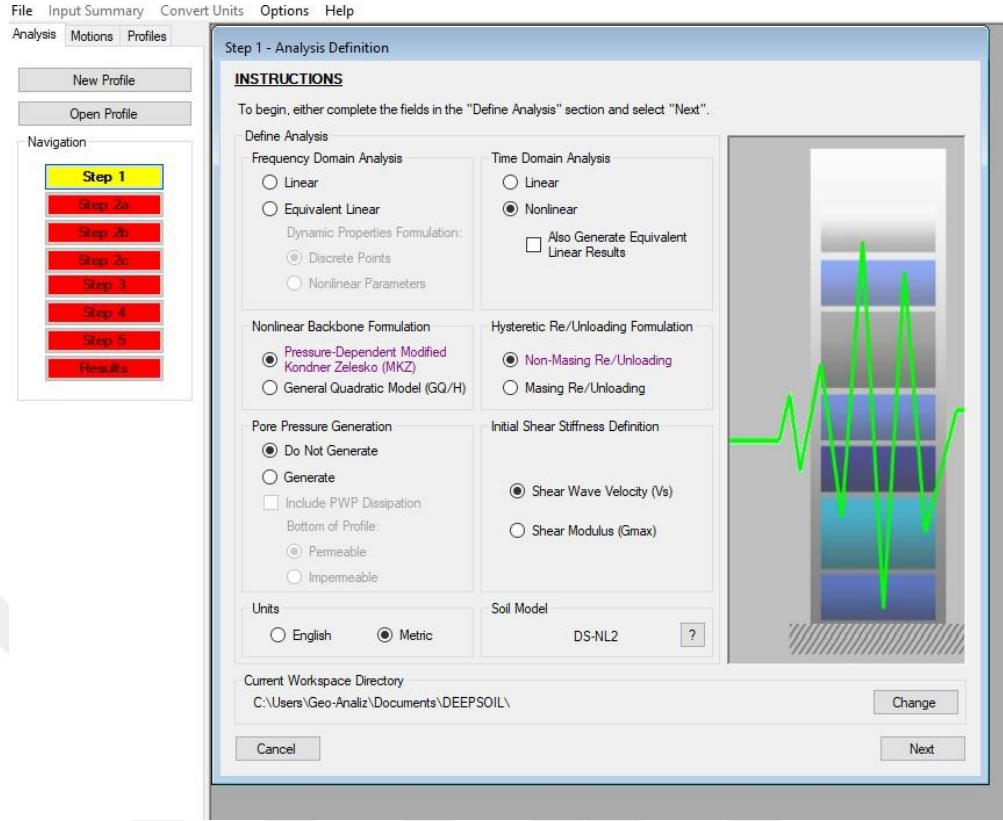
Veri girişlerinin yapılma adımları aşağıdaki gibidir:

1. Analizi yapılacak bölgeye ait deprem kaydı varsa, bu kayıt dosyası programın ana sayfasındaki, Motions menüsünde “Add Input Motion” komutuyla açılacak pencerede ilgili yerlere kaydedilir (Şekil 3.74.). Ya da programda var olan deprem kayıtlarından biri kullanılabilir.



Şekil 3.74. Analizde kullanılacak deprem kayıt dosyasının programa girilmesi.

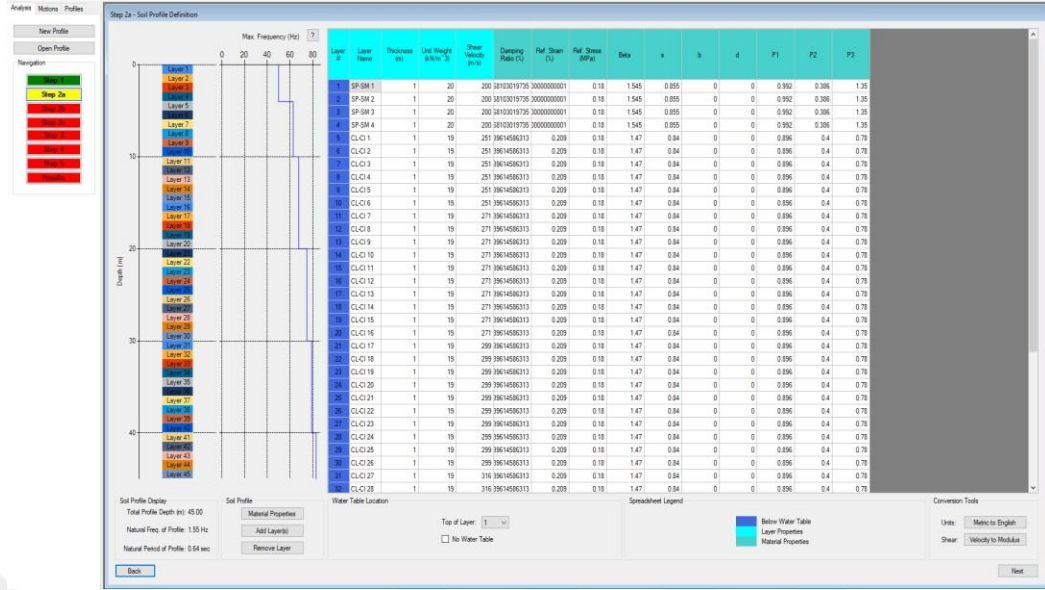
2. Analizde kullanılacak deprem kaydının programa tanıtılmasından sonra, “New Profile” menüsünden veri girişinin yapılacağı yeni bir pencere açılır. Bu pencerede ilk adım olarak analiz tanımlaması yapılır. Hangi ortamda analiz yapılacağı (zaman veya frekans ortamı), lineer, eşdeğer lineer ve nonlinear analizlerden hangisinin yapılacağı, kayma dalgası hızına göre mi yoksa G_{max} kayma modülüne göre mi analiz yapılacağı ve hangi birim sisteminde çalışılacağı gibi tanımlamalar (Şekil 3.75.) yapılır.



Şekil 3.75. Analiz tanıtımının yapıldığı pencere.

3. Analizin ikinci adımında kullanıcı tarafından daha önce hazırlanan zemin profillerinin tanıtımı yapılır (Şekil 3.76.). Bu tanımlama işlemi yapılırken aşağıdaki adımlar izlenir;

- a. Zemin düşey kesitine bir isim verilir.
- b. Zemindeki yer altı suyu derinliğinin hangi tabakada olduğu tanımı yapılır.
- c. Zemin düşey kesitini oluşturan tabaka sayısı,
- d. Her bir tabakayı oluşturan malzemenin ismi,
- e. Her bir tabakanın kalınlığı,
- f. Her bir tabakayı oluşturan malzemenin birim hacim ağırlığı,
- g. Her bir tabakanın kayma dalgası hızı girilir ve her bir tabaka için malzeme tanımlaması ve modül azalım eğrisi seçimi yapılır.

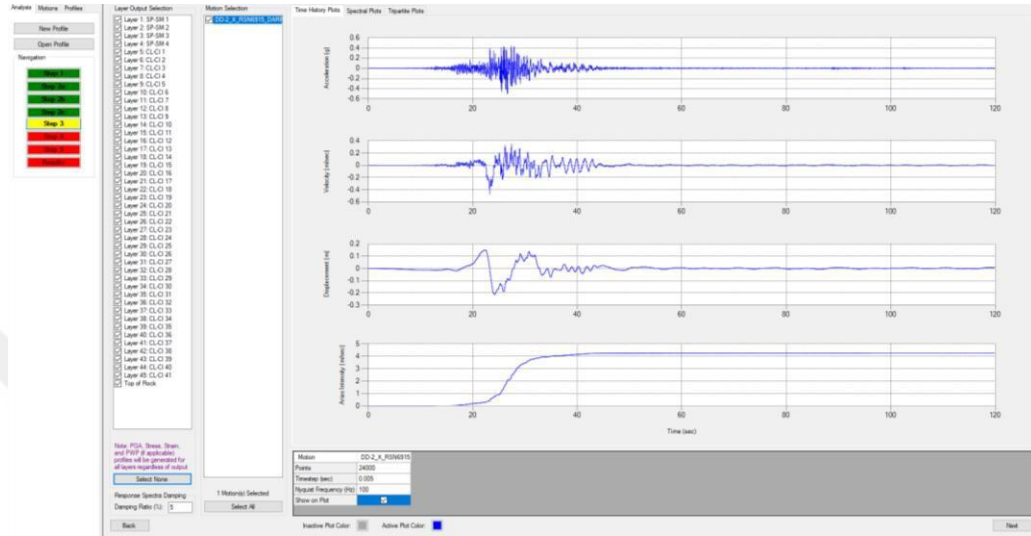


Şekil 3.76. Zemin düşey kesitinin ve yapılması istenen analizlerin tanıtıldığı pencere.

4. Zemin profilinin özelliklerinin programa girilmesinden sonraki adım kullanılacak olan ana kaya hareketine ait bilgilerin (V_s -kayma dalgası hızı, γ -birim hacim ağırlığı ve ξ -sönüm oranı) programa girilmesidir (Şekil 3.77.).

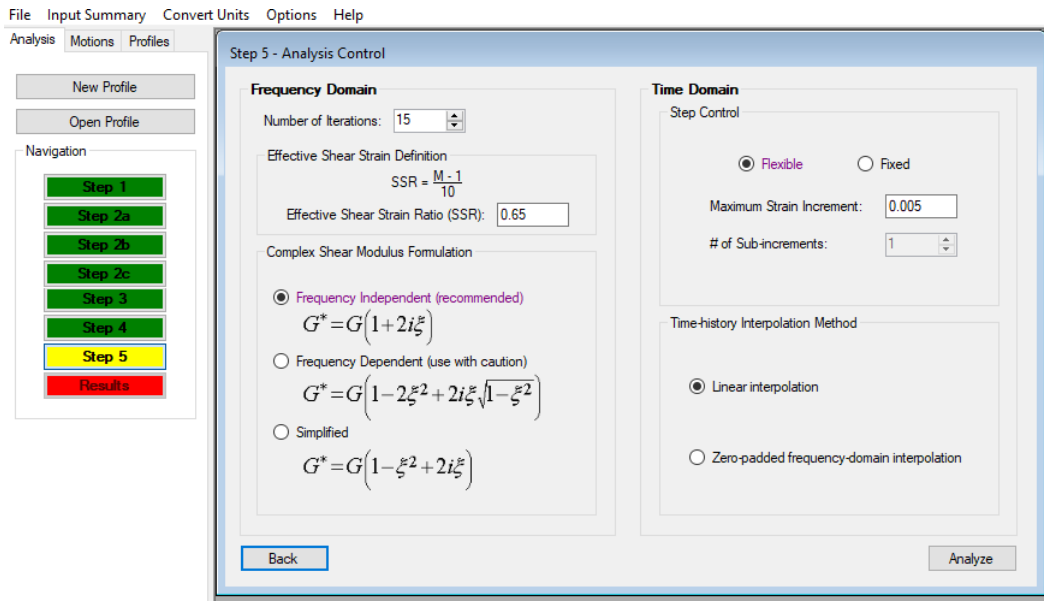
Şekil 3.77. Ana kaya girdi bilgilerinin tanıtılması.

5. Kullanıcı tarafından analizlerde kullanılacak sahada uygun deprem kayıtlarının belirlenmesi (Şekil 3.78.).



Şekil 3.78. Deprem kayıtlarının seçilmesi.

6. Programın çalıştırılmasından önceki son adım ise yapılacak iterasyon sayısının ve kullanılacak olan kayma modülü formülünün seçimi işlemidir (Şekil 3.79.). Bu adım analiz kontrol penceresinde gerçekleştirilir.



Şekil 3.79. Analiz kontrol penceresi.

Bu adımlardan sonra, inceleme yapılacak zemin için gerekli veriler yüklenmiş ve veri dosyasının oluşturulması tamamlanmış olur. Eğer veri girişinde bir hatanın olup olmadığı kontrol edilmek istenirse; “Input Summary” menüsünden verilere ait değerler kontrol edilebilir.

İnceleme yapılacak zemin için veri giriş dosyasının hazırlanması tamamlandıktan sonra program çalıştırılıp, analiz başlatılabilir. Analiz işlemleri tamamlandıktan sonra sonuçlar, analizi yapılan veri dosyasıyla aynı isimli olarak kaydedilir. Kaydedilen sonuç dosyasına gidilerek zemin hareketinin, gerilme ve birim deformasyonun, tepki spektrumunun ve derinliğe göre ivme değişiminin grafikleri çizdirilebilir ve sarsıntı sırasında bir zeminin yatay yer değiştirmesinin animasyonu izlenebilir.

DeepSoil programı, yer tepki analizi sonucunda bir rapor dosyası oluşturur. Analiz sürecindeki tüm veri girişleri ve sonuç penceresindeki yapılan tüm işlemler otomatik olarak rapor dosyasına kaydedilir. Bu dosya, birbirinden farklı pencerelerde yaptırılan işlemlerin bir özetinin veya genelinin bir arada görüntülenmesine yardımcı olur. Yaptırılan çizimler, hesaplatılan özelliklerin sayısal değerleri bir arada görülür. İstenmesi durumunda çıktısı alınabilir veya daha sonra incelemek üzere saklanabilir (Nar, 2016).

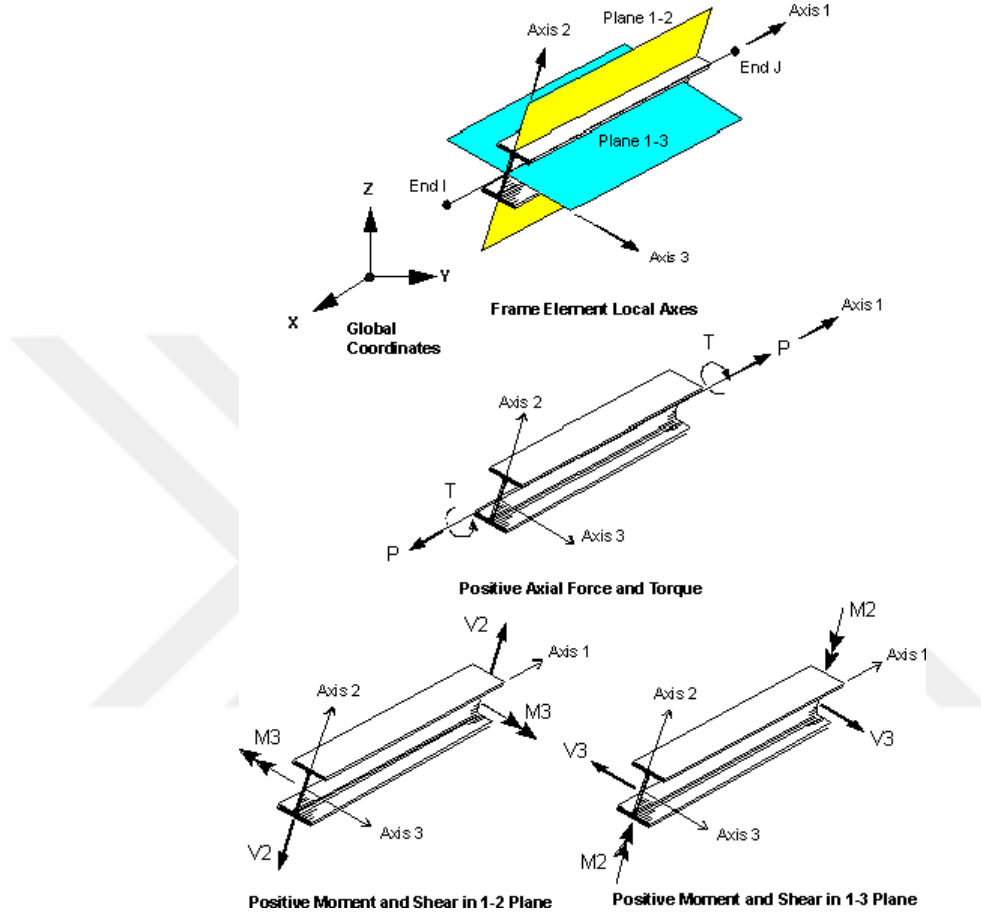
3.4. Etkileşim Analizleri

Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) bölüm 16C.2’de tanımlanan Yöntem II ile Yapı- Kazık-Zemin-Etkileşimi Hesabı ve 16C.3’te tanımlanan Yöntem III ile Yapı- Kazık-Zemin-Etkileşimi Hesabı başlıklarında detayları verilen hesapların yapılabilmesi için gerekli yapısal modellemenin bilgisayar programı SAP2000’de (v24.0.0) modellenmesi tariflenmektedir.

3.4.1. Çubuk (frame) eleman tariflemesi

Yapısal programda kazık, Yöntem II hesapları için zaman tanım alanında belirlenen deplasman zaman değerlerinin ve Yöntem III hesapları için tanımlanan maksimum

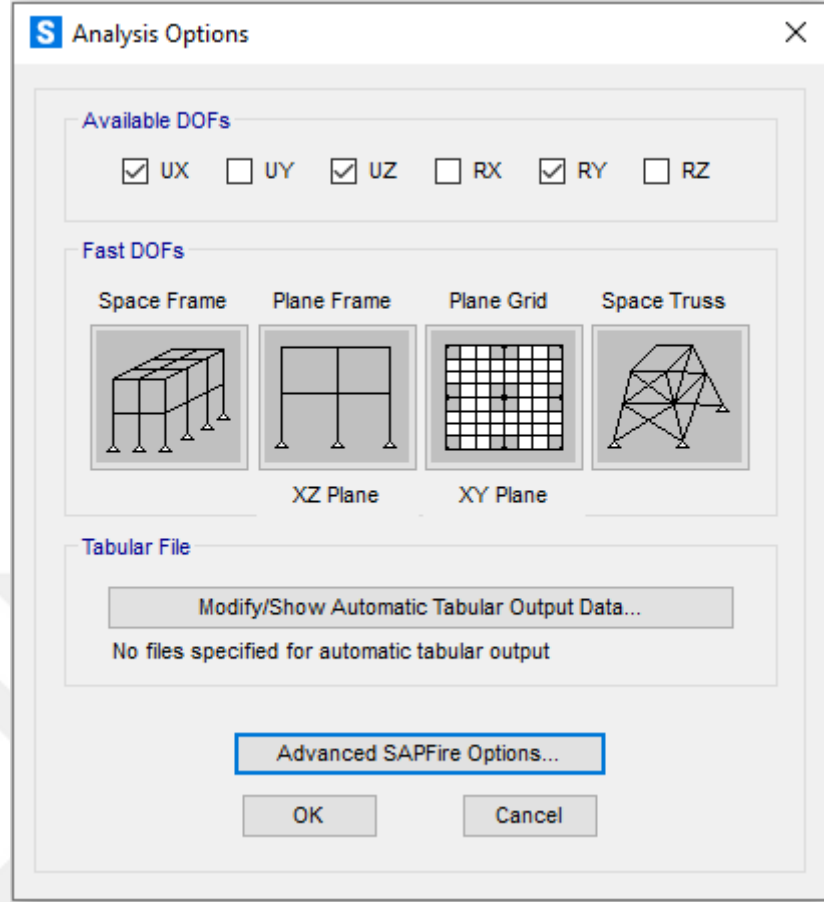
deplasmanların girilebilmesi için, 45 metre uzunluğunda çubuk (frame) eleman olarak modellenmiş olup bir metrelik uzunluklara bölünüp her bir metrede noktalar oluşturulmuştur.



Şekil 3.80. Yapısal program Sap2000 çubuk yönleri.

3.4.2. Analiz yöntemi

Çubuk, programın kullanım kılavuzunda belirtilen yönlerine uygun olacak şekilde pozitif Z yönü Axis-1 ve pozitif X yönü Axis-3 olarak modelde tariflenmiştir. Kazık 120 cm dairesel kesite sahip olduğundan tek yönde hesap yapıp deprem yönetmeliği Yöntem II ve Yöntem III hesapları tek yönde (UZ) irdelenmiştir. Bu özellik, analiz opsiyonları sayfasında XZ Plane seçeneği ile tariflenebilmektedir.



Şekil 3.81. Tek bir düzlemde hesap için model seçeneği girdi ekranı.

3.4.3. Malzeme özellikleri

Beton malzemesi olarak için C30 beton sınıfı seçilmiştir. Mukavemet ve elastisite modül değerleri, TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (2000) yönetmeliği Tablo 3.2.'de verilen mukavemet değerleri ile 3.3.3.1 maddesinde formülü verilen elastisite modülü formülü kullanılarak 31800 MPa hesaplanmıştır.

$$f(x) = E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (3.1)$$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C30

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.500E-05

Mass per Unit Volume: 2.549E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 31800

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 13250

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 30

Expected Concrete Compressive Strength: 30

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.82. Malzeme bilgisi girdi ekranı.

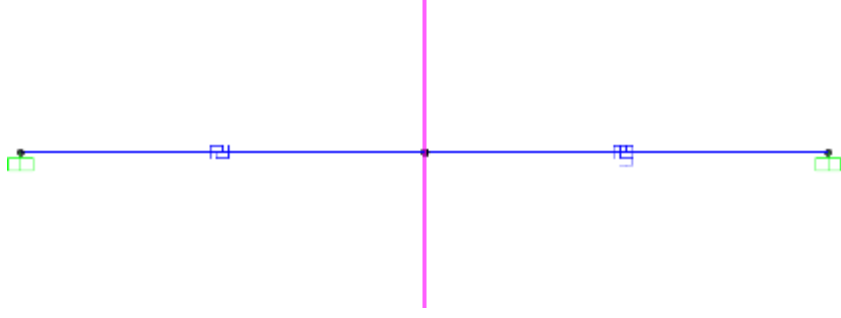
3.4.4. Kesit bilgisi

Kesit girdisi için yapısal programın ilgili kesit girdi menüsünden dairesel kesit seçilip hesaplamaları yapılacak olan 120 cm çapında kazığa ait ebat bilgileri programa girilmiştir.

Şekil 3.83. Kesit bilgisi girdi ekranı.

3.4.5. Yay geometrisi

p-y, t-z ve Q-z yayları, yayların özelliklerine bağlı olarak modelde ayrı ayrı tariflenmiş ve yay elamanlarına atanmıştır. Bu yayların en önemli özelliği iki noktalı çubuk yay şeklinde tariflenmeleridir. P-y ve t-z yayları X yönünde çubuktan bir birim mesafede noktalar üretilerek ve o noktalardan çubuğa doğru bir çubuk yay girilerek oluşturulmuştur. Yayların uzak noktalarının ankastre tutularak modellenmesi gerekmektedir.

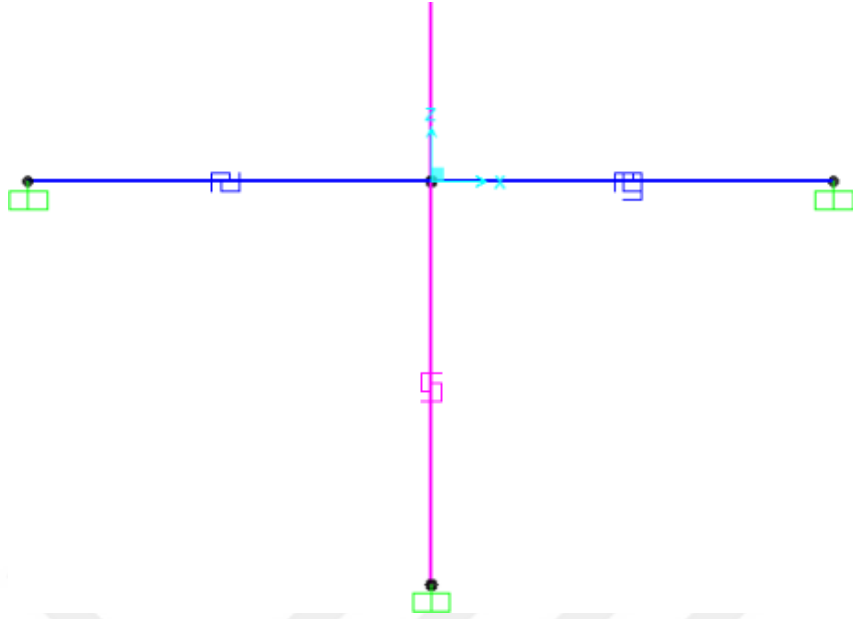


Şekil 3.84. p-y ve t-z yayları için çubuk yay elemanı girdisi

p-y yayları çubuğun Axis-3 yönünde yani global X ekseninde tariflenen basınç yaylarıdır. Bu yayların sadece basınca çalışacağı göz önünde bulundurulduğunda çubuğun her iki yönünde ayrı ayrı girilmiştir. Özellikle Yöntem II hesaplarında kullanacağımız zaman tarif alanında deplasman değerleri pozitif ve negatif yönde birlikte verildiğinden her iki yöndeki yaylar deplasmanın yönüne göre ayrı ayrı çalışmaktadır. Bir yay çalıştığında diğer yay pasif kalacaktır. Yay tarifleri yapılırken histerisis eğrisinin çekme kısmı verilmeden tarifleme yapılmıştır. Ayrıca Yöntem III hesaplarında modele statik yükleme girdisi olarak vereceğimiz tek yönde deplasman değeri de sadece tek bir yöndeki yayı çalıştıracığından dolayı diğer yay yine aynı şekilde pasif kalmaktadır.

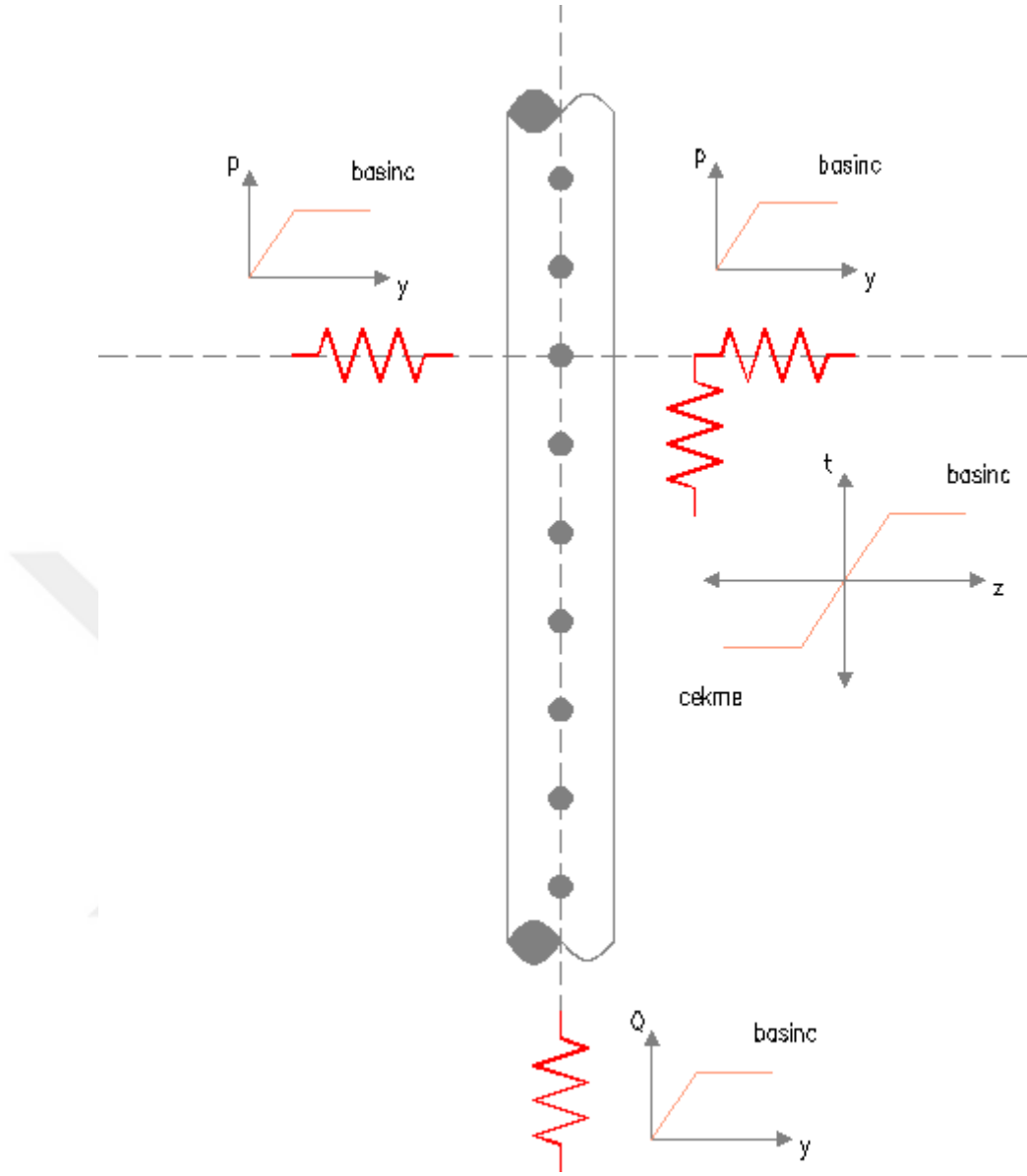
t-z yayları ise p-y yayları için tanımlanan global X yönündeki çubuk yayın U2 yönü için tariflenmiştir. Bu yön ise kazığın Axis-1 yönü, global Z yönüne denk gelen yaydır. Bu yay çekme ve basınç olarak çift yönlü çalıştığından tarifleme yapılırken hem çekme hem de basınç değerleri aynı histerisis eğrisi üzerinde tanımlanmıştır.

Q-z yayları p-y ve t-z yayları gibi kazık elemandan bir birim uzakta bir nokta oluşturularak ve bu noktalar arasında bir iki noktalı çubuk yay tanımlanarak tanımlanmıştır. Çubuğun Axis-1, global Z yönünde girilen ve yayın U1 yönünde yay özellikleri girilen kazık uç basınç yayıdır. Tek yönlü basınca çalışacak şekilde histerisis eğrisi tanımlanmıştır. Yayın uzak noktasının ankastre tutularak modellenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.85. Q-z yayları için çubuk yay elemanı girdisi.

Kazık sisteminde p-y, t-z ve Q-z yaylarının çalışma prensibi Şekil 3.86.'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Kazık üzerindeki her bir nokta, zemin özelliklerini içeren ve kendisi ile ilgili yönde tariflenen yay girdi atamaları ile tanımlanmaktadır. Yatayda çubuğun her iki tarafına aynı p-y basınç yayı girilirken, dikkat edilmesi gereken husus, t-z yayının bu iki taraftan sadece bir tarafta tanımlanıyor olmasıdır. Her iki tarafa tanımlanması durumunda mükerrer yay girişi ile doğru sonuç okunması mümkün olmayacaktır. Q-z yayları kazık modelin en alttaki uç noktasında tariflenip, kazık yönünde oluşacak basınç yüklerinde çalışması hedeflenmiştir.



Şekil 3.86. p-y, t-z ve Q-z yaylarının kazık modelinde şematik gösterimi.

3.4.6. Zemin yayları (P-Y zemin yayları)

Sonlu elemanlar modellenmesinde zeminin tanımlanmasında p-y yayları kullanılmaktadır. Kil ve kum zemine ait p-y yaylarının hesaplama yöntemi ve aşamaları aşağıda anlatılmaktadır. Ayrıca problemde dikkate alınan zemin özellikleri için p-y yayları sunulmaktadır.

3.4.6.1. Kum zemin yaylarının bulunması

Kum zeminlerde yanal taşıma gücü değeri aşağıda verilen sığ ve derin durumlar için hesaplanan değerler arasında değişmektedir. Tanımlanan bir derinlik için nihai yanal taşıma gücü değeri P_u aşağıdaki iki eşitlikten elde edilen değerlerden küçük olan olarak tanımlanmaktadır (API 2000).

$$p_{us} = (C_1 \times H + C_2 \times D) \times \gamma \times H \quad (3.2)$$

$$p_{ud} = C_3 \times D \times \gamma \times H \quad (3.3)$$

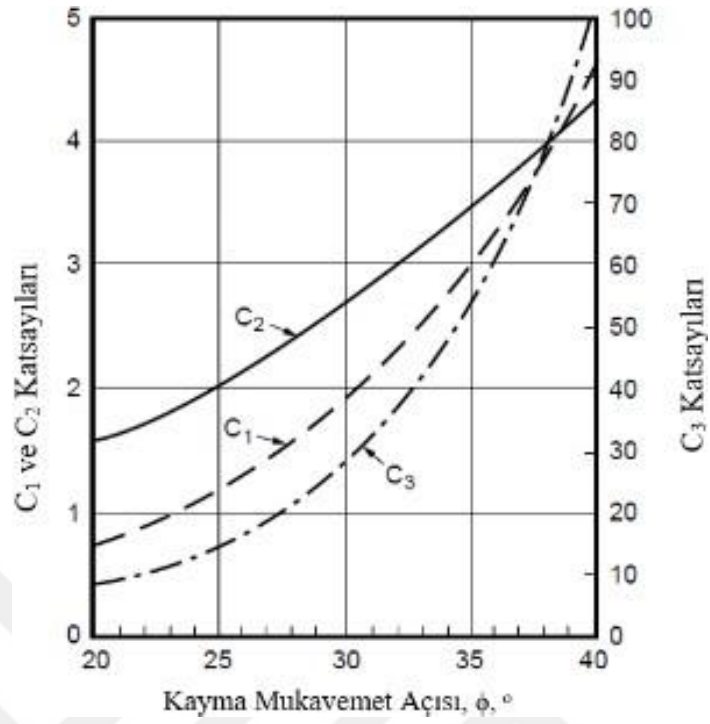
γ = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

H = Derinlik (m)

ϕ' = Kum zeminin kayma mukavemet açısı ($^\circ$)

$C_1, C_2, C_3 = \phi'$ değerine bağlı olarak aşağıdaki şekilden elde edilen katsayılar

D = Kazığın çapı (m)



Şekil 3.87. C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları.

Kum zeminlerde yanal zemin gerilmesi – deplasman ilişkisi aşağıdaki yöntemle belirlenmektedir.

$$P = A \times p_u \times \tan h \left[\frac{k \times H}{a \times p_u} \times y \right] \quad (3.4)$$

Burada:

A = Statik ve tekrarlı yük durumuna bağlı faktör tekrarlı yükleme hali: $A = 0,9$

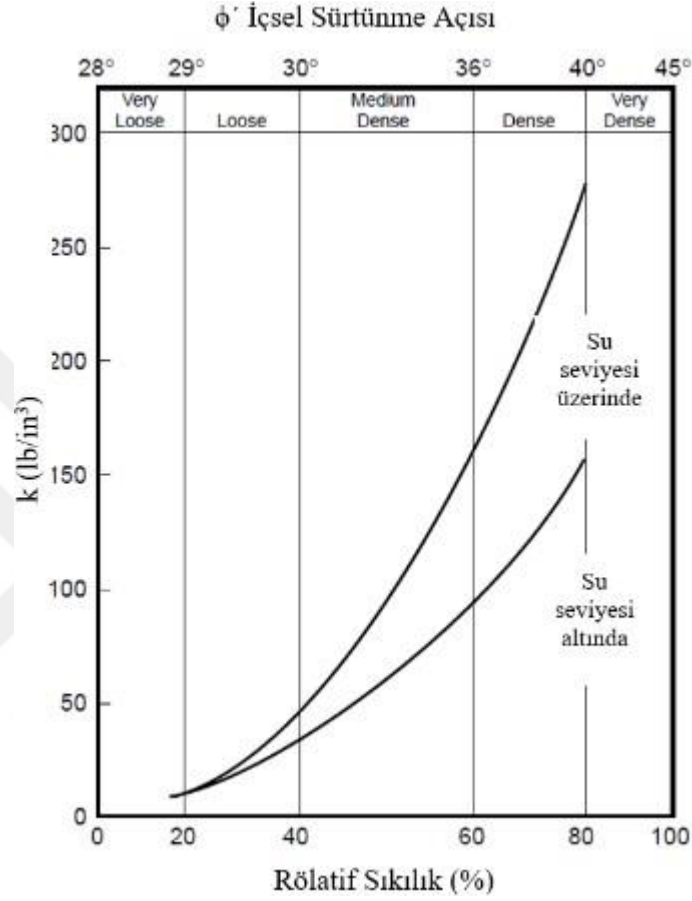
Statik yükleme hali: $A = (3,0 - 0,8 H/D) \geq 0,9$

P_u = nihai yanal taşıma gücü

k = zemin yanal yatak katsayısı (ϕ' değerine göre Şekil 3.88.'den alınır)

y = yanal deplasman

H = derinlik



Şekil 3.88. k değerleri.

3.4.6.2. Yumuşak kil zemin yaylarının bulunması

Yanal yüklü kazıklarda yumuşak kil zeminin nihai yanal taşıma gücü P_u aşağıdaki kritere göre hesaplanabilir (API 2000);

$$p_u = 3c + \gamma X + j \frac{cX}{D} \quad (3.5)$$

$$p_u = 9x \text{ for } X \geq X_R \quad (3.6)$$

Burada;

D = Kazık çapı

γ = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı

j = 0,25 ile 0,50 arasında değişen boyutsuz faktör (Arazi deneyleri yardımıyla bulunur)

X = Zemin yüzeyinden derinlik

X_R = Zemin yüzeyinden itibaren yanal taşıma gücünün azaldığı derinlik

$$X_R = \frac{6D}{\left(\frac{\gamma D}{C_u} + j\right)} \quad (3.7)$$

J boyutsuz faktörü sert killer için 0,25 ve yumuşak killer için 0,50 önerilir (Junbo Jia, 2018). Eğer zemin mukavemeti derinlik ile değişiyor ise yukarıdaki eşitliklerden P_u değerinin derinlikle değişimi grafik halinde çizilir. İki eğrinin kesiştiği nokta X_R olarak belirlenir. Literatürde genelde $X_R > 2,5 D$ olduğu ifade edilmektedir.

Tekrarlı yükleme altında dengeye ulaşıldığı durumda, p - y eğrileri aşağıdaki değerler yardımıyla oluşturulabilir:

Tablo 3.2. p - y hesaplamasında kullanılan X değerleri

$X > X_R$		$X < X_R$	
P/P_u	y/y_c	p/p_u	y/y_c
0,00	0,0	0,00	0,0
0,50	1,0	0,50	1,0
0,72	3,0	0,72	3,0
0,72	∞	0,72 X/X_R	15,0
		0,72 X/X_R	∞

P = Gerçek yanal direnç

y = Gerçek yanal deplasman

$$y_c = 2.5\varepsilon_c D \quad (3.8)$$

D = Kazık çapı

ε_c = Laboratuvarda drenajsız basınç deneyinde elde edilen maksimum düşey direncin yarısına eşit düşey gerilmeye oluşan birim deformasyon.

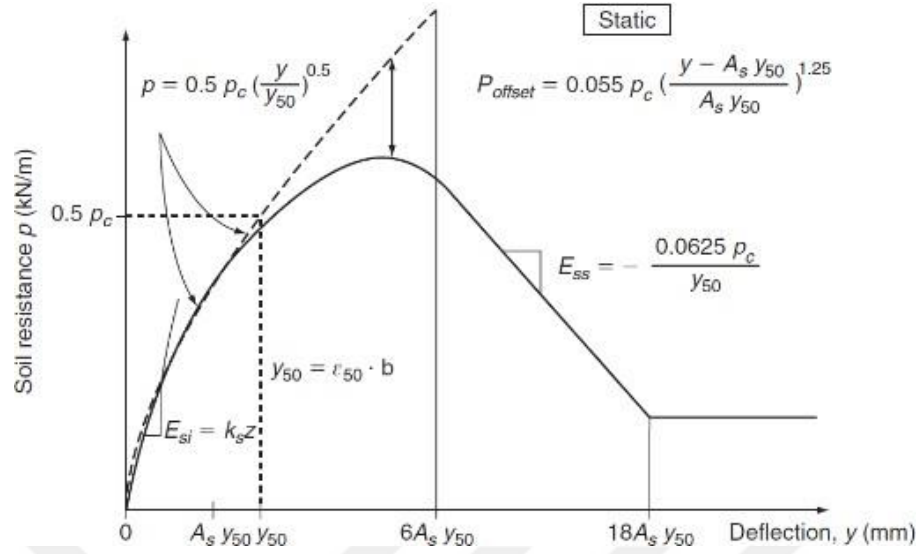
Tablo 3.3. Tipik ε_c değerleri (Skempton AW, 1951)

Kilin kıvamı	ε_c
Yumuşak	0,02
Orta	0,01
Sert	0,005

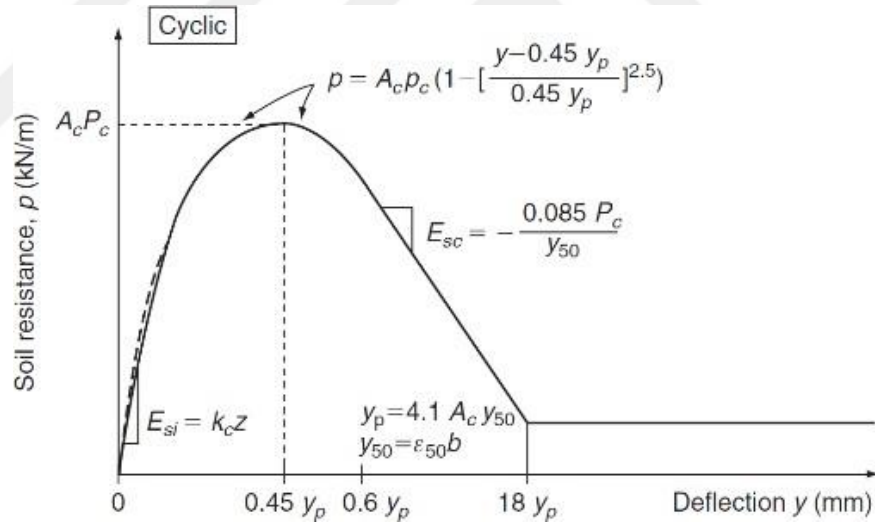
3.4.6.3. Su altındaki sert killer için yaylarının bulunması

– Sert kil için:

Sert killer için p-y eğri takımı elde etmek için geliştirilen metotta statik ve tekrarlı yüklemeler için ayrı ayrı prosedür önerilmiştir (Reese ve diğerleri, 1975). Herhangi bir derinlikte çizilen tipik p-y eğrisi, statik yükleme için Şekil 3.89.'da, tekrarlı yükleme için Şekil 3.90.'da görülmektedir.



Şekil 3.89. Sert kilde statik yüklemde önerilen P-Y kriterinin karakteristik şekli (Reese ve diğ., 1975).



Şekil 3.90. Sert kilde tersinir yüklemde önerilen P-Y kriterinin karakteristik şekli (Reese ve diğ., 1975).

Killi zeminlerde statik yüklem için adım adım prosedür aşağıdaki gibidir (Reese ve diğ., 1975).

- a. Yer yüzeyinden z derinliğine kadar, zemin drenajsız kayma mukavemeti c_u , efektif birim hacim ağırlık γ , kazık çapı D değerleri belirlenecektir.
- b. Z derinliği boyunca ortalama zemin drenajsız kayma mukavemeti c_u hesaplanacaktır.
- c. Z derinliğindeki birim kazık uzunluğunda zemin direnci aşağıdaki şekilde eşitlikleri kullanarak hesaplanacaktır.
- d. Yer yüzeyi yakınında zemin nihai direnci;

$$P_{c1} = 2c_u D + \gamma' D z + 2.83 c_u z \quad (3.9)$$

Yer yüzeyi altında zemin nihai direnci;

$$P_{c2} = 11c_u D \quad (3.10)$$

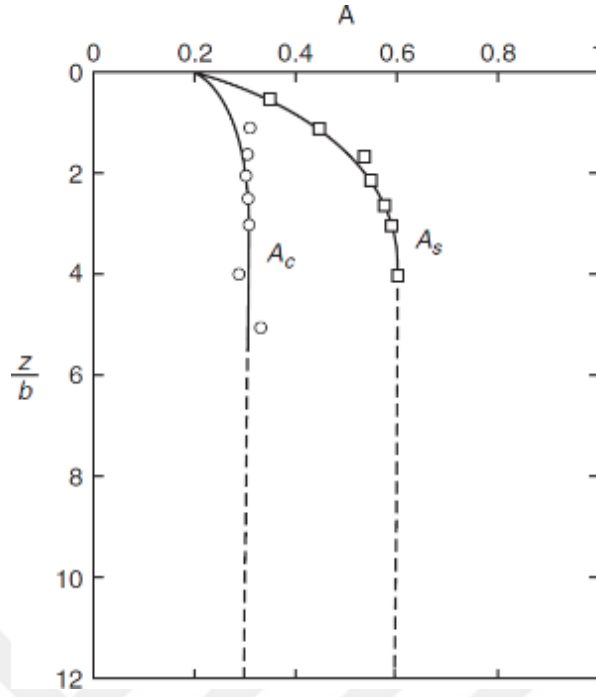
Bu iki eşitlikten küçük olanı kullanılacaktır.

- e. Şekil 3.91.'den uygun bir A_s değeri seçilecektir.
- f. p-y eğrisinin başlangıç doğrusal çizgisini oluştur. Tablo 3.4.'den uygun bir k değeri kullanılacaktır.

$$p = (kz)y \quad (3.11)$$

- g. y_c değerini belirle. Tablo 3.5.'ten uygun ε_c değeri kullanılacaktır.

$$y_c = \varepsilon_c D \quad (3.12)$$



Şekil 3.91. Nihai zemin direnci ve boyutsuz derinlik için A_c ve A_s katsayıları (Reese ve diğerleri, 1975).

Tablo 3.4. Sert kil için önerilen k değerleri (Reese ve diğerleri, 1975)

Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti, kPa			
	50-100	100-200	300-400
k_{pys} (Statik) MN/m ³	135	270	540
k_{pyc} (Tekrarlı) MN/m ³	55	110	540

Tablo 3.5. Sert kil için ϵ_c değerleri (Reese ve diğerleri, 1975)

Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti, kPa			
	50-100	100-200	300-400
ϵ_c	0,007	0,005	0,004

h. p - y eğrisinin ilk parabolik eğrisi oluşturulacaktır.

$$p = 0.5 p_c \left(\frac{y}{y_c} \right)^{0.5} \quad (3.13)$$

i. 5. adım $\leq y \leq A_{yc}$ ile kesişim (eğer kesişim yok ise, 6. adımdaki denklemi kontrol et)

j. p-y eğrisinin ikinci parabolik eğrisi oluşturulacaktır.

$$p = 0.5 p_c \left(\frac{y}{y_c} \right)^{0.5} - 0.055 p_c \left(\frac{y - A_{yc}}{y_c} \right)^{1.25}, \quad A_{yc} \leq y \leq 6A_{yc} \quad (3.14)$$

k. p-y eğrisinin doğrusal kısmı oluşturulacaktır.

$$p = 0.5 p_c (6A)^{0.5} - 0.411 p_c \frac{0.0625}{y_c} p_c (y - 6A_{yc}), \quad 6A_{yc} \leq y \leq 18A_{yc} \quad (3.15)$$

l. p-y eğrisinin son doğrusal kısmı oluşturulacaktır.

$$p = 0.5 p_c (6A)^{0.5} - 0.411 p_c - 0.75 p_c A, \quad 18A_{yc} \leq y \quad (3.16)$$

Tekrarlı yükleme için adım adım prosedür aşağıdaki gibidir.

a. a, b, c, e ve f adımları statik durum ile aynıdır.

b. Şekil 3.91.'den uygun A değeri seçilecek ve y_p hesaplanacaktır.

$$y_p = 4.1 A_s y_c \quad (3.17)$$

c. p-y eğrisinin parabolik kısmı oluşturulacaktır.

$$p = A_c p_c \left[1 - \left| \frac{y - 0.45 y_p}{0.45 y_p} \right|^{2.5} \right], \quad 5. \text{ adım } \leq y \leq 0.6 y_p \quad (3.18)$$

d. p-y eğrisinin doğrusal kısmı oluşturulacaktır.

$$p = 0.936 A_c p_c - \frac{0.085}{y_c} p_c (y - 0.6 y_p), \quad 0.6 y_p \leq y \leq 1.8 y_p \quad (3.19)$$

e. p-y eğrisinin son doğrusal kısmı oluşturulacaktır.

$$p = 0.936A_c p_c - \frac{0.102}{y_c} p_c y_p, \quad 1.8y_p \leq y \quad (3.20)$$

Örnek p-y oluşturulması

Yer altı su seviyesi altında 120 cm çapında kazık için kum birimde bulunan ilk 1 metre için p-y yaylarının hesabı

$\phi = 34^\circ$ için Şekil 3.87.'den C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları ve Şekil 3.88.'den k değeri belirlenecektir.

Bu durumda, $C_1=2.7$, $C_2=3.2$ ve $C_3=47$ ve k değeri ise 16000 kN/m^3 olarak elde edilmektedir.

Denklem 3.2 ve 3.3 kullanılarak nihai taşıma gücü değeri hesaplanacaktır. Kum biriminin efektif birim hacim ağırlığı 10.19 kN/m^3 'tür.

$$P_{us} = (2.7 \cdot 1 + 3.2 \cdot 1.2) \cdot 10.19 \cdot 1 = 66.64 \text{ kN/m}$$

$$P_{ud} = 47 \cdot 1.2 \cdot 10.19 \cdot 1 = 574.716 \text{ kN/m}$$

Seçilen P_u değeri $\min(P_{us}; P_{ud}) = 66.64 \text{ kN/m}$

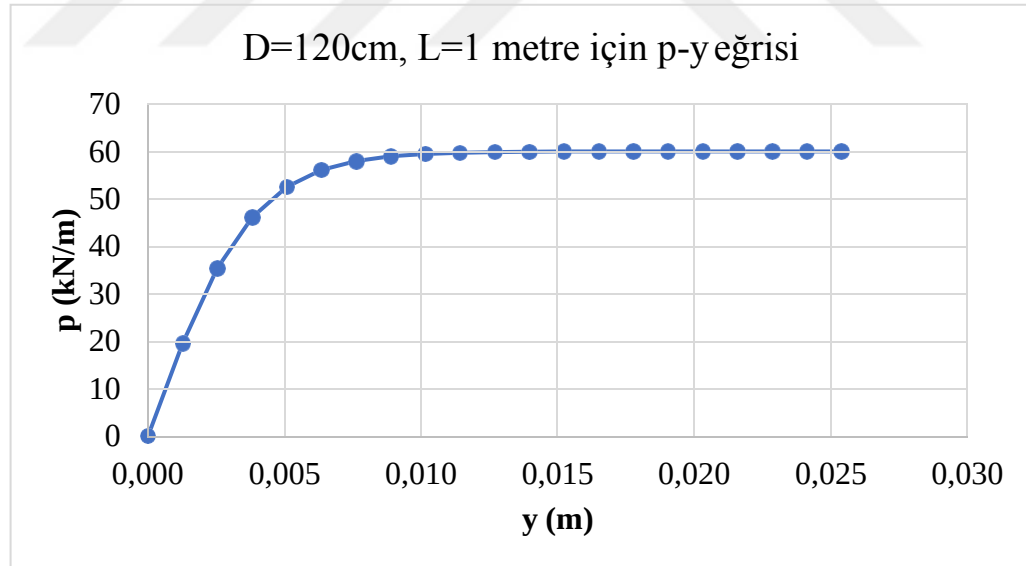
Hesaplanan nihai taşıma gücü kullanılarak yanal zemin gerilmesi – deplasman ilişkisi hesaplanacaktır. Farklı y değerleri için P değerleri elde edilir ve p-y eğrisi oluşturulur. Burada A faktörü tekrarlı yükleme için 0,9'dur.

$y=0$ için $P=0$

$y=0,00127$ için $P=19,58 \text{ kN/m}$

Tablo 3.6. Kum için hesaplanan p-y eğrileri (L=1 m)

No	Derinlik H (m)	Farklı y değerleri için aşağıdaki yaklaşım kullanılabilir	y (m)	k (kN/m ³)	A	P _u (kN/m)	P (kN)
1	1	0	0,00000	16000	0,9	66,64	0,00
2	1	0,05*1 inç	0,00127	16000	0,9	66,64	19,58
3	1	0,1*1 inç	0,00254	16000	0,9	66,64	35,38
4	1	0,15*1 inç	0,00381	16000	0,9	66,64	46,09
5	1	0,20*1 inç	0,00508	16000	0,9	66,64	52,50
6	1	0,25*1 inç	0,00635	16000	0,9	66,64	56,06
7	1	0,3*1 inç	0,00762	16000	0,9	66,64	57,95
8	1	0,35*1 inç	0,00889	16000	0,9	66,64	58,94
9	1	0,4*1 inç	0,01016	16000	0,9	66,64	59,45
10	1	0,45*1 inç	0,01143	16000	0,9	66,64	59,71
11	1	0,50*1 inç	0,01270	16000	0,9	66,64	59,84
12	1	0,55*1 inç	0,01397	16000	0,9	66,64	59,91
13	1	0,60*1 inç	0,01524	16000	0,9	66,64	59,94
14	1	0,65*1 inç	0,01524	16000	0,9	66,64	59,96
15	1	0,70*1 inç	0,01778	16000	0,9	66,64	59,97
16	1	0,75*1 inç	0,01905	16000	0,9	66,64	59,97
17	1	0,80*1 inç	0,02032	16000	0,9	66,64	59,97
18	1	0,85*1 inç	0,02159	16000	0,9	66,64	59,97
19	1	0,90*1 inç	0,02286	16000	0,9	66,64	59,98
20	1	0,95*1 inç	0,02413	16000	0,9	66,64	59,98
21	1	1*1 inç	0,02540	16000	0,9	66,64	59,98



Şekil 3.92. D=120 cm, L=1 metre için p-y eğrisi.

Yer altı su seviyesi altında 120 cm çapında kazık için kil birimde bulunan L=5 metre için p-y yaylarının hesabı

$c_u=80$ kPa için Tablo 3.4.'ten k_{pyc} (tekrarlı) 55 MN/m^3 ve Tablo 3.5.'ten ε_c 0.007 olarak seçilir. Şekil 3.91. kullanılarak z/b , $5/1.2=4.17$ dikkate alınarak A_c değeri 0.3 ve A_s değeri 0.6 olarak belirlenir. Kil biriminin efektif birim hacim ağırlığı 9.19 kN/m^3 'tür.

$$P_{c1} = 2 \cdot 80 \cdot 1.2 + 9.19 \cdot 1.2 \cdot 5 + 2.83 \cdot 80 \cdot 5 = 1379.14 \text{ kN/m}$$

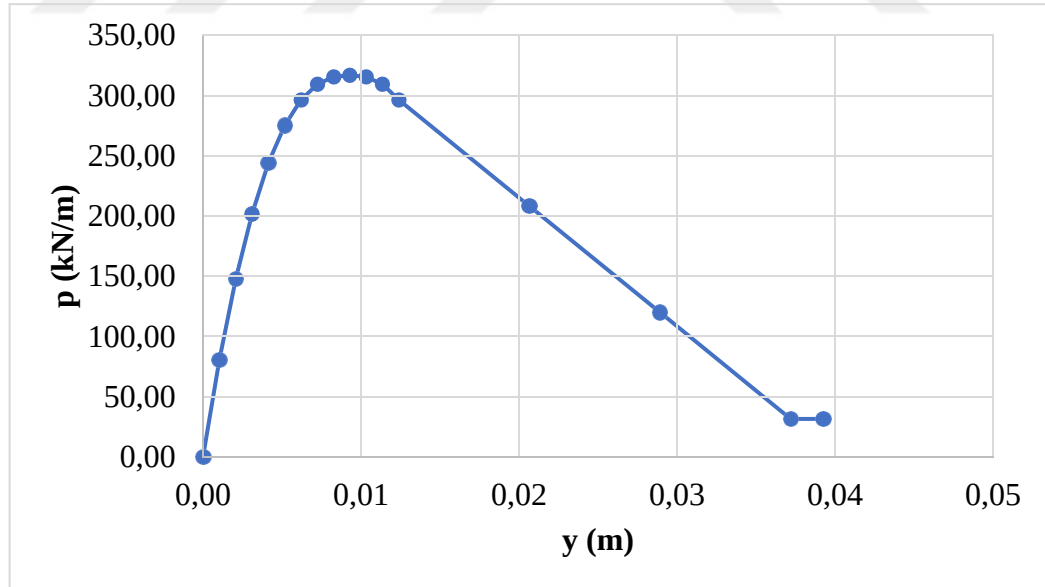
$$P_{c2} = 11 \cdot 80 \cdot 1.2 = 1056 \text{ kN/m}$$

Seçilen P_u değeri $\min(P_{c1}; P_{c2}) = 704 \text{ kN/m}$

$$y_c = 0.007 \cdot 1.2 = 0.008 \text{ m}$$

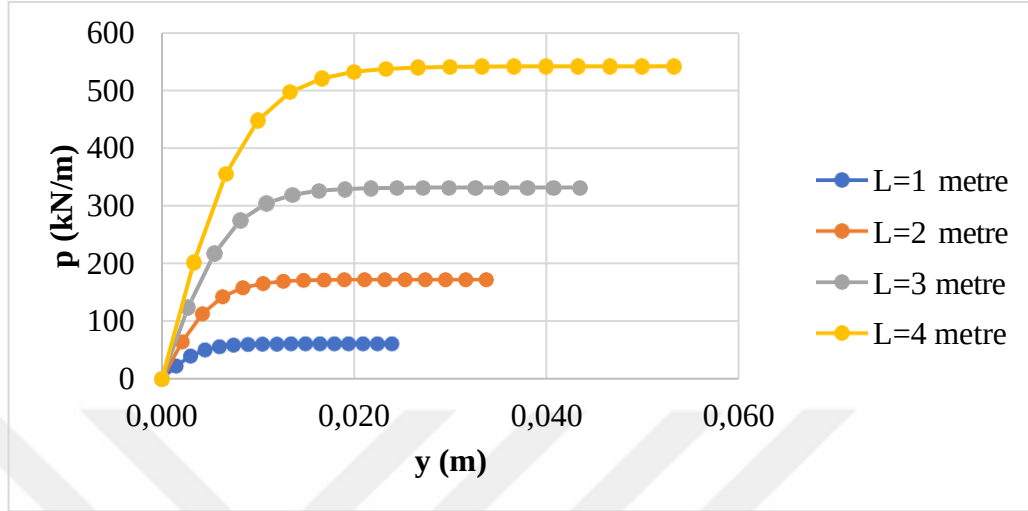
$$y_p = 4.1 \cdot 0.3 \cdot 0.006 = 0.0098 \text{ m}$$

Yukarıda verilen denklemleri kullanılarak p-y eğrisi oluşturulmuştur.

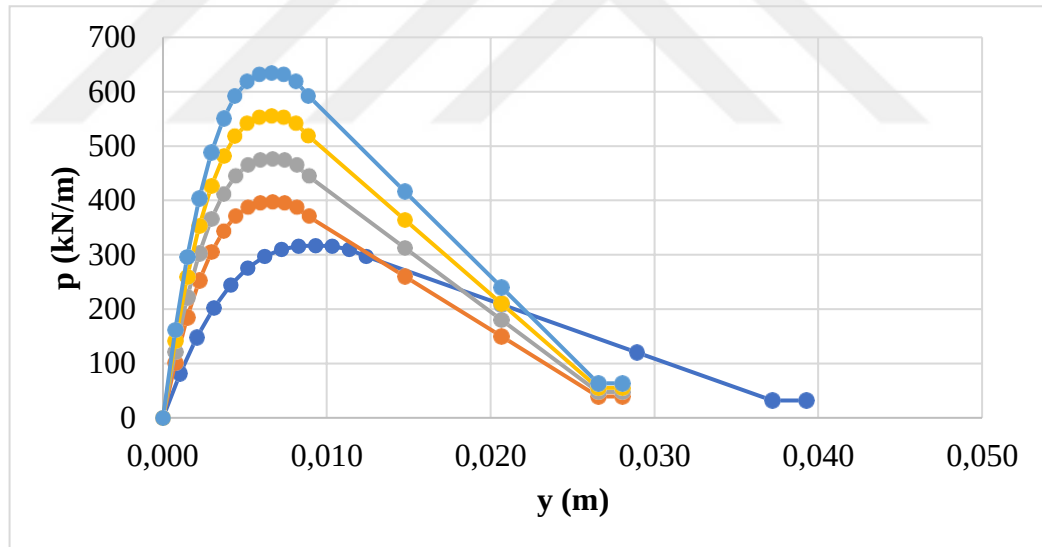


Şekil 3.93. $D=120$ cm, $L=5$ metre için p-y eğrisi.

Kum ve kil zemine ait p-y yaylarının hesaplanması sonucu elde edilen grafikler aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 3.94. Analizlerde kullanılan kum zeminlere ait p-y eğrileri (D=120 cm).



Şekil 3.95. Analizlerde kullanılan kil zeminlere ait p-y eğrileri (D=120 cm).

3.4.7. Yay özelliklerinin girilmesi

p-y ve t-z yayları, yatayda geometrisi tanımlanan çubuk yaya aşağıda grafiksel olarak gösterilen girdi ekranında tariflenen şekilde oluşturulan yay linki atanması ile girilmektedir. U1 yönünde p-y yayı, U2 yönünde t-z yayı girilmiştir.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: **Multilinear Plastic**

Property Name: **D120-1M** [Set Default Name]

Property Notes: [Modify/Show...]

P-Delta Parameters

☒ Shear Couple
☐ Equal End Moments
☐ Advanced [Modify/Show]

Total Mass and Weight

Mass: **0.** Rotational Inertia 1: **0.**
Weight: **0.** Rotational Inertia 2: **0.**
Rotational Inertia 3: **0.**

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: **100.**
Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: **10000.**

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☒	[Modify/Show for U1...]	☐ R1	☐	☐	[Modify/Show for R1...]
☒ U2	☐	☒	[Modify/Show for U2...]	☐ R2	☐	☐	[Modify/Show for R2...]
☐ U3	☐	☐	[Modify/Show for U3...]	☐ R3	☐	☐	[Modify/Show for R3...]

[Fix All] [Clear All]

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: **Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear**

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: **Initial Stiffness (K0)**

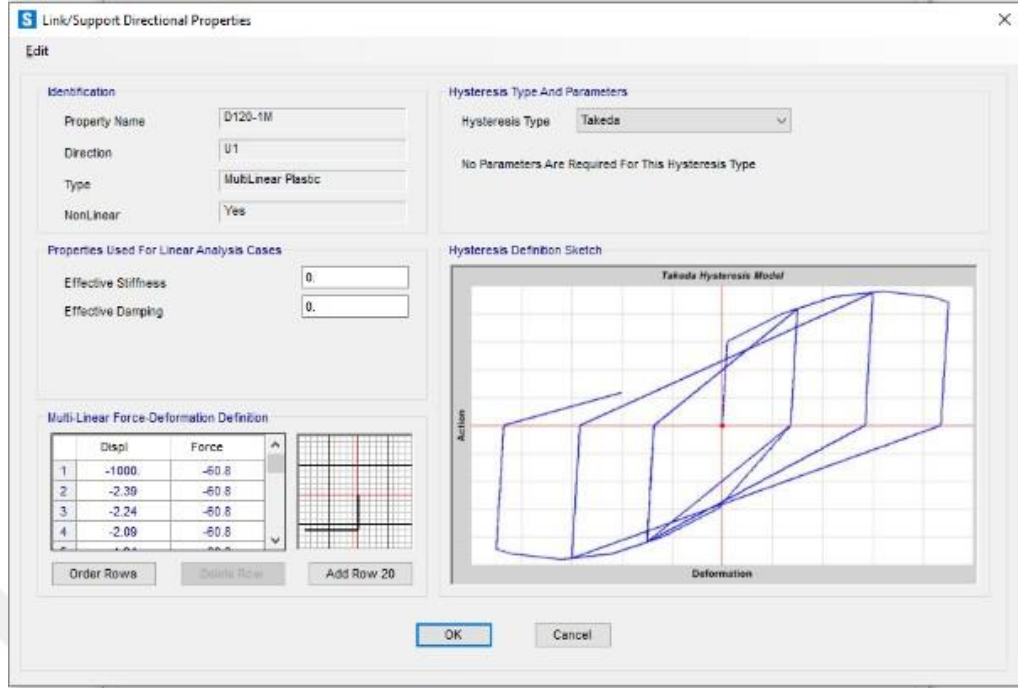
Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: **1.**

[OK] [Cancel]

Şekil 3.96. p-y ve t-z yaylarının link eleman olarak tanımlanması

3.4.7.1. P-Y yay özelliklerinin girilmesi

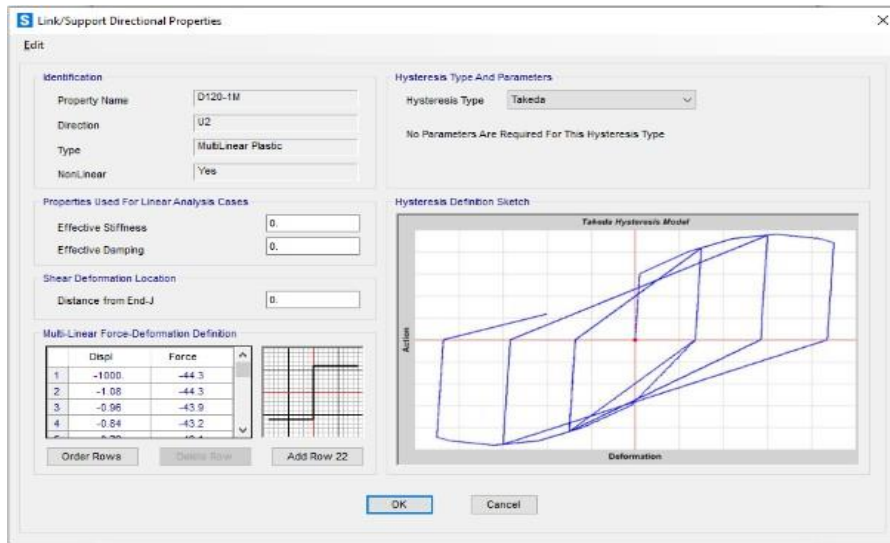
U1 yönünde girilen p-y yayı, Takeda histerisis tipi olarak '*Multilinear Plastic*' özelliklerde tanımlanmış olup yayın basınç özellikleri kuvvet deplasman şeklinde girilmiştir.



Şekil 3.97. p-y yay özelliklerinin girdi ekranı.

3.4.7.2. T-Z yay özelliklerinin girilmesi

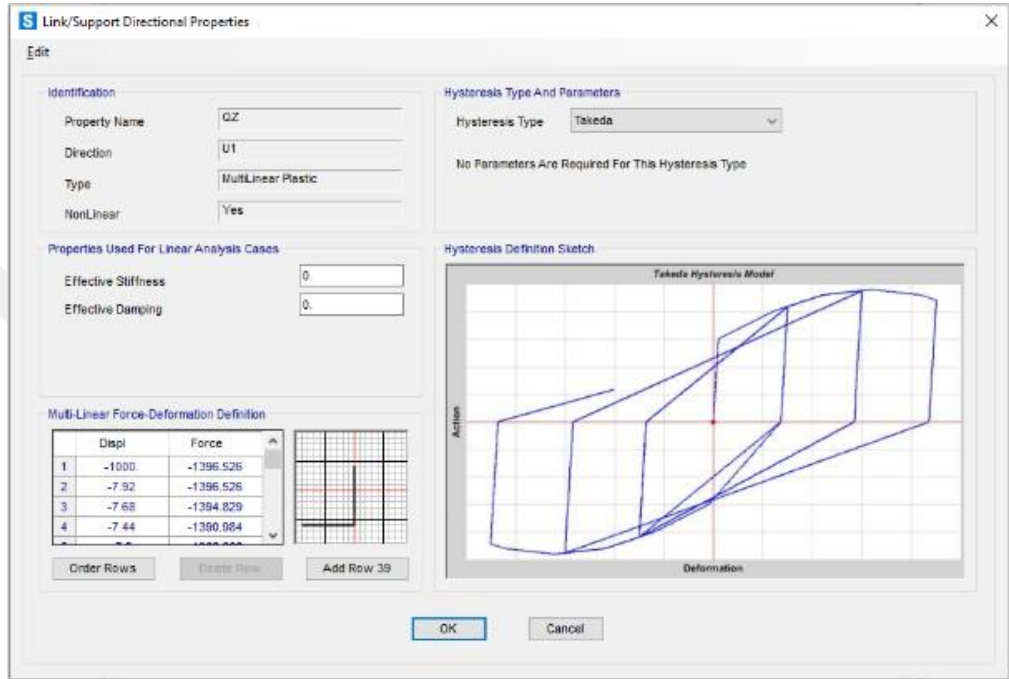
U2 yönünde girilen t-z yayı, Takeda histerisis tipi olarak '*Multilinear Plastic*' özelliklerde tanımlanmış olup yayın hem basınç hem de çekme özellikleri kuvvet deplasman şeklinde girilmiştir.



Şekil 3.98. t-z yay özelliklerinin girdi ekranı.

3.4.7.3. Q-Z yay özelliklerinin girilmesi

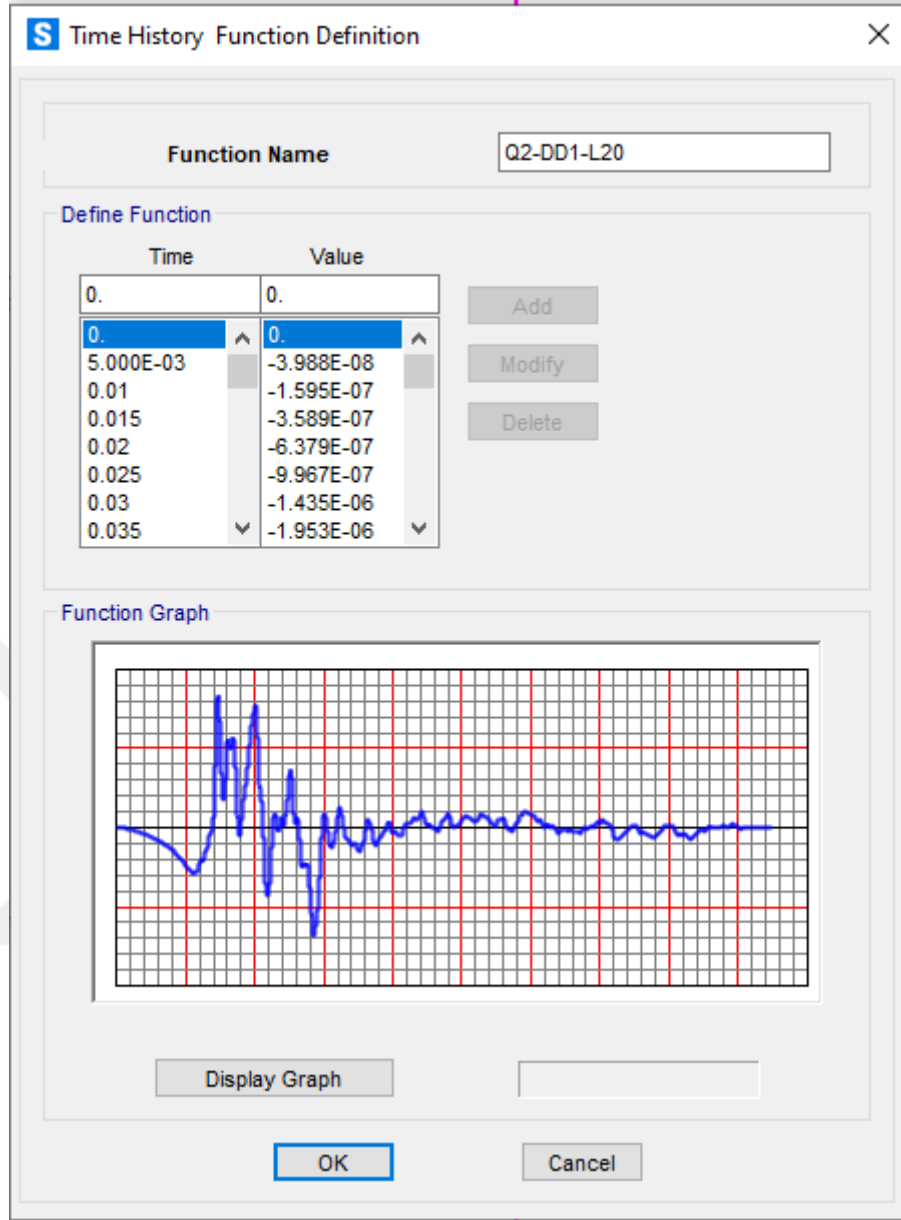
U1 yönünde girilen Q-Z yayı, Takeda histerisis tipi olarak '*Multilinear Plastic*' özelliklerde tanımlanmış olup yayın basınç özellikleri kuvvet deplasman şeklinde girilmiştir.



Şekil 3.99. Q-z yay özelliklerinin girdi ekranı.

3.4.8. Zaman tanım alanında deplasman zaman yükü girdisi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) bölüm 16C.2’de tanımlanan Yöntem II ile Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi hesabında kullanılacak olan zaman tanım alanında deplasman zaman değerleri programın fonksiyon bölümünde her bir zamana karşılık gelen deplasman değeri girilerek tanımlanmıştır. Şekil 3.100.’de, girdisi yapılmış örnek bir deplasman zaman grafiği verilmiştir. Yöntem II ve Yöntem III kıyas hesaplarında kullanılacak olan 7 adet DD1 ve 7 adet DD2 depremlerinin her biri için ve kazığın her 45 noktası için deplasman değerleri aşağıdaki gibidir. Toplamda $2 \times 7 \times 45 = 630$ adet zaman tanım alanında deplasman grafiği girdisi yapılmıştır. Bu yükler çubuğun her iki tarafında birim deplasman olarak tariflenen yükler ile çarpılarak tariflenmiştir.

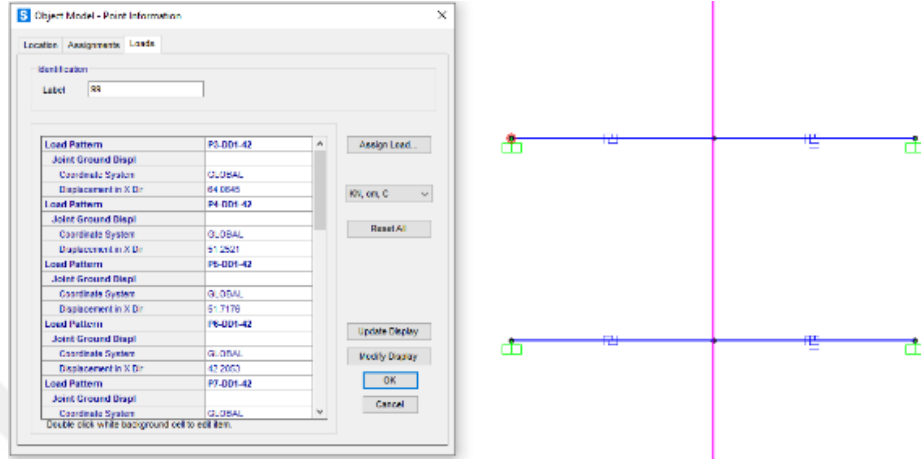


Şekil 3.100. Örnek bir deplasman-zaman grafiği girdisi.

3.4.9. Statik deplasman girdisi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) bölüm 16C.2 'de tanımlanan Yöntem III ile Yapı- Kazık-Zemin Etkileşimi hesabında kullanılacak olan statik deplasman değerleri programda çubuk eleman olarak tariflenen yayın ankastre tarafından birine statik deplasman şeklinde girişi gerçekleştirilerek tanımlanmıştır. Şekil 3.101.'de, girdisi yapılmış örnek bir statik deplasman yük girdisi grafiği gösterilmiştir. Yöntem II ve

Yöntem III kıyas hesaplarında kullanılacak olan 7 adet DD1 ve 7 adet DD2 depremlerinin her biri için ve kazığın her 45 noktası için deplasman değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir. Toplamda $2 \times 7 \times 45 = 630$ adet deplasman veri girdisi yapılmıştır.



Şekil 3.101. Statik deplasman girdisi.

3.4.10. Zaman tanım alanında deplasman zaman yükü girdilerinin birleştirilmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) bölüm 16C.2’de tanımlanan Yöntem II ile Yapı- Kazık-Zemin Etkileşimi hesabında kullanılacak olan zaman tanım alanında deplasman zaman değerleri programın fonksiyon bölümünde her bir zamana karşılık gelen deplasman değeri girilerek tanımlanmıştır. Bu değerler kazığın tüm 45 noktası için ayrı ayrı girilmiş olup her bir durum ayrık olarak tanımlanmıştır. Programın ‘Load Case’ kısmında aynı depreme ait 45 adet deplasman zaman yükü tek bir ‘case’ de birleştirilerek analiz sonuçlarının okunabilmesi sağlanmıştır. DD1 ve DD2 depremleri için verilen toplam 14 adet yük girdisi bu şekilde 14 ayrı ‘case’ de birleştirilmiştir (Şekil 3.102., Şekil 3.103.).

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name
01-TH-DD1-IMPVALL

Initial Conditions
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Modal Load Case
Use Modes from Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Q1	Q1-DD1-L1	1.
Load Pattern	Q2	Q1-DD1-L2	1.
Load Pattern	Q3	Q1-DD1-L3	1.
Load Pattern	Q4	Q1-DD1-L4	1.
Load Pattern	Q5	Q1-DD1-L5	1.
Load Pattern	Q6	Q1-DD1-L6	1.

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data
 Number of Output Time Steps: 6400
 Output Time Step Size: 0.01

Other Parameters
 Damping: None
 Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor
 Nonlinear Parameters: User Defined

Load Case Type
Time History

Analysis Type
☐ Linear
☒ Nonlinear

Solution Type
☐ Modal
☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters
☒ None
☐ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

History Type
☒ Transient
☐ Periodic

Mass Source
Previous

Buttons: Set Def Name, Modify/Show..., Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Şekil 3.102. Örnek bir ‘Load Case’ girdisi.

Define Load Cases

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
01-TH-DD1-IMPVALL	Nonlinear Direct Integration Histor
02-TH-DD1-HECTOR	Nonlinear Direct Integration Histor
03-TH-DD1-CHICHI	Nonlinear Direct Integration Histor
04-TH-DD1-CAPEMEND	Nonlinear Direct Integration Histor
05-TH-DD1-CHUETSU	Nonlinear Direct Integration Histor
06-TH-DD1-IVATE	Nonlinear Direct Integration Histor
07-TH-DD1-DARFIELD	Nonlinear Direct Integration Histor
08-TH-DD2-IMPVALL	Nonlinear Direct Integration Histor
09-TH-DD2-HECTOR	Nonlinear Direct Integration Histor
10-TH-DD2-CHICHI	Nonlinear Direct Integration Histor
11-TH-DD2-CAPEMEND	Nonlinear Direct Integration Histor
12-TH-DD2-CHUETSU	Nonlinear Direct Integration Histor
13-TH-DD2-IVATE	Nonlinear Direct Integration Histor

Click to:
 Add New Load Case...
 Add Copy of Load Case...
 Modify/Show Load Case...
 Delete Load Case

Display Load Cases
 Show Load Case Tree...

Buttons: OK, Cancel

Şekil 3.103. Tüm ‘Load Case’ler.

3.4.11. Statik deplasman girdilerinin birleştirilmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) bölüm 16C.2 ‘de tanımlanan Yöntem III ile Yapı- Kazık-Zemin Etkileşimi hesabında kullanılacak olan statik deplasman değerleri

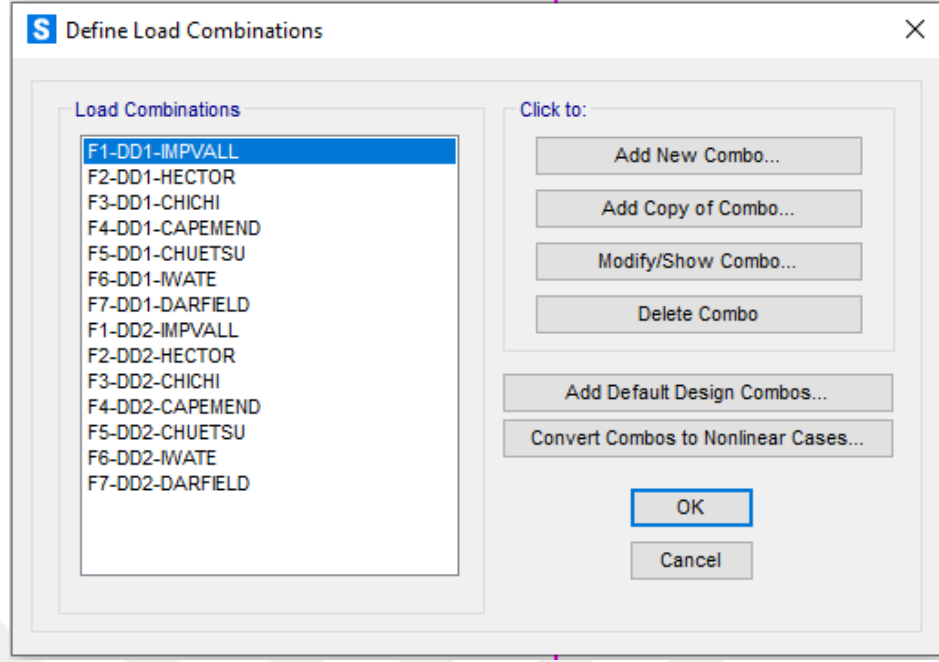
programda çubuk eleman olarak tanımlanan yayın ankastre tarafından birine statik deplasman şeklinde girişi gerçekleştirilerek tanımlanmıştır. Bu deplasman yükleri münferit olarak yüklenmiştir. Programın ‘Load Pattern’ kısmında aynı depreme ait 45 adet deplasman yükü tek bir kombinasyonda birleştirilerek analiz sonuçlarının okunabilmesi sağlanmıştır. DD1 ve DD2 depremleri için verilen toplam 14 adet yük girdisi bu şekilde 14 ayrı kombinasyonda birleştirilmiştir (Şekil 3.104., Şekil 3.105., Şekil 3.106.).

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
P3-DD1-01	Other	0	
P3-DD1-02	Other	0	
P3-DD1-03	Other	0	
P3-DD1-04	Other	0	
P3-DD1-05	Other	0	
P3-DD1-06	Other	0	
P3-DD1-07	Other	0	
P3-DD1-08	Other	0	
P3-DD1-09	Other	0	
P3-DD1-10	Other	0	
P3-DD1-11	Other	0	

Şekil 3.104. Örnek bir ‘Load Pattern’ girdisi.

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
P1-DD1-01	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-01	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-02	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-03	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-04	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-05	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-06	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-07	Nonlinear Static		1.
P1-DD1-08	Nonlinear Static		1.

Şekil 3.105. Örnek bir kombinasyon girdisi.



Şekil 3.106. Tüm kombinasyonlar.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışması kapsamında TBDY 2018’de önerilen kazıkların dinamik yükler altındaki kinematik etkileşim analizleri gerçekleştirilmiştir. TBDY 2018’de yer alan Yöntem II ve Yöntem III ile yapılan analizler karşılaştırılmıştır. Analizlerde 7 farklı deprem verisi kullanılmış olup, her depremin DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için verileri dikkate alınmıştır. Bu bölümde yapılan analizler ele alınarak elde edilen araştırma bulguları sunulmaktadır.

4.1. Analiz Programı

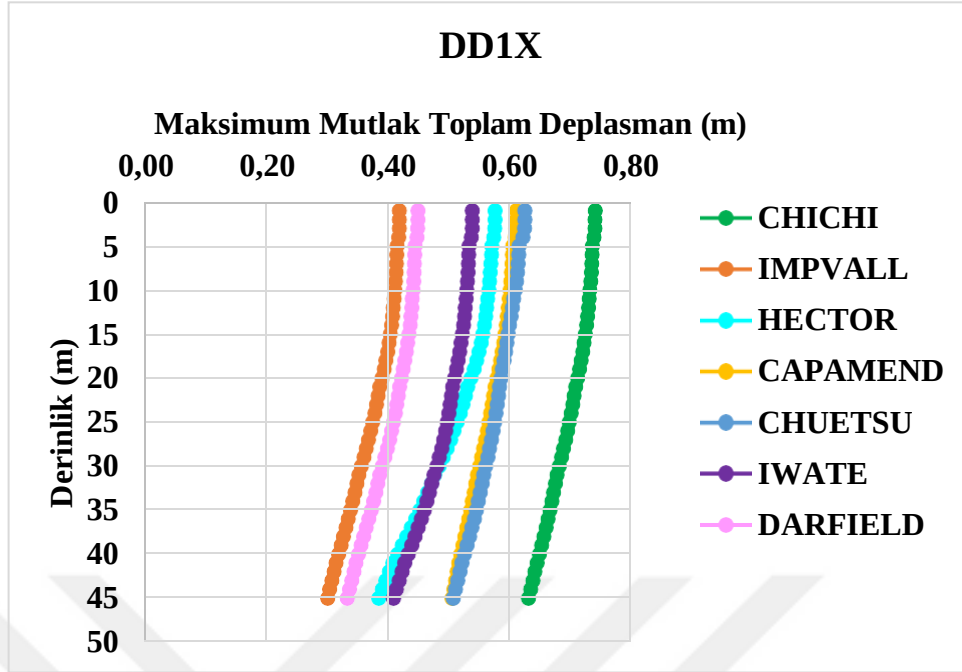
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada DeepSoil programı yardımıyla 7 farklı deprem için DD1 ve DD2 düzeylerinde zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiş olup, daha sonra Sap2000 programı ile kazık elemanın dinamik yükler altındaki etkisi irdelenmiştir. Yapılan analizler Çizelge 4.1’de özetlenmektedir. Analizler deplasman yöntemi ve zaman tanım alanında (TH-Time History) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu durumda her bir deprem için 4 analiz yapılmıştır. Toplamda 28 analiz gerçekleştirilmiştir. DeepSoil ve Sap2000 analiz sonuçları diğer alt başlıklarda sunulacaktır.

Tablo 4.1. Seçilen deprem yer hareketleri ve analizler

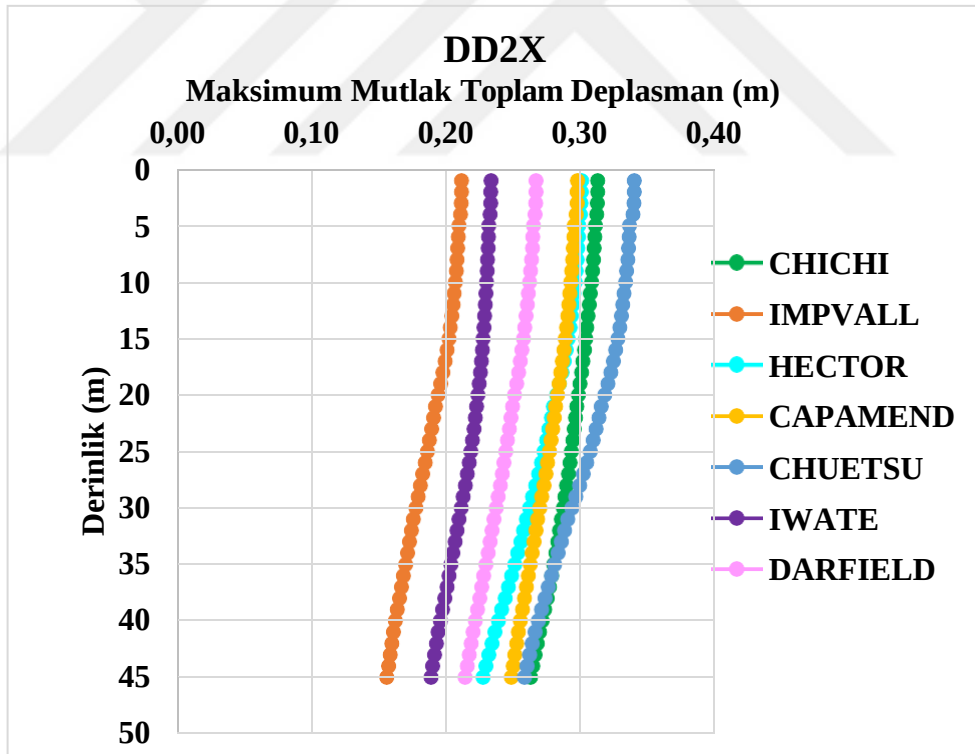
Analiz Adı	Analiz Türü	Deprem Adı	Deprem Düzeyi
Analiz 1	Deplasman	Iwate, Japan, 2008	DD1
Analiz 2	Deplasman	Iwate, Japan, 2008	DD2
Analiz 3	TH (Time History)	Iwate, Japan, 2008	DD1
Analiz 4	TH (Time History)	Iwate, Japan, 2008	DD2
Analiz 5	Deplasman	Cape Mendocino, 1992	DD1
Analiz 6	Deplasman	Cape Mendocino, 1992	DD2
Analiz 7	TH (Time History)	Cape Mendocino, 1992	DD1
Analiz 8	TH (Time History)	Cape Mendocino, 1992	DD2
Analiz 9	Deplasman	HectorMine, 1999	DD1
Analiz 10	Deplasman	HectorMine, 1999	DD2
Analiz 11	TH (Time History)	HectorMine, 1999	DD1
Analiz 12	TH (Time History)	HectorMine, 1999	DD2
Analiz 13	Deplasman	Chuetsu-oki, ,Japan, 2007	DD1
Analiz 14	Deplasman	Chuetsu-oki, ,Japan, 2007	DD2
Analiz 15	TH (Time History)	Chuetsu-oki, ,Japan, 2007	DD1
Analiz 16	TH (Time History)	Chuetsu-oki, ,Japan, 2007	DD2
Analiz 17	Deplasman	Darfield, NewZealand, 2010	DD1
Analiz 18	Deplasman	Darfield, NewZealand, 2010	DD2
Analiz 19	TH (Time History)	Darfield, NewZealand, 2010	DD1
Analiz 20	TH (Time History)	Darfield, NewZealand, 2010	DD2
Analiz 21	Deplasman	Imperial Valley-06, 1979	DD1
Analiz 22	Deplasman	Imperial Valley-06, 1979	DD2
Analiz 23	TH (Time History)	Imperial Valley-06, 1979	DD1
Analiz 24	TH (Time History)	Imperial Valley-06, 1979	DD2
Analiz 25	Deplasman	Chi-Chi, Taiwan-03,1999	DD1
Analiz 26	Deplasman	Chi-Chi, Taiwan-03,1999	DD2
Analiz 27	TH (Time History)	Chi-Chi, Taiwan-03,1999	DD1
Analiz 28	TH (Time History)	Chi-Chi, Taiwan-03,1999	DD2

4.2. DeepSoil Analiz Sonuçları

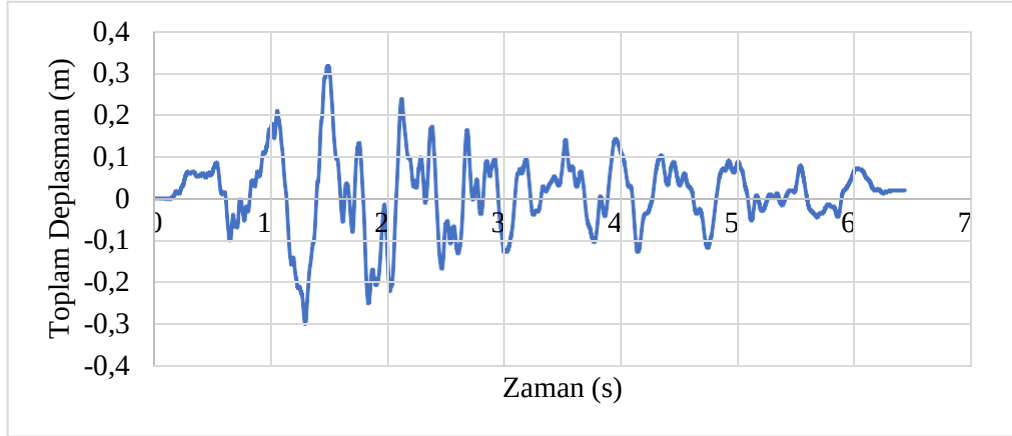
Analiz çalışmalarının birinci aşamasında DeepSoil analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan DeepSoil analizlerinde 7 farklı deprem için DD1 ve DD2 deprem düzeylerinde zemin tepki analizleri yapılmış olup, analizlerden deplasman yöntemi ve zaman tanım alanı (TH-Time History) durumları için sonuçlar elde edilmiştir. Deplasman yöntemi ile yapılan DD1 analiz sonuçları Şekil 4.1.'de, DD2 analiz sonuçları ise Şekil 4.2.'de sunulmaktadır. TH analizlerinde her 1 metrede bir analiz gerçekleştirilmiş olup, Imperial Valley depremi için 1. metrede elde edilen tipik toplam deplasman-zaman grafiği DD1 için Şekil 4.3.'de, DD2 için Şekil 4.4.'de sunulmaktadır. Her tabaka için değişim grafikleri elde edilmiş olup, dataların fazla olmasından dolayı diğer sonuçlar tez ekinde CD ile sunulmaktadır.



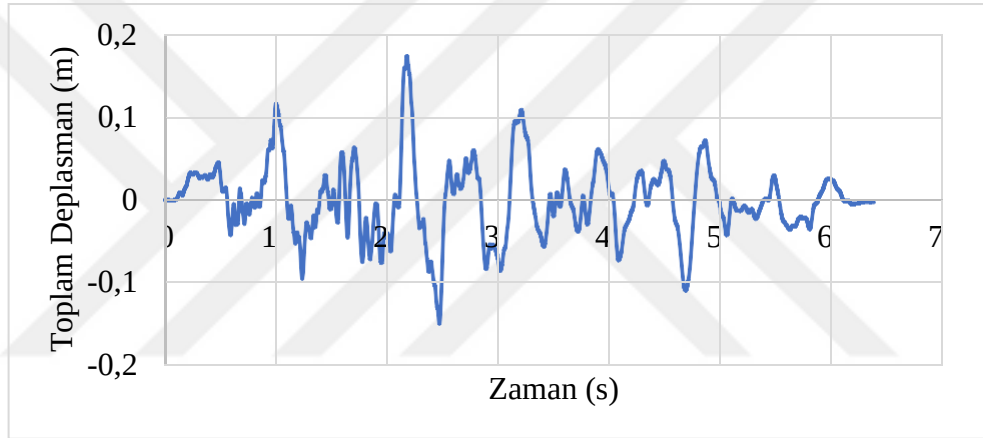
Şekil 4.1. DD2 deprem düzeyi için elde edilen toplam deplasman – derinlik ilişkisi.



Şekil 4.2. DD2 deprem düzeyi için elde edilen toplam deplasman – derinlik ilişkisi.



Şekil 4.3. DD1 deprem düzeyi için elde edilen TH toplam deplasman – zaman ilişkisi (1. metre).



Şekil 4.4. DD2 deprem düzeyi için elde edilen TH toplam deplasman – zaman ilişkisi (1. metre).

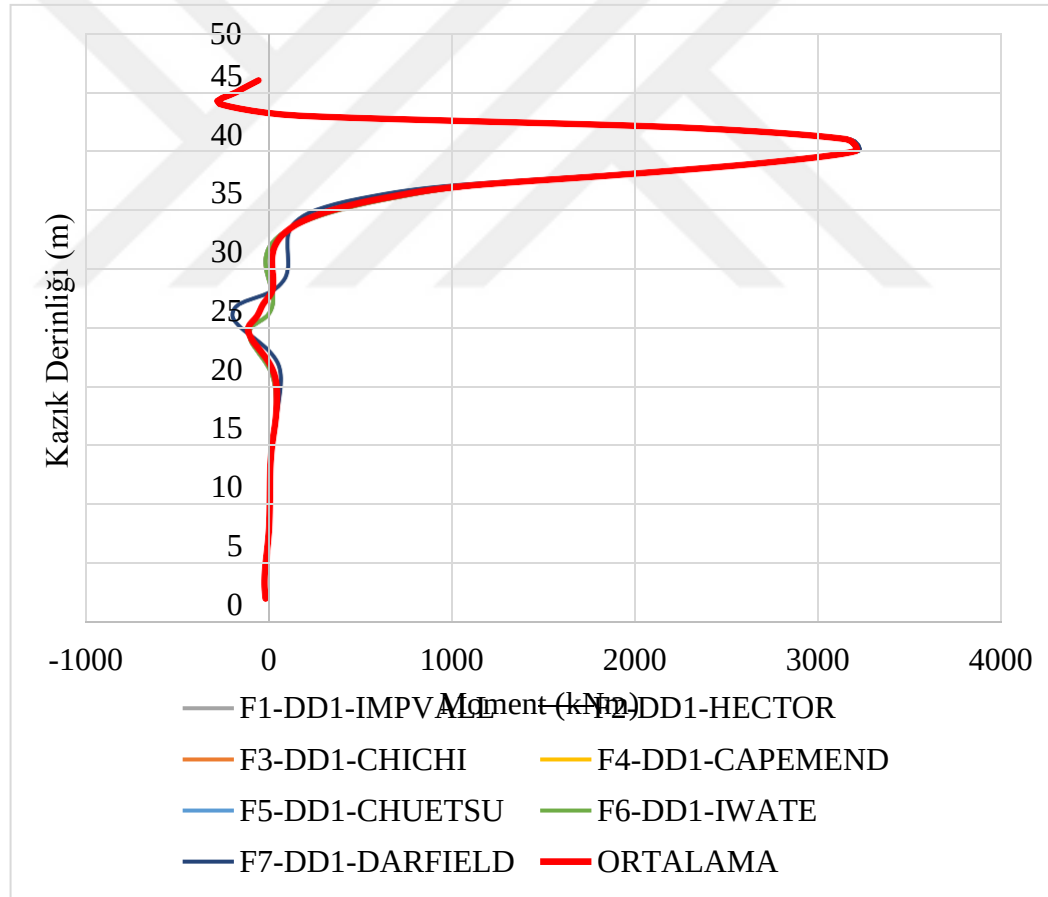
4.3. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

DeepSoil programı yardımıyla yapılan analizlerden elde edilen deplasmanlar ve zaman tanım alanındaki deplasmanlar Sap2000 paket programı ile analiz edilmiştir. 7 farklı deprem ve 2 deprem düzeyi için gerçekleştirilen analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmektedir.

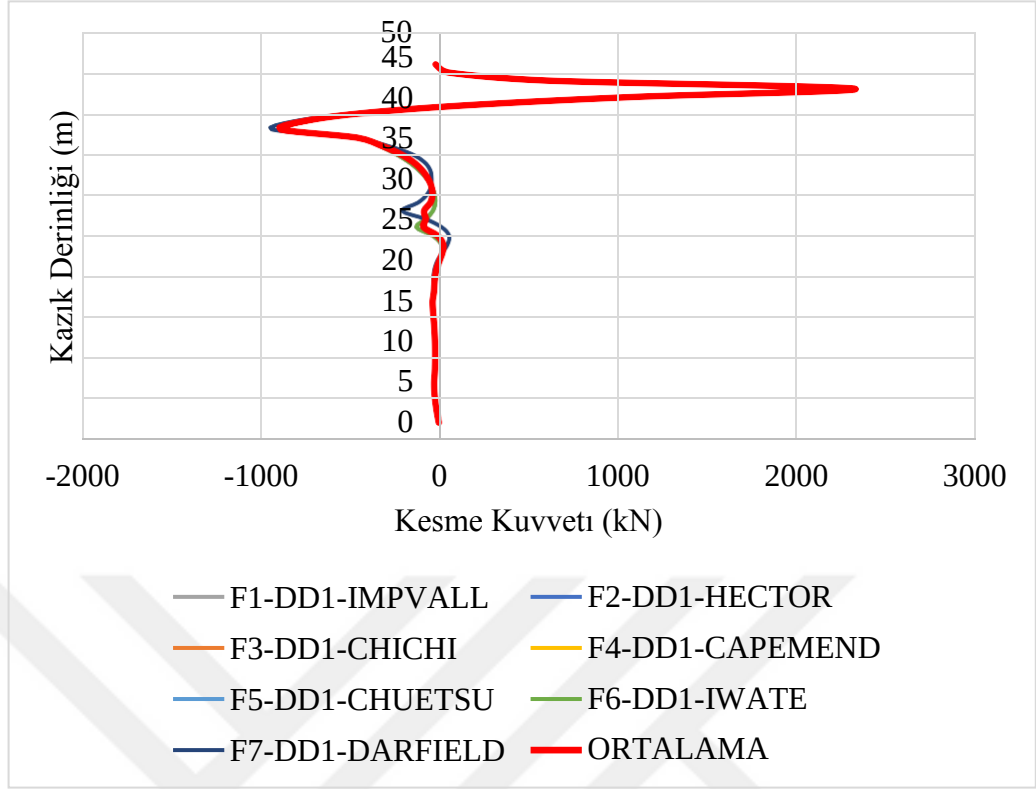
4.3.1. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçlar

Sap2000 sonlu elemanlar programı ile deplasman yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde DD1 deprem düzeyi için elde edilen kazık boyu-moment kapasitesi

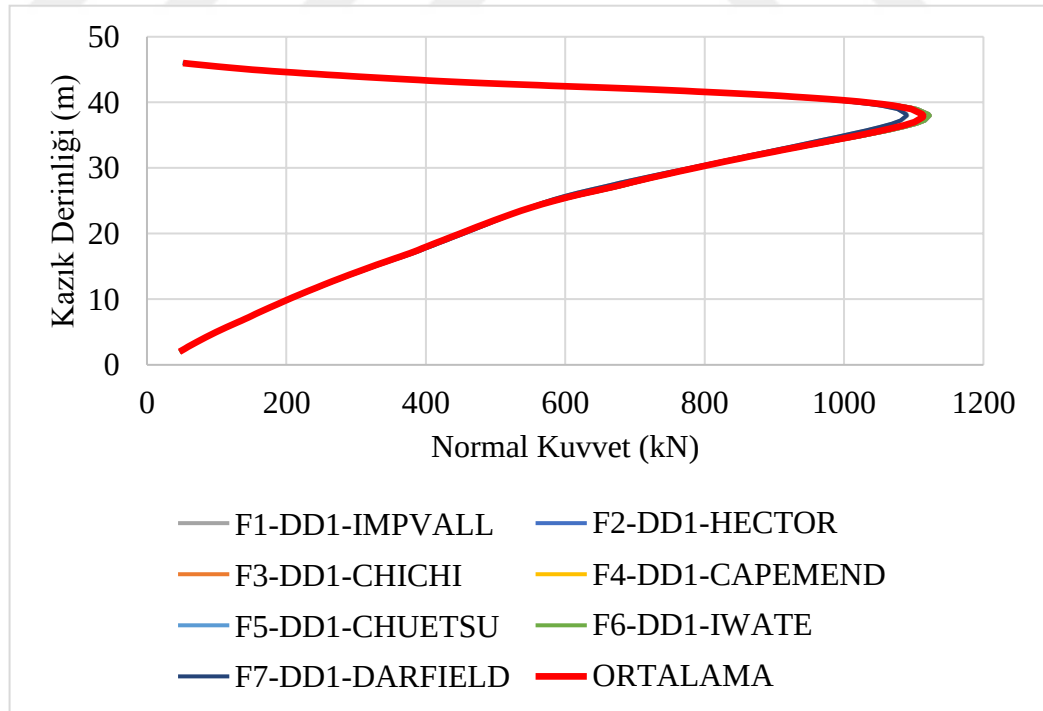
değişimi Şekil 4.5.'te, kazık boyu-kesme kuvveti değişimi Şekil 4.6.'da ve kazık boyu-normal kuvvet değişimi ise Şekil 4.7.'de sunulmaktadır. DD2 deprem düzeyi için kazık boyunun değişimine göre moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.8., 4.9. ve 4.10.'da sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kazık elemanın üst bölgelerinde oluşan kuvvetler, kazık derinliği ile birlikte artış göstermektedir. Bu artışlar DD1 ve DD2 deprem düzeylerinin her ikisinde de benzer davranış göstermektedir. Bu durumda kazığın daha derin olduğu bölgelerdeki zeminin mukavemetinin artmasıyla birlikte kazık alt kısımlarda depremden kaynaklı zeminde oluşan deformasyonlar azalmaktadır. Buna bağlı olarak üst bölgede meydana gelen büyük deformasyonlar, kazığın alt kotlarının bir mesnet gibi çalışmasına ve dolayısıyla kazığa etkiyen kuvvetlerin artışına neden olmaktadır.



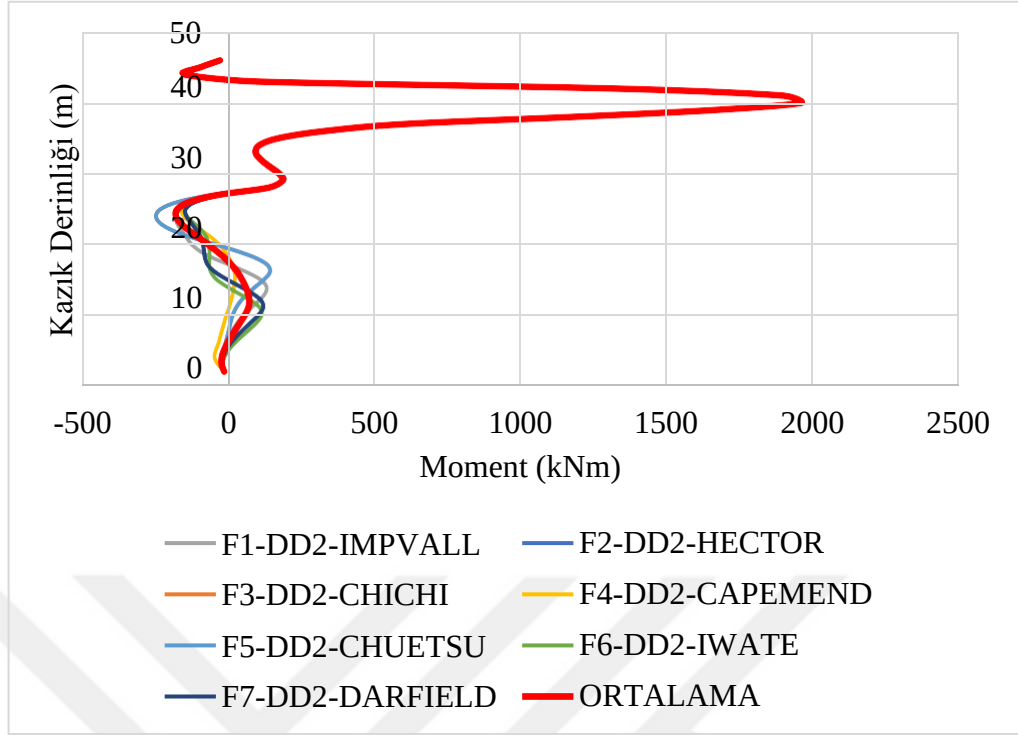
Şekil 4.5. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi.



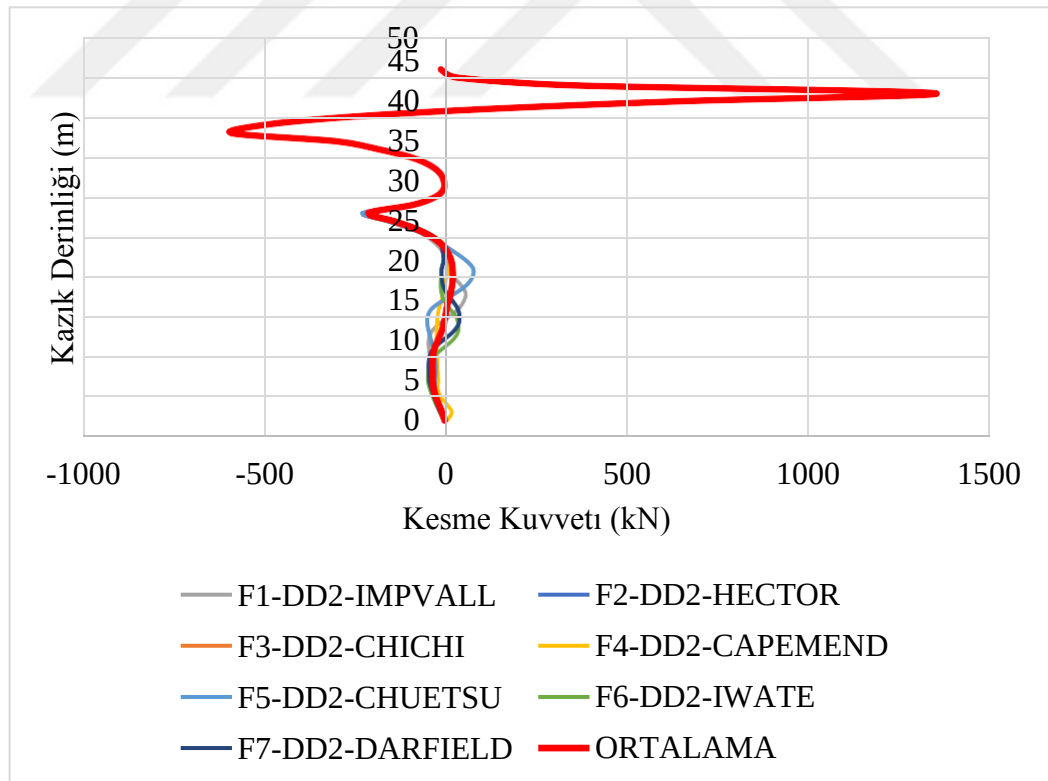
Şekil 4.6. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi.



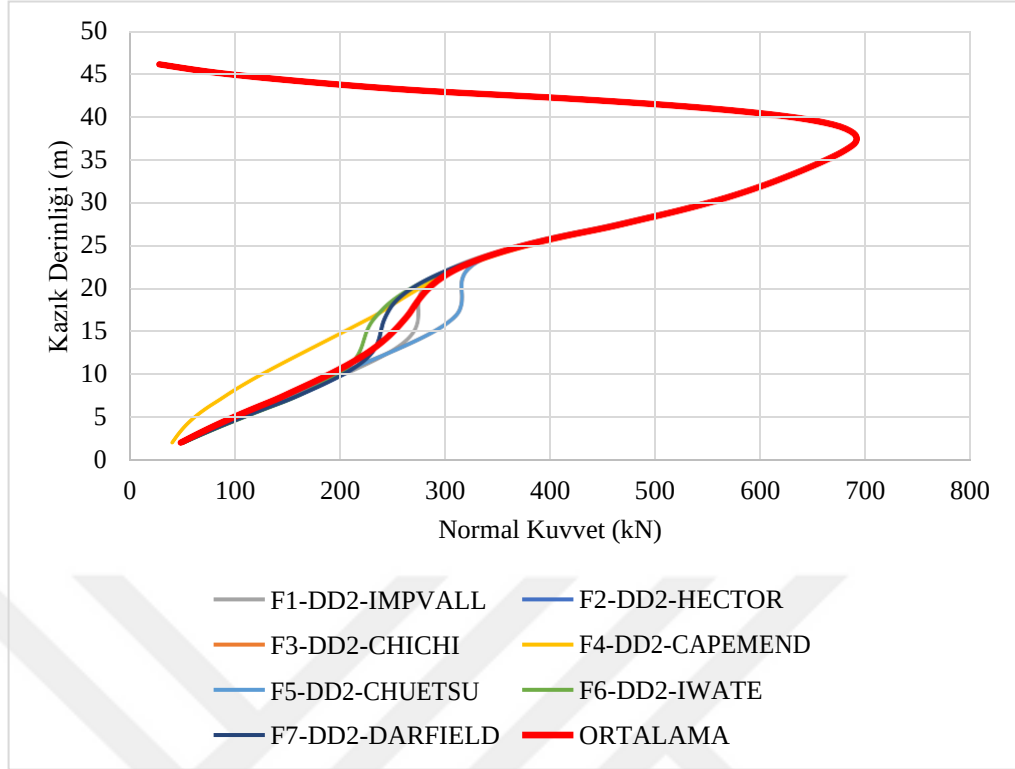
Şekil 4.7. DD1 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi.



Şekil 4.8. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi.



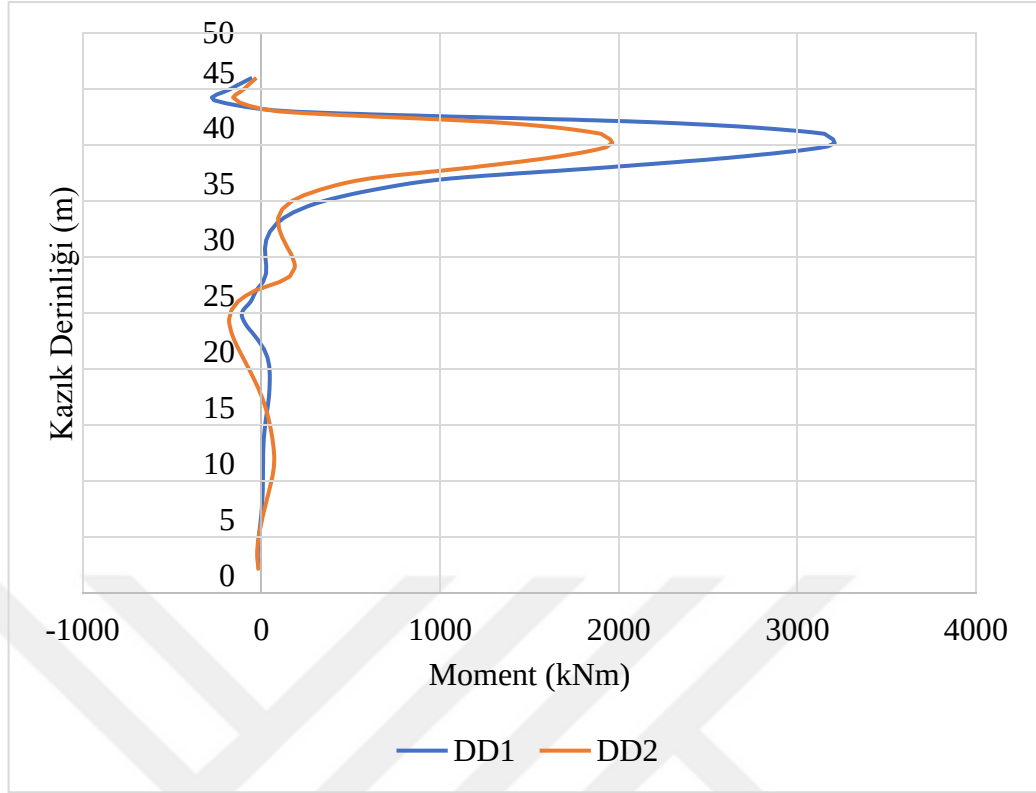
Şekil 4.9. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi.



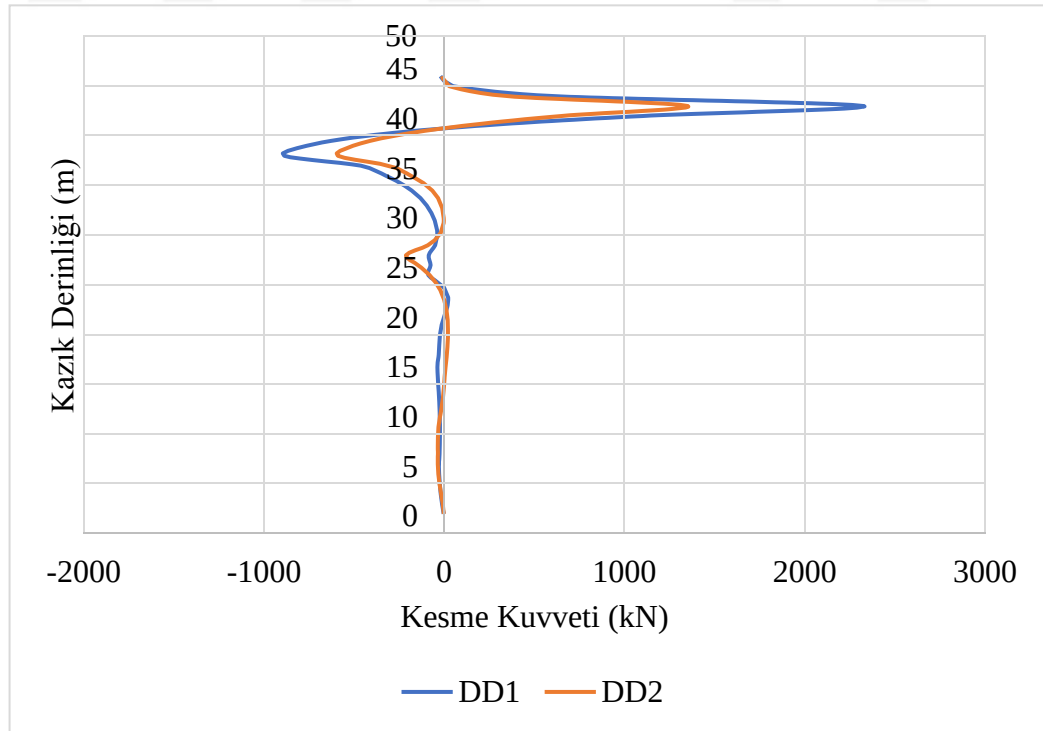
Şekil 4.10. DD2 deprem düzeyi için deplasman yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi.

4.3.2. Deplasman yönteminde deprem düzeyinin etkisi

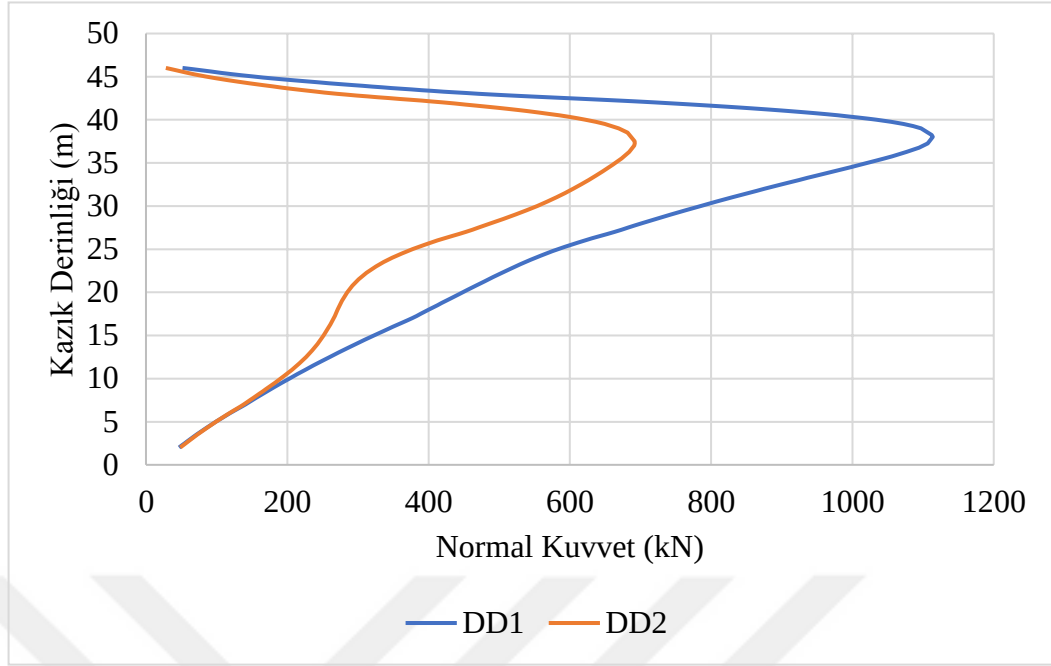
DeepSoil programı ile yapılan analizlerden elde edilen deplasmanlar kullanılarak yapılan analizlerde DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için elde edilen sonuçlar kendi içinde karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında DD1 düzeyinde oluşan moment değerleri, DD2 düzeyine göre yaklaşık 1,63 kat mertebede fazla elde edilmiştir (Şekil 4.11.). Bu durum kesme kuvveti için 1,7 kat (Şekil 4.12.) ve normal kuvvet yönünden ise 1,6 kat olarak elde edilmiştir (Şekil 4.13.). Tasarımda deprem düzeyi ile ilgili yapılacak kabuller tasarımı doğrudan etkilemektedir. Ayrıca 7 farklı deprem verisi için deplasman yöntemi için elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın elde edilmiştir. Bu durum da Yöntem III yani deplasman yönteminde seçilen depremin önemli bir etki oluşturmadığını göstermektedir.



Şekil 4.11. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için moment değişimi yönünden karşılaştırılması.



Şekil 4.12. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için kesme kuvveti değişimi yönünden karşılaştırılması.

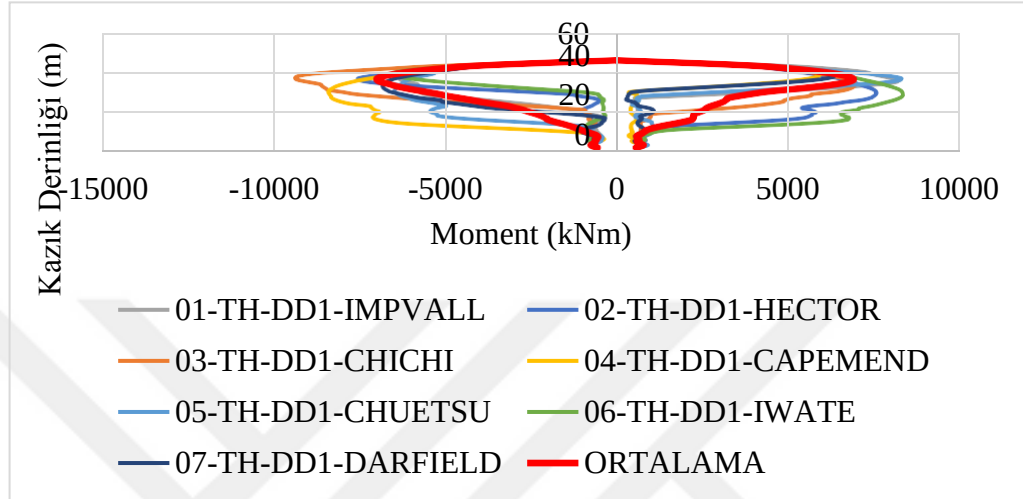


Şekil 4.13. Deplasman yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için normal kuvvet değişimi yönünden karşılaştırılması

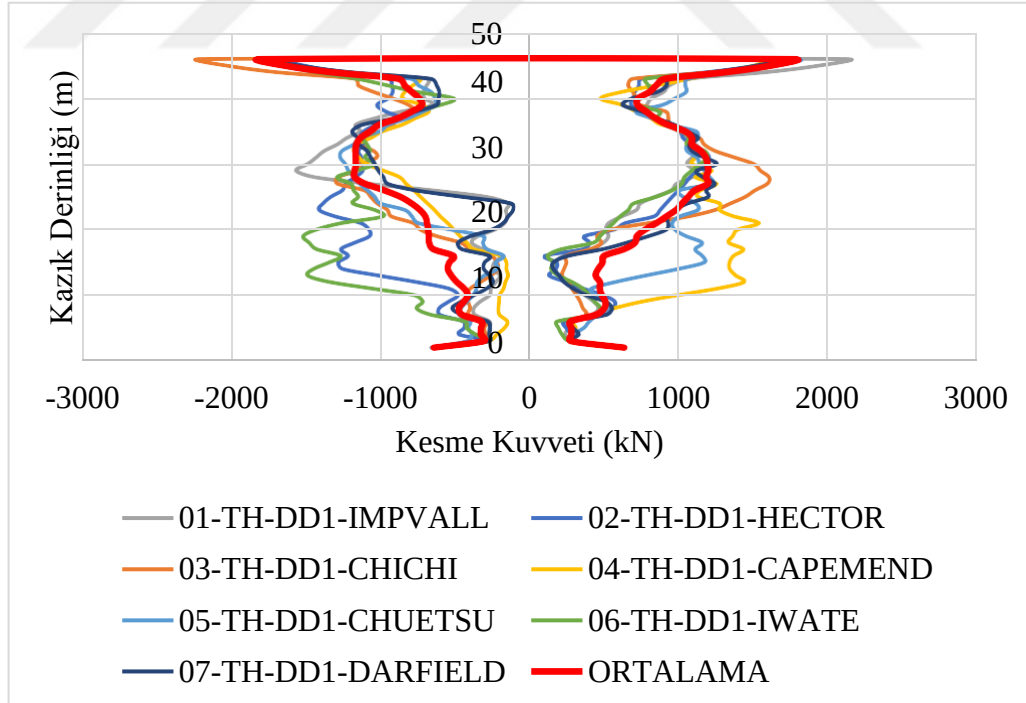
4.3.3. TH (Time History) yöntemi ile elde edilen sonuçlar

Sap2000 sonlu elemanlar programı ile TH yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde DD1 deprem düzeyi için elde edilen kazık boyu-moment kapasitesi değişimi Şekil 4.14.'de, kazık boyu-kesme kuvveti değişimi Şekil 4.15.'te ve kazık boyu-normal kuvvet değişimi ise Şekil 4.16.'da sunulmaktadır. DD2 deprem düzeyi için kazık boyunun değişimine göre moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19.'da sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde deplasman yöntemine benzer olarak kazık elemanın üst bölgelerinde oluşan kuvvetler, kazık derinliği ile birlikte artış göstermektedir. Bu artışlar DD1 ve DD2 deprem düzeylerinin her ikisinde de benzer davranış göstermektedir. Bu durumda kazığın daha derin olduğu bölgelerdeki zeminin mukavemetinin artmasıyla birlikte kazık alt kısımlarda depremden kaynaklı zeminde oluşan deformasyonlar azalmaktadır. Buna bağlı olarak üst bölgede meydana gelen büyük deformasyonlar, kazığın alt kotlarının bir mesnet gibi çalışmasına ve dolayısıyla kazığa etkiyen kuvvetlerin artışına neden olmaktadır. Ancak deplasman yönteminde seçilen deprem kayıtlarının sonuçlara önemli bir etkisi söz konusu değilken, TH

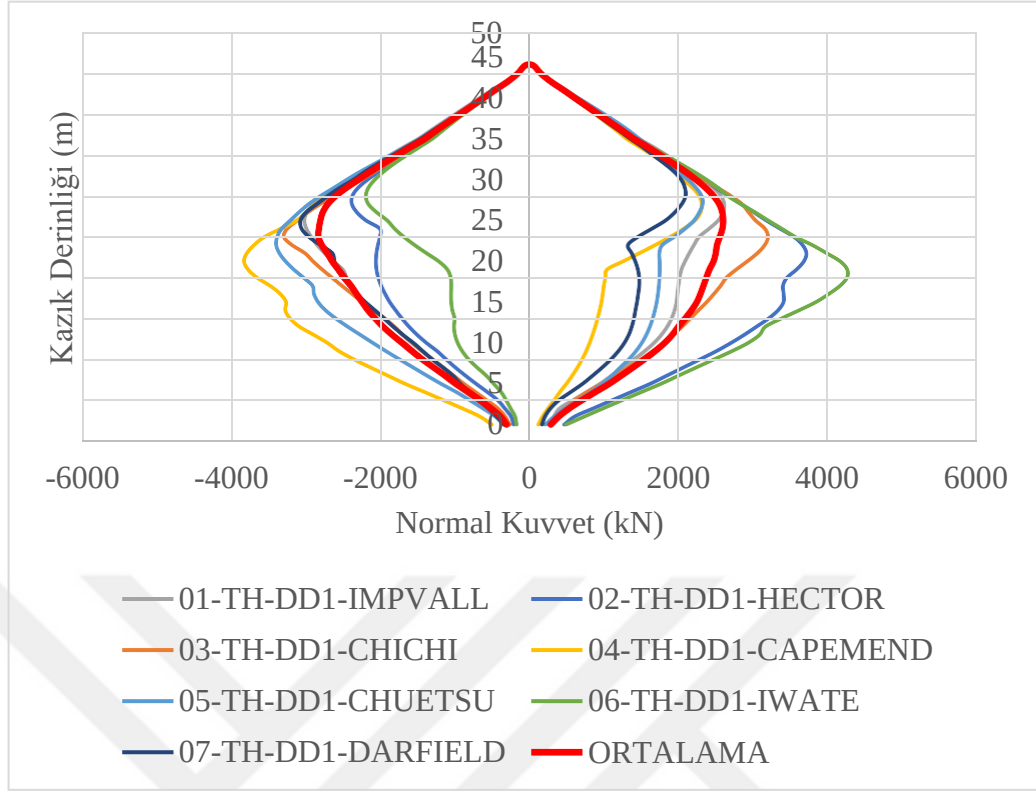
yönteminde seçilen depreminde sonuçları doğrudan etkilediği görülmektedir. Örneğin DD1 düzeyinde moment açısından en büyük tesirler Chichi Depreminde oluşurken en az etki Iwate Depreminde meydana gelmiştir. Bu farklılık deplasman yönteminde görülmemektedir.



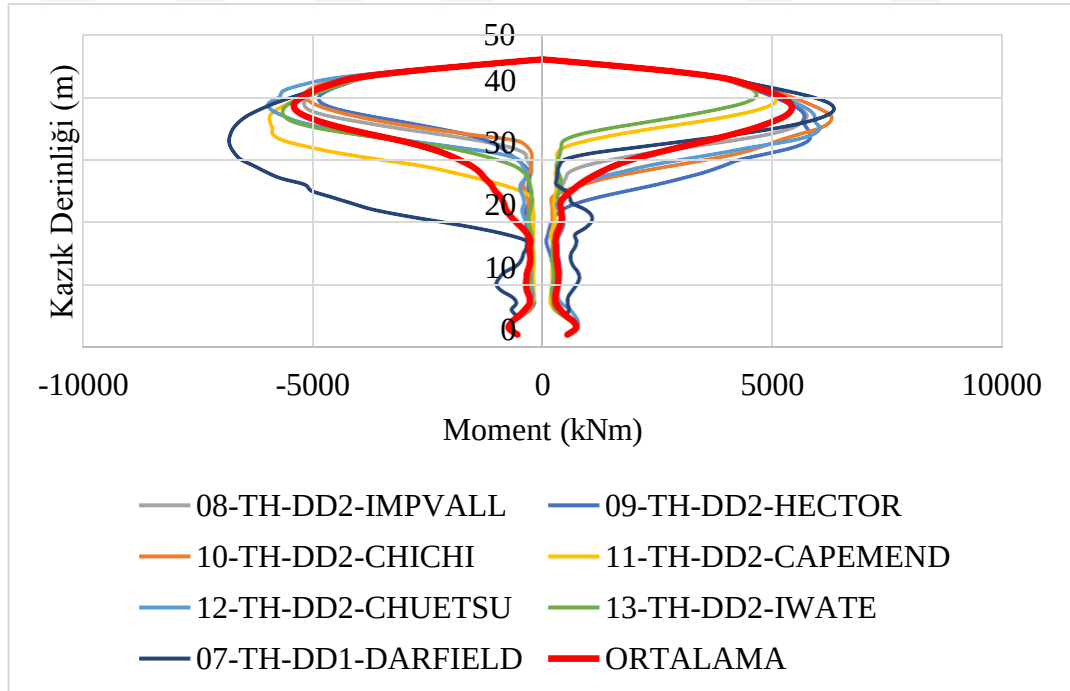
Şekil 4.14. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi.



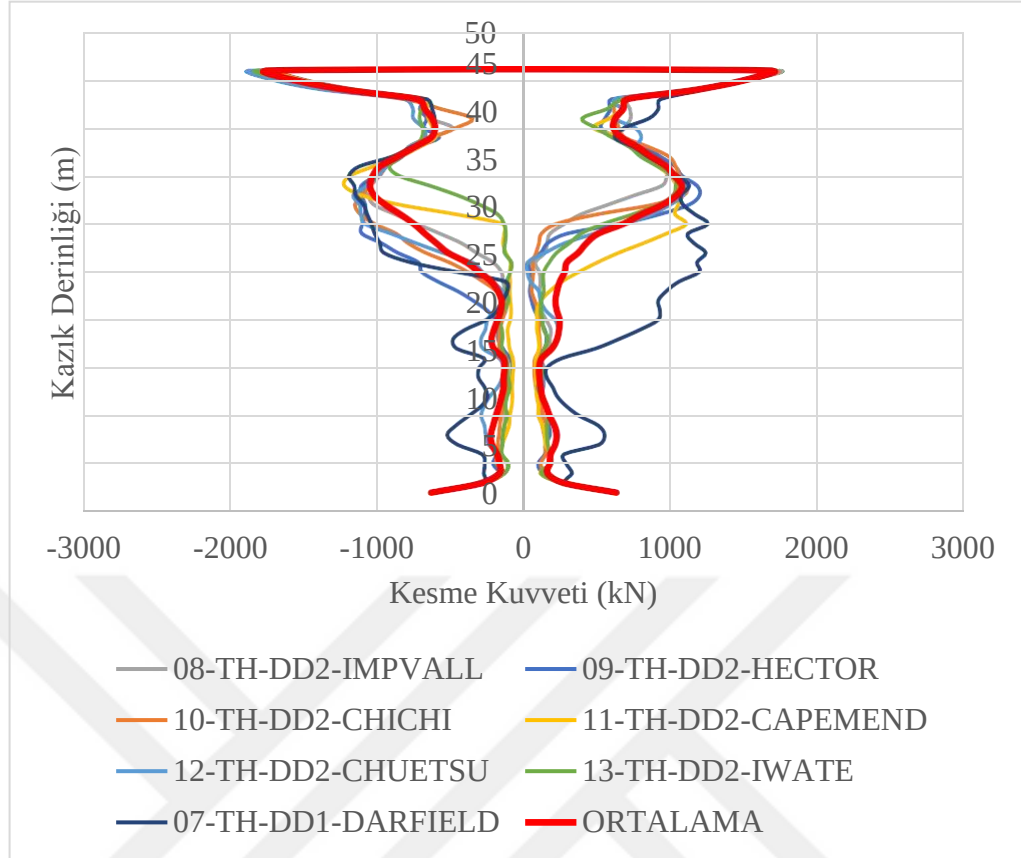
Şekil 4.15. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi.



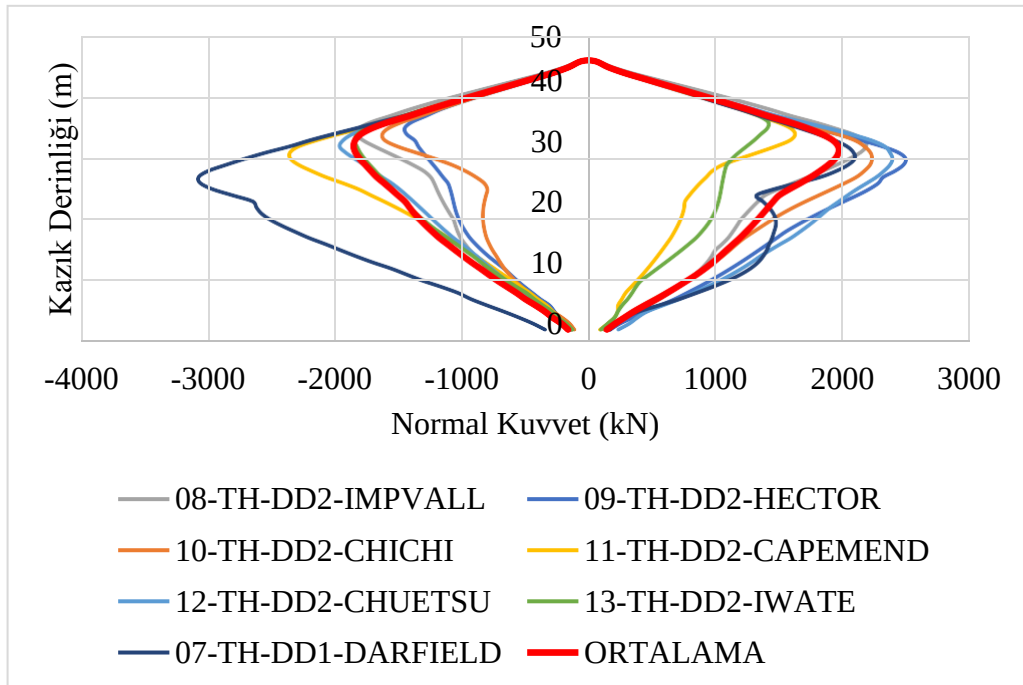
Şekil 4.16. DD1 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi.



Şekil 4.17. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-moment ilişkisi.



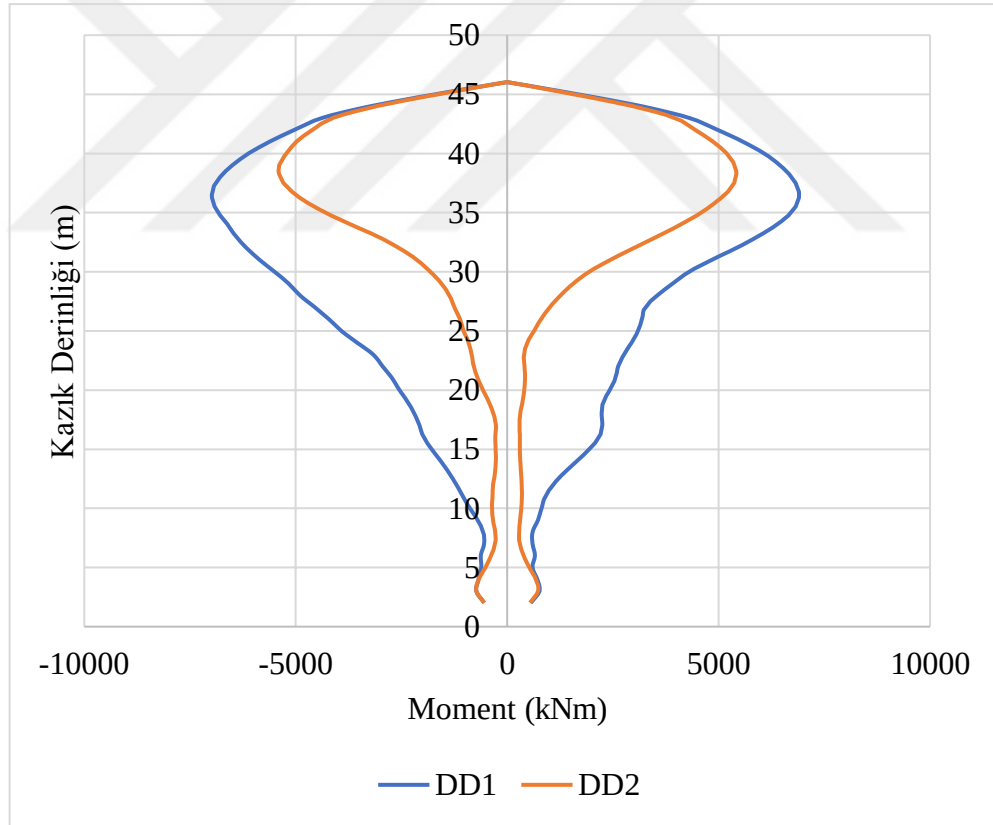
Şekil 4.18. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-kesme kuvveti ilişkisi.



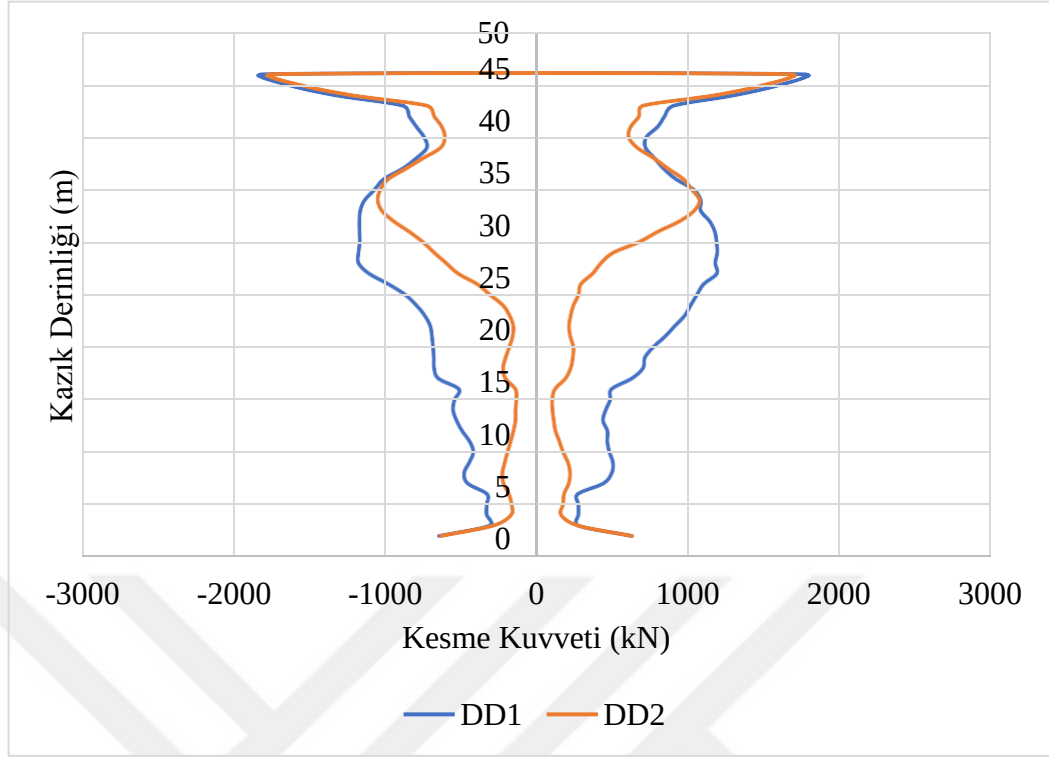
Şekil 4.19. DD2 deprem düzeyi için TH yöntemine göre kazık derinliği-normal kuvvet ilişkisi.

4.3.4. TH yönteminde deprem düzeyinin etkisi

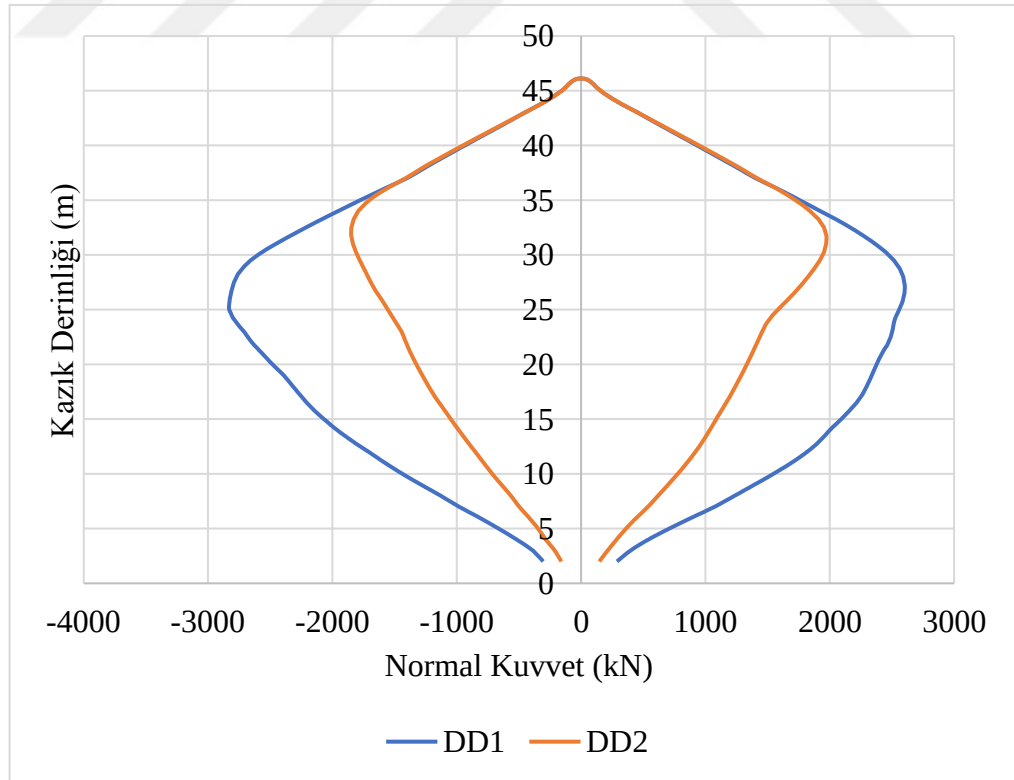
DeepSoil programı ile TH yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için elde edilen sonuçlar kendi içinde karşılaştırılmıştır. DD1 düzeyinde oluşan moment değerleri, DD2 düzeyine göre yaklaşık 1,25 kat mertebede fazla elde edilmiştir. Bu durum kesme kuvveti kazık gövde kısmı için 1,17 kat ve normal kuvvet yönünden ise 1,54 kat olarak elde edilmiştir. Tasarımda deprem düzeyi ile ilgili yapılacak kabuller tasarımı doğrudan etkilemektedir. Ayrıca 7 farklı deprem verisi için deplasman yöntemi için elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın elde edilirken TH yönteminde deprem seçimi de sonucu doğrudan etkilemektedir. Bu durumda Yöntem II'nin yani TH yönteminde seçilen depremin önemli bir etki oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 4.20. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için moment değişimi yönünden karşılaştırılması.



Şekil 4.21. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için kesme kuvveti değişimi yönünden karşılaştırılması.



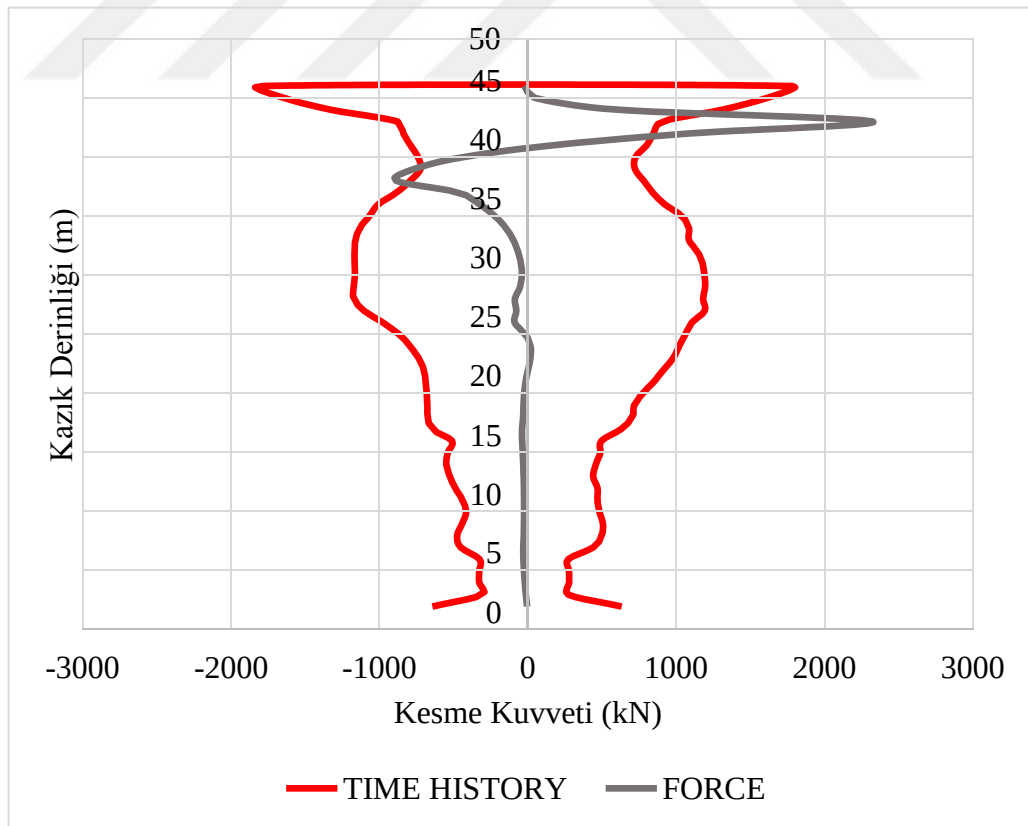
Şekil 4.22. TH yöntemi ile elde edilen sonuçların DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için normal kuvvet değişimi yönünden karşılaştırılması.

4.3.5. Yöntem II (TH) ve Yöntem III'ün (Deplasman) karşılaştırılması

Çalışma kapsamında kinematik etkileşim analizlerinde Yöntem II ve Yöntem III'ün karşılaştırılması için bir seri analiz gerçekleştirilmiştir. Yöntem II ve Yöntem III dikkate alınarak DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kazık derinliği boyunca oluşan moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet yönünden karşılaştırılmıştır. DD1 deprem düzeyi için yapılan karşılaştırmalar sırasıyla Şekil 4.23., 4.24. ve 4.25.'te sunulmaktadır. DD2 deprem düzeyi için elde edilen sonuçlar ise sırasıyla Şekil 4.26., 4.27. ve 4.28.'de sunulmaktadır. İki yöntem kendi içinde değerlendirildiğinde her iki deprem düzeyi için TH yöntemi (Yöntem II) ile yapılan analizlerde elde edilen moment değeri deplasman yöntemi (Yöntem III) ile elde edilen moment değerlerine göre yaklaşık iki kat fazla elde edilmiştir. Kesme kuvveti açısından maksimum değerler aynı mertebede iken normal kuvvet yönünden TH yöntemi ile elde edilen etkiler deplasman yönteminin 2,35 katı olarak elde edilmiştir. TH yönteminde birden fazla etkinin deprem analizlerinde dikkate alınması bu farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca zaman tanım alanında depremin zamana bağlı etkileri TH yönteminde daha gerçekçi olarak kazık elemanlarına yansıtılmaktadır. Yöntem III ile elde edilen sonuçlar daha ekonomik çözümler ortaya çıkaracak olsa da, yapılara etki eden deprem gibi önemli bir etkinin güvenlik açısından dikkate alınması ve Yöntem II'nin kullanılması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.



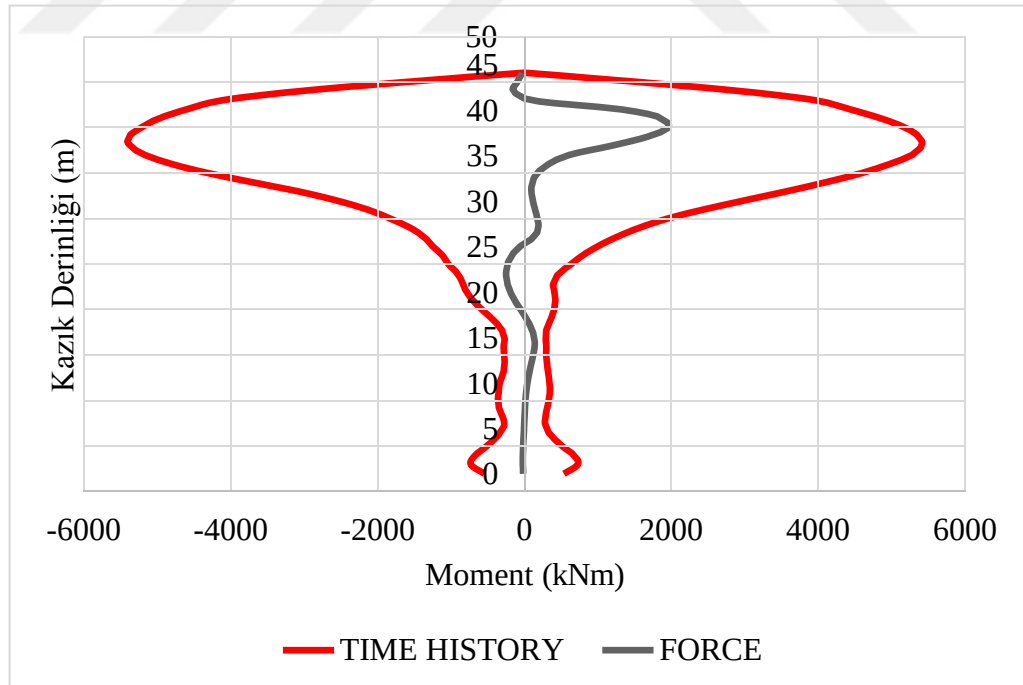
Şekil 4.23. DD1 deprem düzeyi için momentler yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.



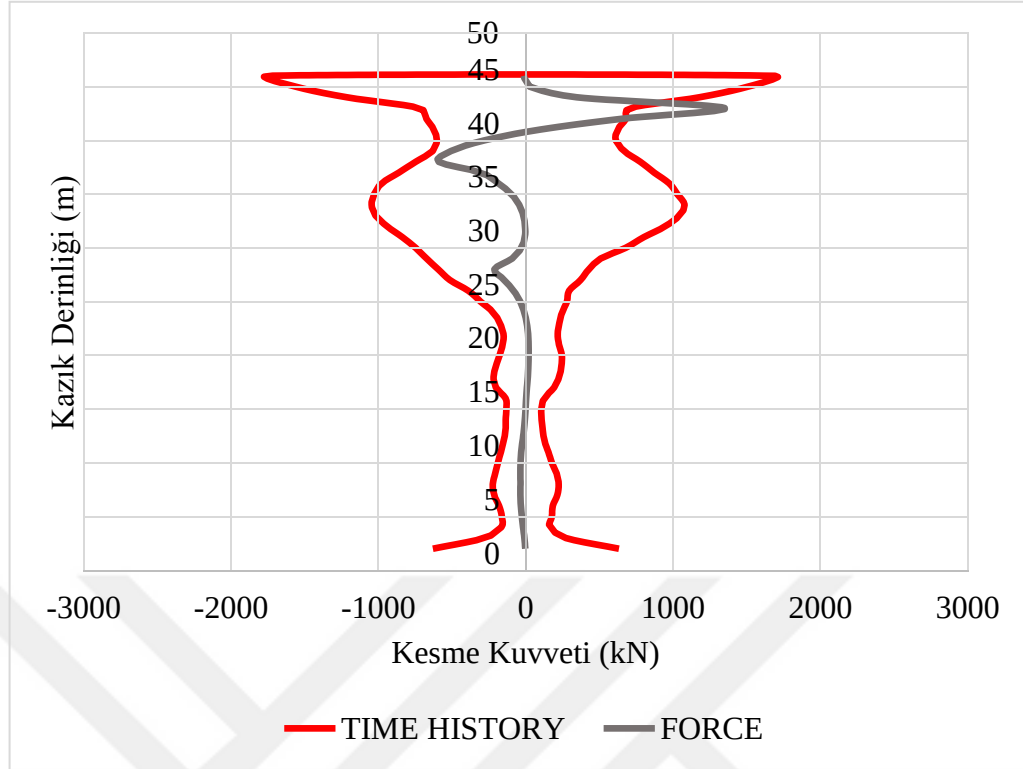
Şekil 4.24. DD1 deprem düzeyi için kesme kuvveti yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.



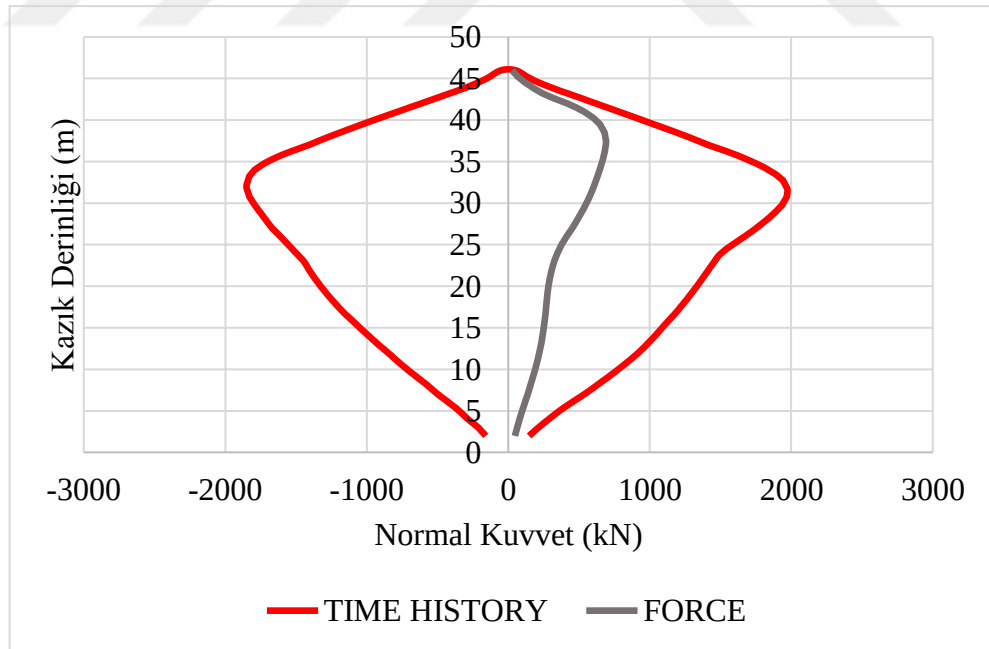
Şekil 4.25. DD1 deprem düzeyi için normal kuvvet yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.26. DD2 deprem düzeyi için momentler yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.27. DD2 deprem düzeyi için kesme kuvveti yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.28. DD2 deprem düzeyi için normal kuvvet yönünden TH ve Deplasman yöntemlerinin karşılaştırılması.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Geoteknik mühendisliğinin en önemli araştırma konularından birisi derin temellerin tasarımıdır. Geçmişten günümüze kadar statik yükler altında kazıkların davranışı üzerine birçok yönetmelik mevcut iken, dinamik yükler altındaki davranış hususları son yıllarda uluslararası yönetmeliklerde göz önüne alınmaya başlanmıştır. Ülkemizde de 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile belirli zemin koşullarında ve yapı özelliklerinde kazıkların dinamik yükler altında etkileşim analizinin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Ancak yönetmelikte yer alan kinematik etkileşim analizlerinde üç farklı yöntem (Yöntem I, II ve III) dikkate alınmakta olup, bu yöntemlerin uygulaması ile ilgili birçok soru işareti mevcuttur. Bu çalışmada TBDY 2018’de yer alan Yöntem II ve III’ün bir vaka analizi dikkate alınarak incelenmesi ve iki yöntem arasındaki farkların neler olduğu üzerinde durulmuştur. Bu amaçla incelenen vaka sahasındaki geoteknik çalışmalar değerlendirilmiş, sahaya özel deprem verileri türetilmiş ve bu veriler ışığında zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak Sap2000 sonlu elemanlar programı yardımıyla bir seri analiz yapılmış ve iki yöntemin farklı yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

- a. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kazık elemanın üst bölgelerinde oluşan kuvvetler, kazık derinliğinin artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Bu artışlar DD1 ve DD2 deprem düzeylerinin her ikisinde de benzer davranış göstermektedir. Buna göre kazığın daha derin olduğu bölgelerdeki zeminin mukavemetinin artmasıyla birlikte kazık alt kısımlarda depremden kaynaklı zeminde oluşan deformasyonlar azalmaktadır. Buna bağlı olarak kazık alt kottlarda bir mesnet gibi çalışmakta olup, kazığa etkiyen kuvvetler artmaktadır.
- b. Deplasman yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde (Yöntem III) deprem düzeyi ile ilgili yapılacak kabullerin tasarımı doğrudan etkilediği görülmüştür. Bu

yöntemde 7 farklı deprem verisi için sonuçlar birbirine çok yakın elde edilmiştir. Bu durumda Yöntem III'de seçilen depremin sonuçlar üzerinde önemli bir etki oluşturmadığını göstermektedir.

- c. Yöntem II (TH Yöntemi) kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde deplasman yöntemine benzer olarak kazık elemanın üst bölgelerinde oluşan kuvvetler, kazık derinliği ile birlikte artış göstermektedir. Bu artışlar DD1 ve DD2 deprem düzeylerinin her ikisinde de benzer davranış göstermektedir. Bu durumda kazığın daha derin olduğu bölgelerdeki zeminin mukavemetinin artmasıyla birlikte kazık alt kısımlarda depremden kaynaklı zeminde oluşan deformasyonlar azalmaktadır. Bu durum kazığın alt kotlarının bir mesnet gibi çalışmasına ve dolayısıyla kazığa etkiyen kuvvetlerin artışına neden olmaktadır. Ancak deplasman yönteminde seçilen deprem kayıtlarının sonuçlara önemli bir etkisi söz konusu değilken, TH yönteminde seçilen depreminde sonuçları doğrudan etkilediği görülmektedir. Örneğin DD1 düzeyinde moment açısından en büyük tesirler Chichi Depreminde oluşurken, en az etki Iwate Depreminde meydana gelmiştir. Bu farklılık deplasman yönteminde görülmemektedir.
- d. Yöntem II ve Yöntem III ile yapılan analiz sonuçları kendi içinde değerlendirildiğinde her iki deprem düzeyi için TH yöntemi (Yöntem II) ile yapılan analizlerde elde edilen moment değeri deplasman yöntemi (Yöntem III) ile elde edilen moment değerlerine göre yaklaşık iki kat fazla olmuştur. Kesme kuvveti açısından maksimum değerler aynı mertebede iken normal kuvvet yönünden TH yöntemi ile etkiler deplasman yönteminin 2,35 katı elde edilmiştir. TH yönteminde birden fazla etkinin deprem analizlerinde dikkate alınması bu farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca zaman tanım alanında depremin zamana bağlı etkileri TH yönteminde daha gerçekçi olarak kazık elemanlarına yansıtılmaktadır. Yöntem III ile elde edilen sonuçlar daha ekonomik çözümler ortaya çıkaracak olsa da, yapılara etki eden deprem gibi önemli bir etkinin güvenlik açısından dikkate alınması ve Yöntem II'nin kullanılması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.
- e. Sonuç olarak kinematik etkileşim analizlerinde seçilen yöntem, deprem düzeyi gibi değişkenler sonuçlara doğrudan etki etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N. A. 2000. Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis. In Proceedings of the 6th international conference on seismic zonation, CA: Palm Springs. Vol. 1, pp. 151-156.
- Abrahamson, N., & Silva, W. 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. Earthquake spectra, 24(1), 67-97.
- Al Atik, L., & Abrahamson, N. 2010. An improved method for nonstationary spectral matching. Earthquake spectra, 26(3), 601-617.
- Ambraseys, N. N., & Finkel, c. 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical revies, MS Eren, 1500-1800.
- API WSD RP-2A 2000. Planing, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, American Petroleum Institute.
- Baykal, M., 2006. Seferihisar-Urla Bölgesi'nin güncel depremsellği ve gerilme tensör analizi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baysal, D., Aktuğ, B., & Koçyiğit, A. 2010. GPS nokta koordinatlarındaki zamana bağlı değişimlerin analizi ve yorumu: İzmir bölgesinde uygulama. Harita Dergisi, 144, 29-39.
- Baziar, M. H., Rafiee, F., Azizkandi, A. S., & Lee, C. J. 2018. Effect of super-structure frequency on the seismic behavior of pile-raft foundation using physical modeling. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 104, 196-209.
- Bilal, O. 2021. Kazık temelli yapıların deprem etkisi altında yapı-kazık-zemin etkileşiminin incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi.
- Boulanger, R. W., Curras, C. J., Kutter, B. L., Wilson, D. W., & Abghari, A. 1999. Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 125(9), 750-759.
- Cario R., & Dente, G. 2007. Kinematic interaction analysis of piles in layered soils. In 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE-ERTC Vol. 12.
- Castelli, F., Maugeri, M. And Mylonakis, G. 2008 Numerical analysis of kineomatic soil-pile interaction. Seismic Conference Commemoreting the 1908 Messine and Reggio Calabria Earthquake. American Institute of Physics. 618-625.

- Deniz, A., Korkmaz, K. A., & Irfanoglu, A. 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for İzmir, Turkey. *Pure and applied geophysics*, 167(12), 1475-1484.
- EC8, "Eurocode 8: Design of Structures For Earthquake Resistance Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules For Buildings," European Standard prEN 1998-1, 2003.
- El-Marsafawi, H., Han, Y. C., & Novak, M. 1992. Dynamic experiments on two pile groups. *Journal of Geotechnical Engineering*, 118(4), 576-592.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaflı, F., 2005a. İzmir ve yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No. 10754, Ankara (yayımlanmadı).
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. ve Yıldırım, C., 2005b 17 Ekim 2005 Sığacım (İzmir) depremleri ön değerlendirme raporu. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No. 10756, Ankara (yayımlanmadı).
- Erdogan, B. 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafi özellikleri ve Tektonik Evrimi. *TPDJ Bulteni*, 2, 1-1.
- Fahjan, Y. M. 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *Teknik Dergi*, 19(93), 4423-4444.
- Fahjan, Y. ve Mert, A. 2018. İzmir Deprem Tehlike Değerlendirmesi ve Zemin Bağımlı Tasarım Yer Hareketlerinin Belirlenmesi Raporu
- Fan, K., Gazetas, G., Kaynia, A., Kausel, E., & Ahmad, S. 1991. Kinematic seismic response of single piles and pile groups. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(12), 1860-1879.
- Gardner, J. K., & Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin of the seismological society of America*, 64(5), 1363-1367.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. 2016. "DEEPSOIL 6.1, User Manual"
- Hokmabadi, A. S., Fatahi, B., & Samali, B. 2014. Assessment of soil–pile–structure interaction influencing seismic response of mid-rise buildings sitting on floating pile foundations. *Computers and Geotechnics*, 55, 172-186.
- Hussien, M. N., Karray, M., Tobita, T., & Iai, S. 2015. Kinematic and inertial forces in pile foundations under seismic loading. *Computers and Geotechnics*, 69, 166-181.
- Hussien, M. N., Tobita, T., Iai, S., & Karray, M. 2016. Soil-pile-structure kinematic and inertial interaction observed in geotechnical centrifuge experiments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 89, 75-84.

- IBC 2006. "International Building Code," International Code Council, USA.
- İYBDY 2008. "İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği," Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi VE Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Araştırma Projesi 2000. İzmir deprem senaryosu master planı.
- Jackson, J., & McKenzie, D. 1984. Active tectonics of the Alpine—Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1), 185-264.
- Junbo Jia, *Soil Dynamics and Foundation Modeling Offshore and Earthquake Engineering*, Springer International Publishing AG, 2018.
- Kausel Bolt, E. A. M. 1974. Forced vibrations of circular foundations on layered media. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Kavvads, M., & Gazetas, G. 1993. Kinematic seismic response and bending of free-head piles in layered soil. *Geotechnique*, 43(2), 207-222.
- Kaya, O., 1982. Tersiyer sırt yitmesi: Doğu Ege bölgelerinin yapısı ve mağmatitiği için olası bir mekanizma. In: Erol, O. ve Oygür, V. (Eds), *Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması*, Türkiye Jeoloji Kurultayı Paneli Ankara, 39-58.
- Kaynia, A. M., 1982. Dynamic stiffness and seismic response of pile groups. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Lilhanand, K., & Tseng, W. S. 1987. Generation of synthetic time histories compatible with multiple-damping design response spectra. In *Transactions of the 9th international conference on structural mechanics in reactor technology*. Vol. K1, 105-110.
- Lu, X., Li, P., Chen, B., & Chen, Y. 2005. Computer simulation of the dynamic layered soil pile structure interaction system. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(3), 742-751.
- Lu, Y. 2016. Seismic soil-structure interaction in performance-based design. Doctoral dissertation, University of Nottingham.
- Luco, J. E. 1974. Impedance functions for a rigid foundation on a layered medium. *Nuclear engineering and design*, 31(2), 204-217.
- Luo, C., Yang, X., Zhan, C., Jin, X., & Ding, Z. 2016. Nonlinear 3D finite element analysis of soil-pile-structure interaction system subjected to horizontal earthquake excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 84, 145-156.
- Mylonakis, G., & Gazetas, G. 1999. Lateral vibration and internal forces of grouped piles in layered soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(1), 16-25.

- Nar, D. 2016 Kocaeli Gölçük ilçesi Çöküntü Bölgesi Yerel Zemin Özelliklerinin Sismolojik ve Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri ile Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması, KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi (basılmamış).
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., & Kuşçu, İ. 2005. Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 2019(2-3), 155-171.
- Ordu, E., & Özkan, M. T. 2011. Kazıklı temellerin deprem performanslarının üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. *İTÜDERGİSİ/d*, 5(2). 27-34.
- PEER, NGA database, <http://peer.berkeley.edu/nga/index.html>, 2006.
- Pinar, N. 1950. Etude géologique et sismologique du tremblement de terre de Karaburun (Izmir) du 23 juillet 1949. *Revue de la Faculté des Sciences de l'université d'Istanbul*, Istanbul, 15, 363-375.
- Polat, O., Goek, E., & Yilmaz, D. 2008. Earthquake hazard of the Aegean extension region (West Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 593-614.
- Reese, L. C., Cox, W. R., & Koop, F. D. 1975, May. Field testing and analysis of laterally loaded piles on stiff clay. In *Offshore Technology Conference*. OnePetro.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. 1969. Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 95(1), 99-137.
- Skempton, A.W. 1951. The bearing capacity of clay. In: *Proceedings of the building research congress*. Division 1, London.
- Solomon-Calvi, W. & Kleinsorge, H. L. 1940. Türkiye'deki zelzelelere müteallik etütler M.T.A. Yayınları, seri B, no. 5, Ankara.
- Somerville, P.G., Smith, N.F., 1997. "Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity", *Seismological Research Letters*, 68, 199-222.
- Stewart, J. P., Fenves, G. L., & Seed, R. B. 1999. Seismic soil-structure interaction in buildings. I: Analytical aspects. *J. Geotech. & Geoenv. Engrg.*, 125(1), 26-37.
- Stewart, J. P., Seed, R. B., & Fenves, G. L. 1999. Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical findings. *J. Geotech. & Geoenv. Engrg.*, 125(1), 38-48.
- Sezer, L.İ., 2004. İzmir sismotektonik yöresinin depremselliği. *Ege Coğrafya Dergisi İzmir-Turkey*.13 (2004), 29-46, *İzmir Aegean Geographical Journal*, 13 (2004), 29-46.
- Sezer, L. İ. 2004. İzmir sismotektonik yöresinin depremselliği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 13(29-46).

- TBDY, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2018.
- TDY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik,” T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- TS 500/Şubat 2000, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkelli, N., Kalafat, D., & İnce, Ş.1994. 6. Kasım 1992 İzmir depremi ve artçı şokları. Deprem Araştırma Bülteni, 68, 58-95.
- Ullah, M. S., Yamamoto, H., Goit, C. S., & Saitoh, M. 2018. On the verification of superposition method of kinematic interaction and inertial interaction in dynamic response analysis of soil-pile-structure systems. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 113, 522-533.
- Vaish, A. K., & Chopra, A. K. 1974. Earthquake finite element analysis of structure-foundation systems. Journal of the Engineering Mechanics Division, 100(6), 1101-1116.
- Wolf, J. 1985. Dynamic soil-structure interaction, Prentice-Hall, 1-481.
- Zhang, L., & Liu, H. 2017. Seismic response of clay-pile-raft-superstructure systems subjected to far-field ground motions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 101, 209-224.
- <http://www.mta.gov.tr>, Erişim Tarihi: 13.05.2022.

EKLER

Ek-A Yönetmelikler

NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program)

National Earthquake Hazards Reduction Program tarafından hazırlanan *Soil-Structure Interaction for Building Structures* (2012) raporunda eylemsizlik ve kinematik etkileşim başlıkları altında temellerin kazıklı olması durumu ele alınmıştır. Eylemsizlik etkileşiminin, $h/(VsT) < 0.1$ olduğu durumlarda ihmal edilebilir olduğundan ve yumuşak zeminlerde inşa edilen yapılarda öneminin arttığından bahsedilmiştir (Stewart vd. 1999a; 1999b). Yumuşak zemin üzerine inşa edilecek yapılarda genellikle kazıklı temeller tercih edildiği için eylemsizlik etkileşiminin gerekliliği vurgulanmış, bunun da statik rijitlik (k_j^p) ve sönüm (kc_j^p) parametresi atayarak gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu parametrelerin hesabı, kazık ve zeminin elastisite modülü (E_p, E_s), kazık çapı (d), kazık boyu (L_p), birim hacim ağırlık (ρ_p, ρ_s), poisson oranı (ν), kayma dalgası hızı (V_s), zeminin doğal frekansı (ω) kullanılarak ve raporun içinde verilen tablolar yardımıyla yapılmıştır.

Grup kazıkların etkileşimi incelendiğinde ise Mylonakis ve Gazetas'ın (1999) çalışması baz alınarak grafikler vasıtasıyla, tekil kazık için hesaplanan statik rijitlik parametresi bir katsayıyla çarpılarak dikkate alınmıştır. Burada dikkat çeken durum; düşük frekans ($0 < a_0 < 0,6$) alanında, yanal yükleme durumunda, grup etkisinden kaynaklı statik rijitlik %50 azalırken, bu frekans alanı geçildiğinde ~2 katına çıkmaktadır. Bu grafiklerdeki pik ve vadi oluşumlarının ise negatif/pozitif dalga girişiminden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Ayrık Eleman Yöntemi olan, p - y (doğrusal olmayan yatay yay) ve t - z (doğrusal olmayan düşey yay) eğrilerinin yüksek deformasyon davranışını sergilemesi için geliştirildiğinden dolayı sismik durumdaki rijitlik ve sönüm durumunu yakalayamadıkları raporda belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da rijitlik ve sönümün

beraber yansıtıldığı, raporun içerisinde bulunan yöntemin kullanılması önerilmiş ve küçük deplasmanlarla zemin doğrusalsızlığını kapsayan yeni nesil eğrilerin geliştirilmesinin bir ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Kinematik etkileşim bölümünün ilk paragraflarında kazıklı temel durumu için kullanılabilir yöntemlerden bahsedileceği söylene de, kazıklı temel alt başlığında herhangi bir yöntem önerilmemiştir. Yapıda kinematik etkileşimin oluşmasından; taban plakası ortalaması, gömme etkisi ve kazıklı temeller sorumlu tutulmuştur. Taban plakası ortalaması (*base slab averaging*) yapının içerisindeki uzamsal olarak değişken yer hareketinin, temelin dayanım ve rijitliğinden dolayı temelin kontörünün olduğu yerdeki ortalamasının alınmasıdır. Gömme etkisi, derinlik arttıkça yer hareketinin etkisinin azalmasından kaynaklı temel girdi hareketinin değişimidir ve bu tür durumlar transfer fonksiyonları yardımıyla çözümlenmiştir. Kazıklı temellerdeki durum ise, gelen deprem dalgalarının ilk önce kazıklarla etkileşime girip, onların da kendi aralarında ve zeminle etkileşime gireceği (oturmalar, yanıl etkiden dolayı oluşan boşluklar) varsayıp, herhangi iyi kalibre edilmiş bir mühendislik modelinin olmadığını belirtmişlerdir. Genel olarak taban plakası ortalaması ve gömülü temeller için transfer fonksiyonlarının uyumlu olduğu, fakat kazıklı temellerde hâlen geçerli analitik bir çözümün bulunmadığı ve önemli bir araştırma konusu olduğu belirtilmiştir.

AASHTO

American Association of State Highway Officials (AASHTO) tarafından hazırlanan *LRFD Bridge Design Specifications* (2014, 7. Edisyon) yönetmeliğinde kazıkların tasarımı için American Petrol Enstitüsü'nün (*API*) açık denizdeki petrol platformları için geçerli olan yöntemi, doğrusal olmayan davranışı daha iyi yansıttığı için önerilmiştir. Bu yöntem, başlangıç yatak katsayısı ve saha yükleme testleri sonucunda elde edilen deney sonuçlarına dayanarak, kumlar ve killeri için p - y eğrilerini oluşturmaktadır. "Köprü yapılarındaki" kazık momentlerinin hesaplanmasında kullanılan kazık rijitlik karakterleri; momentlerin sadece köprünün eylemsizlik etkileşiminden doğan yanıl yüklerin etkisiyle oluştuğunu varsayan bir sahte-statik (*pseudo-static*) yaklaşıma sahiptir. Fakat bu eylemsizlik etkileşiminin, serbest-alan (*free field*) deprem hareketinin kazıklarla olan etkileşiminin köprüyü etkilemesinden kaynaklandığı ve ayrıca bu serbest-alan hareketinin de kazıkların moment değeri

üzerinde etkisi olabileceğinin unutulmaması gerektiği belirtilmektedir. Bu varsayımlara da bağlı olarak tek-boyutlu davranış analizi sonucunda elde edilen serbest-alan deplasmanları kazıklara etki ettirilerek eğilme momentlerinin hesaplanacağı belirtilmektedir. ASCE 7/10 ve FEMA 440 yönetmelikleri YKZE ile ilgili herhangi bir çözüm yöntemi sunmamışlardır.

EUROCODE

Doğrudan bir tasarım yöntemi bulunmasa da YZE'nin dikkate alınması gereken durumlar Ek-D'de belirtilmiştir:

- P- δ 'nın etkisinin önem arz ettiği yapılar;
- Köprü ayakları, açık denizdeki uygulanan temeller, silolar gibi derinlere oturmuş temellerde ve/veya masif yapılarda;
- Kule ve baca gibi ince uzun yapılarda;
- Kayma dalgası hızı 100 m/s'den daha düşük olan çok yumuşak zeminler üzerine inşası planlanan yapılarda YZE çalışması yapılmalıdır.

YKZE hesabında kullanabilmek için Ek C'de kazık başlığı rijitlik hesabı verilmiştir. Statik kazık rijitliği (*stiffness*); birim deplasman/dönme oluşması için gerekli aynı yönde uygulanan kuvvet/moment olarak tanımlanmıştır. Bunun için, kazık ve zemin elastisite modülü, kazık çapı ve boyu parametreleri yeterli görülmüştür.

Kazıkların dizaynında kinematik ve eylemsizlik etkilerinin dikkate alınması gerektiği, Eurocode 8 (EN-1998-5: 2004) Bölüm 5.4.2'de belirtilmiştir. Kinematik etkinin dikkate alınması için aşağıdaki koşulların hep birlikte sağlanması şart koşulmuştur:

- $a_{gs} > 0.1g$,
- Zemin sınıfı, Tip D'den daha kötü olacak
- Kazıkların içinde bulunduğu iki tabakanın (V_{s2}/V_{s1}) oranının çok yüksek olması (tabakalar arası rijitlik kontrastının çok yüksek olması)
- Bina Önem Sınıfı'nın III veya IV olması durumu.

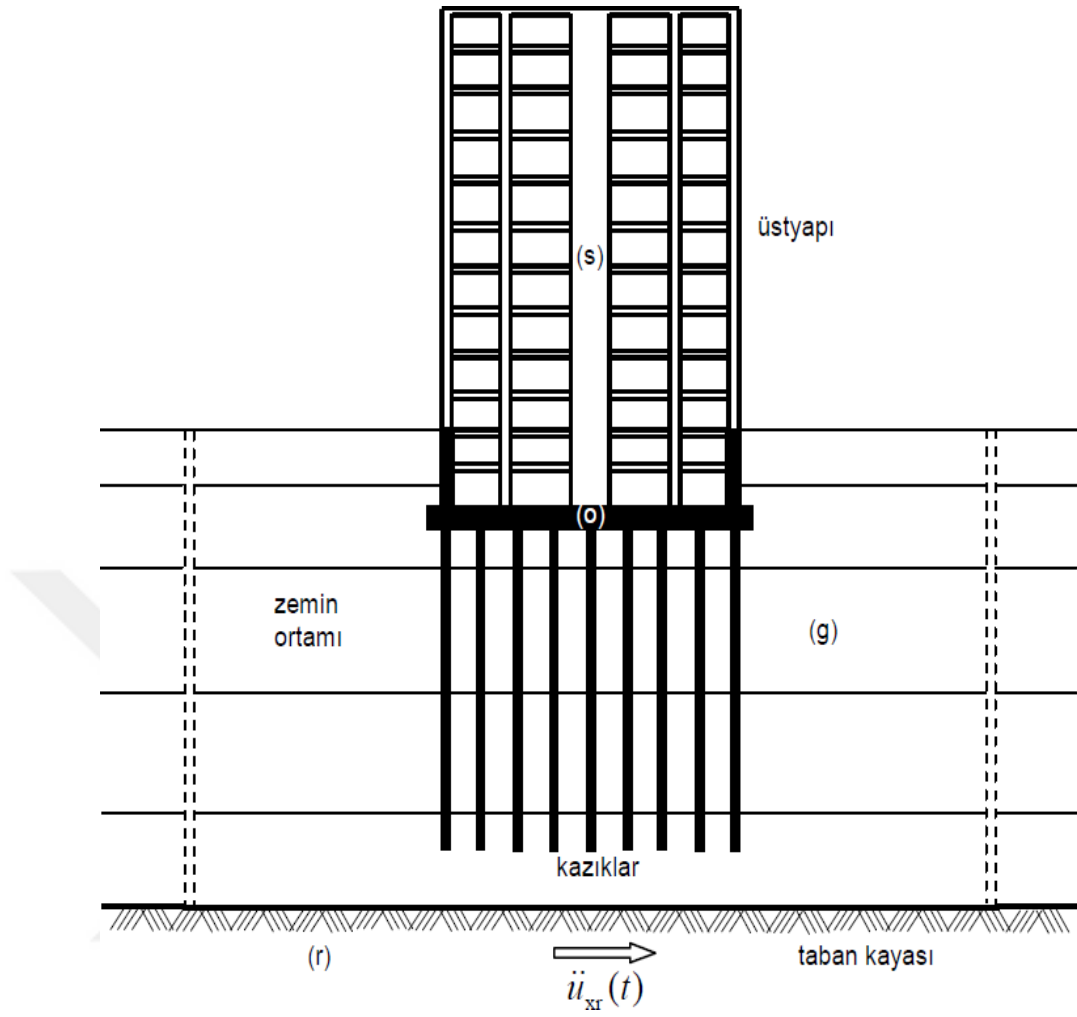
Genel olarak Eurocode’da kinematik etkileşim, tabakalar arası rijitlik oranının yüksek olduğu durumlarda dikkate alınmakta ve kazık başlığındaki eğilme durumunda daha az etkisi olduğu dolaylı olsa da belirtilmektedir.

TBDY 2018

2018 yılında yayınlanan TBDY 2018 ile birlikte etkileşim analizleri zorunlu hale gelmiştir. Etkileşim analizleri ile ilgili koşullar yönetmelikte belirlenmiş olup, yöntem belirlemede ortak sistem yaklaşımı ve alt sistem yaklaşımı olmak üzere iki ana yöntem üzerinde durulmuştur. Bu bölümde yönetmelikte yer alan yöntemler, ilgili parametrelerin seçimi ve bu parametreleri belirlerken dikkate edilecek hususlar yer almaktadır.

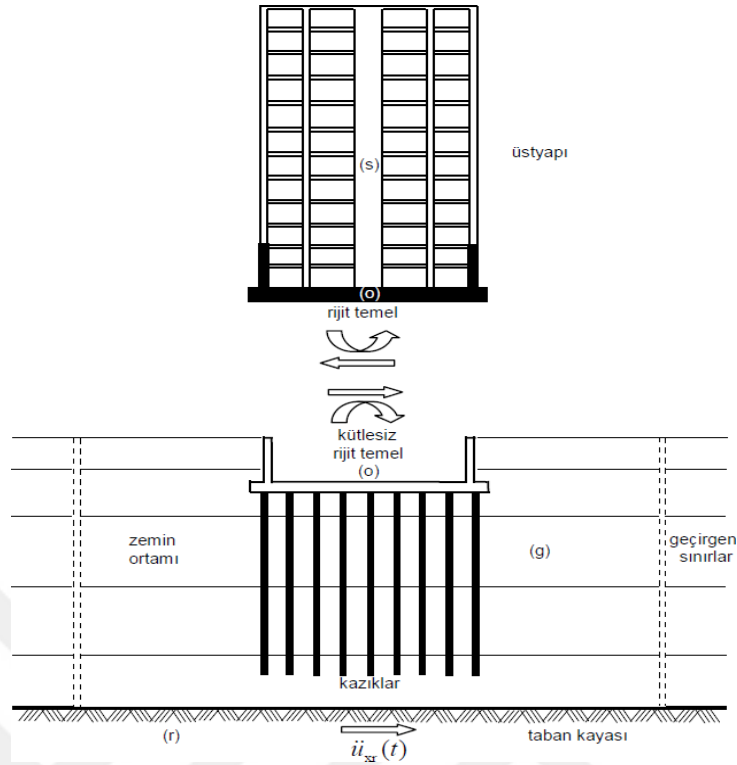
TBDY 2018’de Etkileşim Analiz Yaklaşımları

(a) Ortak sistem yaklaşımı: Üstyapı (bina), bina temeli, kazıklar ve zeminin sistemin kısımları olarak bir arada modellenip analiz edildiği bu yaklaşımda, tüm kısımların doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınabilir. Ortak sistem yaklaşımda dikkate alınacak model Şekil A.1.’de gösterilmektedir.



Şekil A.1. Ortak sistem yaklaşımı.

(b) Altsistem yaklaşımı: Üstyapı-temel altsistemi ile temel-kazık-zemin altsisteminin ayrı ayrı modellenip birbirleri ile etkileşimi de dikkate alınarak analiz edildiği bu yaklaşım, prensip olarak doğrusal davranışı esas alır (Şekil A.2.). Ancak mühendislik pratiğinde bu yaklaşımın belirli yöntemler çerçevesinde temel-kazık-zemin altsisteminin ve üstyapı-temel altsisteminin doğrusal olmayan davranışı için de uygulanmasına izin verilebilir.



Şekil A.2. Altsistem yaklaşımı.

TBDY 2018’de altsistem yaklaşımında yapı – kazık – zemin etkileşimi iki aşamada ele alınmaktadır. Bu aşamalar kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimidir. TBDY 2018 EK 16.C’de bu aşamalar için kullanılabilecek Yöntem I olarak adlandırılan yöntemden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. TBDY 2018 EK 16 C’de yapı-zemin etkileşimi, zemin ortamı ve üstyapının birlikte ele alındığı yapı-zemin sisteminde birbirini karşılıklı olarak etkilemesi şeklinde açıklanmaktadır. Sağlam kayada tanımlanan yer hareketinden meydana gelen ve zemin ortamı içinde yayılarak yapı temeline ulaşan deprem dalgaları kısmen yapı temelinden yansıyarak zemin ortamına geri dönmekte, bir kısmı da üstyapıya geçerek onun titreşimine yol açmakta ve tekrar zemin ortamına geri dönmektedir. Yönetmeliğin 16C.1.2. maddesinde, sıg temel durumunda yapı-zemin etkileşiminin yapıyı olumlu yönde etkilediği ve yapıya geçen eşdeğer deprem yüklerini azalttığından ve böylece güvenli tarafta kalındığından yapı-zemin etkileşiminin ihmal edildiği belirtilmiştir. Buna karşılık kazıklı olarak inşa edilen yapılarda, yapı-kazık-zemin etkileşimi özellikle kazıklardaki deprem davranışını büyük ölçüde etkiler. Yer hareketinde oluşan ve zemin ortamı içinde yayılan deprem dalgalarıyla kazıklarda önemli deformasyonlar ortaya çıkar. Bunun

yanında kazıklar zeminde yayılan ve üstyapıya aktarılan deprem dalgalarını genlik ve frekans bakımından değişikliğe uğratabilirler. Üstyapının eylemsizlik özelliğinin göz önüne alınmadığı temel – kazık – zemin sistemindeki bu oluşuma kinematik etkileşim adı verilir. Kazıklar ayrıca eylemsizlik etkileşimi kapsamında titreşen üstyapıdan kazık-zemin ortamına geri dönen deprem dalgalarından ötürü ek zorlanmalara maruz kalırlar. Bu nedenlerle, zayıf zeminlerde temeli kazıklı olan binalarda yapı – kazık – zemin etkileşiminin göz önüne alınması gereklidir.

Temeli kazıklı olan binalar için yapılacak kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimi analizlerinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçimi ile hesap esasları yapının ve zeminin özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Deprem düzeyleri

TBDY 2018'e göre tasarımda dört farklı deprem düzeyi dikkate alınmaktadır. Bu deprem düzeyleri aşağıda açıklanmaktadır.

Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini

nitelemektedir.

Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Bina kullanım sınıfları

Yapıların tasarımında kullanılacak olan Deprem Tasarım Sınıflarının belirlenmesine esas olmak üzere Bina Kullanım Sınıfları (BKS), binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak Tablo A.1.'de sunulmaktadır.

Tablo A.1. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli elvanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem somasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri. PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapılan, vb.)	1,0

Deprem tasarım sınıfları

Bina Kullanım Sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı'na bağlı olarak TBDY 2018'de tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) Tablo A.2.'de sunulmaktadır.

Tablo A.2. Deprem tasarım sınıfları (DTS)

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

Bina yükseklik sınıfları

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bina Yükseklik Sınıfları Tablo A.3.'te sunulmaktadır.

Tablo A.3. Bina yükseklik sınıfları (BYS)

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

Yapı zemin etkileşimi

TBDY 2018'de yapı zemin etkileşimi probleminin ele alınması için bazı yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

Yöntem I - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem I, yönetmelikte geçen Tablo 3.2.'deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda, DTS = 1, 1a, 2, 2a olan kazıklı Yüksek Binalar (BYS = 1) için DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım

alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır. Bu yöntem TBDY 2018’de yer alan ilgili maddeler dikkate alınarak aşağıdaki şekilde uygulanacaktır.

- a. Zemin ortamı, 16.5.2.3’e göre tanımlanan mühendislik taban kayasının üzerinde, ayırık analiz yöntemleri (sonlu elemanlar veya sonlu farklar) ile analiz edilecek şekilde üç boyutlu olarak modellenecektir. Mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır. Sonlu zemin modelinin dış çevresi boyunca ve ZA veya ZB olarak sınıflandırılmayan mühendislik taban kayasında, zemin ortamından dışa doğru yayılan dalgaların içeriye yansımaları önlemek için uygun olarak seçilmiş geçirgen sınırlar kullanılacaktır. Geçirgen sınırların binaya yatay uzaklığı, her iki doğrultuda ve her iki tarafta ayrı ayrı olmak üzere, bina temel genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır. Zemin ortamının üç boyutlu doğrusal olmayan davranışı, deneysel verilerle uyumlu modeller kullanılarak göz önüne alınacaktır. 16.6’ya göre sınıflandırma potansiyeli olan zeminlerde, zaman tanım alanında etkin gerilme analizi yapılabilmesine olanak sağlayan doğrusal olmayan zemin bünye modelleri kullanılacaktır.
- b. Kazıklar, 5.3.1’de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş arayüz elemanları kullanılacaktır. Deprem hesabından önce, düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler doğrusal olmayan statik hesap ile belirlenecektir.
- c. Bina temeli, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte (zemin kat seviyesine kadar), kütesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir.
- d. Deprem kayıtları, en az on bir (iki bileşenli) çift olmak üzere 2.5.1’e göre seçilerek 2.5.3’e göre dönüştürülecek ve mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

Yöntem II - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem II, yönetmelikte geçen Tablo 3.2.’deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

(a) DTS = 3, 3a, 4, 4a olan kazıklı Yüksek Binalar (BYS = 1) için Bölüm 13'teki III. Aşamada DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

(b) DTS = 1a, 2a ve BYS = 2, 3 olan kazıklı binalar için yönetmelikteki Tablo 3.4. (a) ve 5.1.3.2'ye göre DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

Bu yöntemde aşağıdaki adımlar ile etkileşim analizleri yapılacaktır.

- a. Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında göz önüne alınacaktır.
- b. Kazıklar, 5.3.1'de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki görelî kuvvet-yer değiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift sadece-basınç yayı olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda grup etkisinin yaklaşık olarak göz önüne alınması için Denk. (16C.1)'de verilen ampirik bağıntı ile hesaplanan azaltma katsayıları β_G , p-y yayları için tanımlanan kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin kuvvet (p) eksenine uygulanacaktır:

$$\beta_G = 0.2 [(1 - \beta_{G1}) s - (1 - 6 \beta_{G1})] \quad (2.1)$$

Burada s, göz önüne alınan doğrultuda kazık sıraları ara uzaklığının kazık çapına oranını ($s \leq 6$), β_{G1} ise her bir kazık sırası için farklı olarak uygulanacak bir katsayıyı göstermektedir. Sadece-basınç yayları'na uygulanmak üzere yanal basınç maruz en öndeki kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.7$, onun arkasındaki ikinci kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.45$, üçüncü kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.3$, dördüncü ve daha arkadaki kazık sıraları için ise $\beta_{G1}=0.2$ alınacaktır. Ters yöndeki yer değiştirmeler için bu katsayılar aynı kazıklara ters sıra ile uygulanacaktır. $s > 6$ için $\beta_G = 1$ alınacaktır.

- c. Bina temeli, 16C.2.2.1(c)'deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan sadece-basınç yayları kullanılacaktır.
- d. Deprem kayıtları olarak, 16.5.2'ye göre yapılan serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkitilen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri kullanılacaktır (toplam yer değiştirme, taban kayasının yer değiştirmesi ile zeminde meydana gelen rölatif yer değiştirmenin toplamıdır). Her bir t anında toplam yer değiştirmeler, her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde uygulanacaktır (dinamik yer değiştirme yükleme). Bu yer değiştirmeler, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağlı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da basınç yönünde uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin zaman tanım alanında deprem analizi yapılacaktır.

Yöntem III - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem III, yönetmelikte geçen Tablo 3.2.'deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

- a. $DTS = 1a, 2a$ ve $BYS \geq 4$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2'**ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.
- b. $DTS = 1, 2, 3, 3a$ ve $BYS \geq 2$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2'**ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.

Hesaplamalarda aşağıdaki adımlar izlenecektir.

Yöntem III ile yapılacak temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı, **16C.3.2'**ye göre Yöntem II ile yapılan hesabın basitleştirilmiş şekline karşı gelmektedir.

- a. Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında göz önüne alınacaktır.
- b. Kazıklar, göz önüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal davranış esas alınarak 4.5.2'ye göre çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki görelî kuvvet-yer değiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift sadece-basınç yayı olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda grup etkisinin yaklaşık olarak göz önüne alınması için Denk. (16C.1)'de verilen ampirik bağıntı kullanılacaktır.
- c. Bina temeli, 16C.2.2.1(c)'deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan yaylar kullanılacaktır.
- d. 16.5.2'ye göre yapılan tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde göz önüne alınan deprem doğrultusunda taban kayasından yatay doğrultuda etkililen depremlerden (on bir adet deprem kaydı) her biri için, zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yer değiştirmelerin zamana göre maksimumlarının zarfı alınacaktır. Toplam yer değiştirme zarfı, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağı olan doğrusal olmayan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde sıfırdan başlayarak statik olarak artımsal şekilde uygulanacaktır (statik artımsal yer değiştirme yükleme). Aynı yer değiştirme zarfı, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da basınç yönünde uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin yaklaşık artımsal statik hesabı yapılmış olacaktır.

Ek-B Yönetmelikler

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte (TDY, 2007) Deprem Etkisinin Tanımlanması

Bu yönetmeliğe göre yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

TDY (2007) yeni yapılacak binalar için tek seviyeli bir tasarım öngörmekte ve 50 senede aşılma olasılığı %10 olan bir deprem etkisi (dönüş periyodu 475 sene) tanımlamaktadır. Deprem etkisinin tanımlanmasında kullanılan etkin yer ivmesi katsayısı deprem bölgesine göre tanımlanmaktadır. TDY (2007) nin tanımladığı bu deprem etkisine göre tasarlanan yapıların “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlaması hedeflenmektedir. TDY (2007), mevcut yapılar için deprem etkilerinin tanımlanmasında ise binanın kullanım amacına göre 50 senede aşılması olasılıkları %50 (dönüş periyodu 72 sene), %10 (dönüş periyodu 475 sene) ve %2 (dönüş periyodu 2475 sene) olan birden fazla deprem etkisi (konut türü yapılar hariç) tanımlamaktadır. Her bir deprem etkisi için binaların kullanım amacına göre sağlaması gereken minimum performans hedefleri (Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi) TDY (2007) de verilmiştir.

Eurocode 8’de (EC8, 2003) Deprem Etkisinin Tanımlanması

EC8’de (2003) yeni yapılacak binalar için iki farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. 10 senede aşılması olasılığı %10 (dönüş periyodu 95 sene) olan birinci deprem etkisi için performans hedefi “Hasarın Sınırlandırılması – Damage Limitation” olarak belirtilmiştir. 50 senede aşılması olasılığı %10 (dönüş periyodu 475 sene) olan ikinci deprem etkisi için ise performans hedefi “Göçmenin Önlenmesi – Collapse Prevention” olarak tanımlanmıştır.

International Building Code’da (IBC, 2006) Deprem Etkisinin Tanımlanması

IBC (2006), Amerika Birleşik Devletleri’nde kullanılmakta olup yeni yapılacak binalarda tek seviyeli bir deprem etkisi tanımlamaktadır. IBC (2006), 50 senede aşılması olasılığı %2 olan bir Göz Önüne Alınan En Büyük Deprem (Maximum Considered Earthquake, MCE) etkisi tanımlayarak yeni yapılacak binalarda bu deprem etkisinin 2/3’ünün alınmasını önermektedir. Yeni yapılacak binalardaki performans hedefi “Can Güvenliği”dir. IBC (2006), MCE’yi B sınıfı zemini referans alarak, kısa periyotta (0.2s) spektral ivme (S_s) ve 1.0s periyotta spektral ivme (S_1) tanımlayarak tarif etmektedir.

İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, (İYBDY, 2008)

İYBDY (2008), İstanbul Büyükşehir Belediye’sinin isteği üzerine hazırlanmıştır. Bu Yönetmelik, deprem etkileri altında temel ilke olarak performansa göre tasarımı esas alır. Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında yüksek binaların 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 meydana gelen nonlineer deformasyonlara karşı geldiğinden Performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yöntemleri ve şekil değiştirmeye (deformasyona) göre tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Yönetmelikte, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, geleneksel dayanıma göre tasarım ilkesi çerçevesinde doğrusal (linear) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir. İYBDY (2008), yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak üç farklı deprem seviyesi tanımlamaktadır.

(D1) Deprem Düzeyi:

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamında yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ama şiddeti çok yüksek

olmayan deprem yer hareketlerini ifade eder. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

(D2) Deprem düzeyi:

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade eder. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

(D3) Deprem Düzeyi:

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketlerini ifade eder. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) Deprem Etkisinin Tanımlanması

2018 yılı sonu itibari ile yürürlüğe girmiş olan yenilenmiş Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan deprem tehlike haritalarında tasarım bazlı deprem yer hareketi değerleri ve tasarım spektrumu değişmektedir. Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları esas alınarak %5 sönüm oranı için hesaplanır. Bu hesaplamalar, yönetmelikte ayrıntılarıyla açıklandığı üzere boyutsuz olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar. Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında bir veya iki boyutlu ve üç boyutlu deprem hesabı için gerekli deprem yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesi için uygulanması gerekli kurallarda bu yönetmelikte ilgili bölümlerde ayrıca tanımlanmıştır.

Bu Yönetmelik kapsamında, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Aşağıda tanımlanan farklı deprem yer hareketi düzeyleri için deprem verileri Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalara www.deprem.gov.tr/ adlı internet sitesinden erişilebilir. TBDY (2018) Bölüm 3.4 Deprem Etkisi Altında Bina

Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları – Tablo 3.4. kapsamında: değişik deprem yer hareketi düzeyleri için mevcut binaların güçlendirme tasarımında kullanılacak performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları belirlenmiştir. “Normal Performans Hedefli” tasarımda DD-2, “İleri Performans Hedefli” tasarımda ise DD-1, DD-2 ve DD-3 Deprem Yer Hareketi Düzeylerine tekabül eden deprem yer hareketlerinin kullanılması gerekmektedir.

(DD-1) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak ta adlandırılmaktadır.

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

(DD-3) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

(DD-4) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

TBDY, 2018 de Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

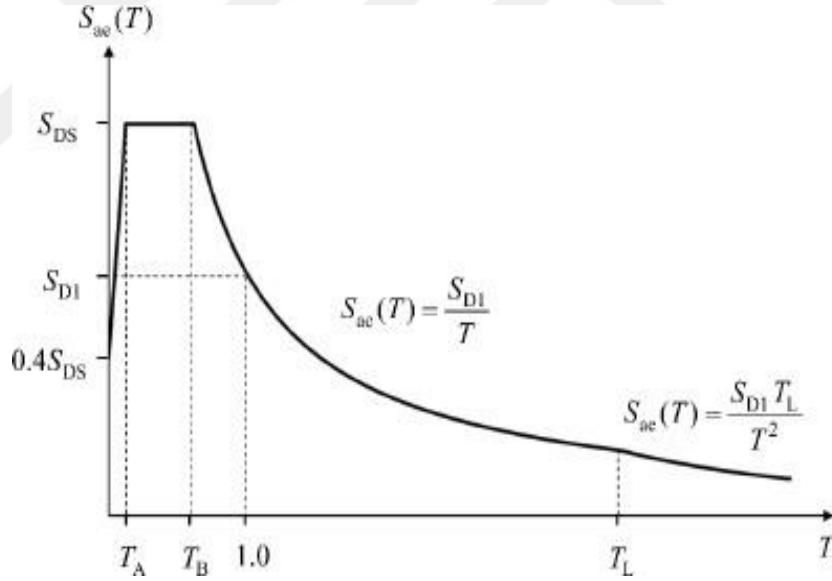
Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden aşağıdaki denklem seti ile tanımlanmıştır (Şekil B.1.):

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

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

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

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



Şekil B.1. TBDY, 2018 e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumu

Burada S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B ise S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle tanımlanır. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınmaktadır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

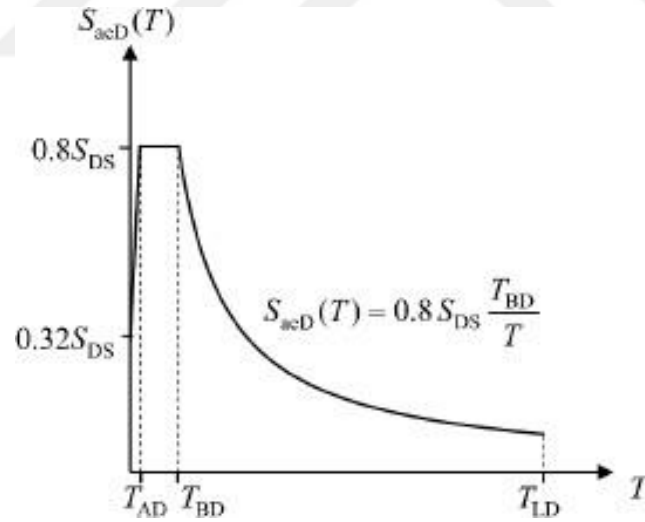
TBDY, 2018 de Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki denklem seti ile tanımlanmıştır (Şekil B.2.):

$$S_{aeD}(T) = (0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD})$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD})$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})$$



Şekil B.2. TBDY, 2018 e göre Düşey elastik tasarım ivme spektrumu

TAD ve TBD düşey spektrum köşe periyotları ile TLD periyodu aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3}$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{2}$$



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Yaşar ALTUN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği (Geoteknik)	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Okan Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kentsel Dönüşüm	2017
Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	1998
Lise	Akpınar Öğretmen Lisesi	1992

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2003-Halen	Emlak Konut GYO A.Ş	Etüd Proje Müdürü
2002-2003	Kalyon İnşaat San. A.Ş	İhale-Proje Kontrol Teknik Ofis Şefi
2000-2002	Başyazıcıoğlu İnşaat San. Tic. Ltd. Şirketi	Statik-Betonarme Proje

YABANCI DİL

İngilizce