



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**EŞDEĞER LİNEER VE EFEKTİF GERİLME
TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN TEPKİSİ
ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İZMİR'DE
ALÜVYONEL BİR ZEMİN PROFİL ÖZELİNDE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Etkü Dokuzlu

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**EŞDEĞER LİNEER VE EFEKTİF GERİLME
TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN TEPKİSİ
ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İZMİR'DE
ALÜVYONEL BİR ZEMİN PROFİL ÖZELİNDE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Etkü Dokuzlu

Danışman : Prof. Dr. Alper Sezer

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Yüksek Lisans Programı

İzmir
2023

Etka DOKUZLU tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Eşdeğer lineer ve efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan zemin tepkisi analiz yöntemlerinin İzmir’ de alüvyonel bir zemin profil özelinde karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 04/05/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile **başarılı** bulunmuştur.

Jüri Üyeleri: İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Alper SEZER

Raportör Üye : Dr. Öğr. Üyesi Devrim Ş. ERDOĞAN

Üye : Prof. Dr. Cem KINCAL

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi Olarak Sunduğum “Eşdeğer lineer ve efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan zemin tepkisi analiz yöntemlerinin İzmir’de alüvyonel bir zemin profil özelinde karşılaştırılması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../2023

İmzası

Etkü DOKUZLU

ÖZET

EŞDEĞER LİNEER VE EFEKTİF GERİLME TABANLI DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN TEPKİSİ ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İZMİR'DE ALÜVYONEL BİR ZEMİN PROFİL ÖZELİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

DOKUZLU, Etkä

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Alper SEZER

Mayıs 2023, 104 sayfa

Sahaya özel zemin davranış analizleri, TBDY-2018'e göre ZF yerel zemin sınıfına giren zeminlerin yüzeyindeki tepki spektrumunu elde etmek için yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, İzmir ili, Bayraklı ilçesi Manavkuyu Mahallesiine ait bir sondaj lokasyonunda eşdeğer doğrusal ve efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan zemin tepkisi analizleri yapılmıştır. Bu analizler hem DD-1 hem de DD-2 deprem seviyeleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Pik yer ivmesinin etkisi de değerlendirilerek kayma birim deformasyonları ve yüzey tepki spektrumları baz alınarak doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kuvvetli yer hareketi, deprem, sahaya özel zemin tepki analizi, eşdeğer lineer zemin davranış analizi, efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan zemin davranış analizi, elastik tasarım spektrumu



ABSTRACT

A COMPARISON OF EQUIVALENT LINEAR AND EFFECTIVE STRESS BASED NONLINEAR GROUND RESPONSE ANALYSIS METHODS CONSIDERING AN ALLUVIAL SOIL PROFILE IN İZMİR

DOKUZLU, Etkä

M.Sc. in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Alper SEZER

May 2023, 104 pages

Site-specific soil response analyses are performed to determine surface response spectra of soils that are classified as “ZF”, according to TBDY-2018, Turkish Building Earthquake Code. Within the scope of this study, equivalent linear and effective stress-based non-linear ground response analyses were carried out considering a soil investigation performed at Manavkuyu District, Bayraklı, İzmir. The analyses were individually performed both for DD-1 and DD-2 earthquake levels. Taking the effect of peak ground acceleration into consideration, results obtained by linear and nonlinear analyses were comparatively interpreted considering shear strains and surface response spectra.

Keywords: Earthquake, site-specific seismic response analysis, response spectrum, elastic design spectrum, equivalent linear ground response analysis, effective stress-based nonlinear ground response analysis.

ÖNSÖZ

Tarih boyunca depremler büyük miktarda can ve mal kaybına sebep olmuştur. Ülkemizin coğrafyası dünyanın en etkili deprem kuşaklarından birinde yer almaktadır. Aynı zamanda lisans eğitimimi tamamladığım şehir İzmir 1. derece deprem bölgesinde yer alması ile birlikte, tarihte çok fazla deprem yaşamıştır. Ayrıca, İzmir’de 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen deprem, çok fazla can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Tüm bu nedenler tez konumun seçim sürecinde bana ışık tutmuştur.

İZMİR

... / ... / 2023

Etki DOKUZLU



İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. DEPREMLER VE ZEMİN DAVRANIŞI	4
2.1. Deprem ve analizi hakkında genel bilgiler	4
2.2 Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri	7
2.2.1 Frekans içeriği	7
2.2.1.1 Fourier spektrumları	7
2.2.1.2 Tepki spektrumları	7
2.2.2 Depremin hareket süresi	8
2.2.3 Genlik parametreleri	9
2.2.3.1 Pik ivme	10
2.3 Zemin Davranış Analizi	12
2.3.1 Bir Boyutlu Eşdeğer Lineer Zemin Davranış Analizi	12
2.3.2 Bir Boyutlu Doğrusal Olmayan Zemin Davranış Analizi	15
2.3.3 Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Analiz ile Doğrusal Olmayan Analizin Karşılaştırılması	18
3. SAHAYA ÖZEL DAVRANIŞ ANALİZLERİ	20
3.1 Bölgenin Jeolojisi	21
3.1.1 Temel Kaya Birimleri	21
3.1.2 Neojen ve Kuvaterner	22
3.2 Çalışma Bölgesinin Jeolojisi	24
3.3 İnceleme alanı (Manavkuyu Mahallesi) Hakkında Genel Bilgiler	25

3.4	İnceleme Alanı Kapsamında Ele Alınan Sondaj Lokasyonu, Arazi ve Laboratuvar Verileri.....	27
3.4.1	Standart Penetrasyon Testi (SPT) Sonuçları	28
3.4.2	Kanatlı Kesici Deneyi (Veyn Deneyi).....	32
3.4.3	Laboratuvar Deneyleri.....	33
3.4.4	Jeofizik Verileri.....	34
3.4.4.1	Kayma Dalgası Hızlarının (V_s) Korelasyonlarla Hesaplanması	35
3.4.4.2	Kayma Dayanımı (τ) Korelasyonlarla Hesaplanması.....	38
3.5	Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi	41
3.6	İnceleme Alanının Depremselliği.....	42
3.7	Sondaj Lokasyonları Elastik Tasarım (Dizayn) Spektrumlarının Belirlenmesi	45
3.8	Anakaya Derinliğinin Belirlenmesi.....	51
3.9	Deprem Kaydının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi.....	52
3.10	Deepsoil programında dinamik zemin modelinin oluşturulması	59
3.10.1	Kayma modülü azalım ve sönüm eğrisi	59
3.10.2	Kayma modülü azalım ve sönüm oranı eğrisi	61
3.10.3	Boşluk suyu basıncı parametreleri	65
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	68
4.1	Kayma Gerilmesi Oranı (τ / σ_v') – Kayma Birim Deformasyon İlişkileri.....	68
4.2	Sismik zemin davranışında eşik kayma birim deformasyonu seviyelerin önemi	70
4.3	Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin tepki analizlerinin kayma birim deformasyonu seviyeleri açısından karşılaştırılması.....	73
4.4	Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan yüzey tepki spektrumu oranlarının periyot ve kayma birim deformasyonu seviyelerine göre değişimi.....	78
4.5	Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan amplifikasyon (ivme büyütmesi) değerlerinin periyot seviyelerine göre değişimi ve karşılaştırılması	81
4.6	Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan kayma birim deformasyonlarının derinlikle değişiminin karşılaştırılması	83

4.7 Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan maksimum boşluk suyu basıncı oranının derinlikle değişiminin karşılaştırılması	91
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	97
TEŞEKKÜR	103
ÖZGEÇMİŞ	104
EKLER..	105





ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2020)	2
Şekil 2.1. Tek serbestlik dereceli sistemde tepki spektrumu (Kramer, 1996)	8
Şekil 2.2. El Mayor-12 depremi ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman grafikleri	9
Şekil 2.3. Landers-02 deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafiği	10
Şekil 2.4. Darfield-14 deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafiği	11
Şekil 2.5. Zeminin nonlinear gerilme-şekil değiştirme bağlantısı (Kılıç, 2017) ...	16
Şekil 3.1. İzmir çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası	23
Şekil 3.2. Batı Anadolu'nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifi'nde çalışılmış olan iki bölgenin yeri (Erdoğan ve Güngör, 1992).....	24
Şekil 3.3. Çalışma bölgesinin ve çevresinin jeoloji haritası.	25
Şekil 3.4. İnceleme alanının konumu (a) İzmir ili, (b) Bayraklı ilçesi, (c)Manavkuyu Mahallesi (https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi)	27
Şekil 3.5. Sondaj lokasyonunun Bayraklı ilçesi içerisindeki konumu.....	27
Şekil 3.6. Sondaj lokasyonlarında yapılan SPT deneylerine ait derinliğe bağlı (a) N30 (b) N60 (c) N1,60 verileri	32
Şekil 3.7. Sondaj lokasyonlarında yapılan Veyn deneylerine ait maksimum kayma mukavemeti verileri	33
Şekil 3.8. Sondaj lokasyonlarında yapılan Veyn deneylerine ait rezidüel kayma mukavemeti verileri	33
Şekil 3.9. Korelasyonlarla hesaplanan kayma dalgası hızlarının derinlikle değişim grafiği.....	37
Şekil 3.10. Kayma Dalgası Hızlarının ortalaması ve Standart Sapmalarının derinlikle değişim grafiği.....	37
Şekil 3.11. Efektif, Toplam ve Standart Sapmaların Kayma Dayanımlarının derinlikle değişim grafiği.....	41
Şekil 3.12. TBDY 2018 Tablo 16.1'e göre yerel zemin sınıfları	42
Şekil 3.13. Türkiye'nin başlıca tektonik levha yapıları	43
Şekil 3.14. İzmir bölgesi aktif fay haritası.....	43
Şekil 3.15. İzmir bölgesindeki 1900 yılından itibaren 5-10 Mw büyüklüğünde meydana gelen depremler	44

Şekil 3.16. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları sisteminden çalışma alanı için alınan ve DD-1 deprem tasarım sınıfı için alınan spektral ivme değerlerinin grafiği	49
Şekil 3.17. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları sisteminden çalışma alanı için alınan ve DD-2 deprem tasarım sınıfı için alınan spektral ivme değerlerinin grafiği	50
Şekil 3.18. Ölçeklendirilmemiş Tabas-01 depreminin birinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafiği	53
Şekil 3.19. Ölçeklendirilmemiş Tabas-01 depreminin ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafiği.....	53
Şekil 3.20. DD-1 deprem düzeyinin hedef PSA' sına dayalı olarak ölçeklendirilmiş aritmetik ortalama PSA (Log. Ölçekli)	57
Şekil 3.21. DD-2 deprem düzeyinin hedef PSA' sına dayalı olarak ölçeklendirilmiş aritmetik ortalama PSA (Log. Ölçekli)	58
Şekil 3.22. Zemin profiline ait farklı derinlikteki $G/G_{\max}$ – Kayma Birim Deformasyon grafiği	61
Şekil 3.23. Zemin profiline ait farklı derinlikteki Sönüm Oranı – Kayma Birim Deformasyon grafiği	62
Şekil 3.24. Zemin profiline ait farklı derinlikteki Kayma Dayanımı – Kayma Birim Deformasyon grafiği	62
Şekil 4.1. Zemin yüzeyi (15.45 m derinliğindeki tabaka) kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkileri (a) Efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan model (b) Eşdeğer doğrusal model (Deprem Düzeyi -1 Büyüklüğü $M=7.35$ olan ve kaydın alındığı lokasyondaki $V_{s,30}=324.57$ m/sn olan deprem Tabas-01A).....	69
Şekil 4.2. Zemin yüzeyi (30.45 m derinliğindeki tabaka) kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkileri (a) Efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan model (b) Eşdeğer doğrusal model (Deprem Düzeyi -1 Büyüklüğü $M=7.35$ olan ve kaydın alındığı lokasyondaki $V_{s,30}=324.57$ m/sn olan deprem Tabas-01A).....	70
Şekil 4.3. Zemindeki kayma birim deformasyonu düzeyine bağlı olarak ihtiyaç duyulan zemin modeli ve sismik tepki analiz yöntemi (Ishihara, 1996)	71
Şekil 4.4. Dinamik kayma modülünün kayma birim deformasyon düzeyine bağlı olarak değişimi ve kayma birim deformasyonu için eşik değerler (Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina, 2008).....	73
Şekil 4.5. Sismik yükleme sırasında kayma birim deformasyonu eşik değerlerine göre tipik zemin davranışı (Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina, 2008).....	73

Şekil 4.6. DD-1 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.7. DD-2 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.8. DD-1 ve DD-2 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.9. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-1).....	76
Şekil 4.10. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-2).....	77
Şekil 4.11. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-1 ve DD-2).....	77
Şekil 4.12. DD-1 için ($T=0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2$ sn.) spektral periyotlar için S_a (EL) / S_a (NL) oranının tahmin edilen kayma birim deformasyonu indeksine ($I_\gamma=PGV/V_{s,30}$) göre değişimleri	79
Şekil 4.13. DD-2 için ($T=0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2$ sn.) spektral periyotlar için S_a (EL) / S_a (NL) oranının tahmin edilen kayma birim deformasyonu indeksine ($I_\gamma=PGV/V_{s,30}$) göre değişimleri	80
Şekil 4.14. DD-1 için doğrusal olmayan analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi	81

Şekil 4.15. DD-1 için eşdeğer doğrusal analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi.....	82
Şekil 4.16. DD-2 için doğrusal olmayan analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi	82
Şekil 4.17. DD-2 için eşdeğer doğrusal analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi.....	83
Şekil 4.18. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.63 \text{ g}$).....	84
Şekil 4.19. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.63 \text{ g} < PGA < 0.87 \text{ g}$)	84
Şekil 4.20. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.87 \text{ g}$).....	85
Şekil 4.21. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.63 \text{ g}$).....	86
Şekil 4.22. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.63 \text{ g} < PGA < 0.87 \text{ g}$)	86
Şekil 4.23. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.87 \text{ g}$).....	87
Şekil 4.24. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.38 \text{ g}$).....	88
Şekil 4.25. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 \text{ g} < PGA < 0.52 \text{ g}$)	88
Şekil 4.26. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.52 \text{ g}$).....	89
Şekil 4.27. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.38 \text{ g}$).....	89
Şekil 4.28. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 \text{ g} < PGA < 0.52 \text{ g}$)	90
Şekil 4.29. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.52 \text{ g}$).....	90
Şekil 4.30. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.63 \text{ g}$).....	91

Şekil 4.31. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.63 \text{ g} < \text{PGA} < 0.87 \text{ g}$)	92
Şekil 4.32. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($\text{PGA} > 0.87 \text{ g}$).....	92
Şekil 4.33. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($\text{PGA} < 0.38 \text{ g}$).....	93
Şekil 4.34. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 \text{ g} < \text{PGA} < 0.52 \text{ g}$)	94
Şekil 4.35. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($\text{PGA} > 0.52 \text{ g}$).....	94





TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Tabakalanmaya bağlı transfer fonksiyonları	13
Tablo 3.1. Sondaj kuyusunun derinliğe göre SPT sonuçları N_{30} , N_{60} ve $N_{1,60}$ değerleri	30
Tablo 3.2. Elek analizi, Atterberg limit deneyleri, zemin sınıflandırma ve sıkılık/kıvam sonuçları.....	34
Tablo 3.3. Tüm korelasyonlarla hesaplanan V_s değerleri	36
Tablo 3.4. Tüm korelasyonlarla hesaplanan Efektif ve Toplam Kayma Dayanımları	40
Tablo 3.5. İzmir bölgesi civarındaki aktif fayların özellikleri.....	45
Tablo 3.6. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı.....	47
Tablo 3.7. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı.....	48
Tablo 3.8. DD-1 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri(PEER, 2006).....	55
Tablo 3.9. DD-2 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri (PEER, 2006).....	56
Tablo 3.10. Zeminin sondaj profilinde Darendeli (2001) yaklaşımına göre giriş verileri.....	60
Tablo 3.11. Zemin profiline ait 4.95 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri	63
Tablo 3.12. Zemin profiline ait 10.2 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri	63
Tablo 3.13. Zemin profiline ait 15.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri	64
Tablo 3.14. Zemin profiline ait 30.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri	64
Tablo 3.15. Zemin profiline ait 51.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri	65
Tablo 3.16. Zemin profili için boşluk suyu basıncı parametreleri.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
C_B	Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı
C_E	Enerji düzeltme katsayısı
C_M	Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı
C_N	Kohezyonsuz zeminlerde jeolojik gerilme düzeltme katsayısı
C_R	Tij boyu düzeltme katsayısı
C_S	Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı
c_u	Drenajsız kayma dayanımı (kPa)
$(c_u)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı (kPa)
D	Sönüm oranı
G	Kayma modülü
H	Zemin katmanının kalınlığı
N	Standart Penetrasyon deneyi (SPT) darbe sayısı
$(N_{60})_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
$N_{60,i}$	i'inci alt tabakanın standart penetrasyon darbe sayısı
$N_{1,60}$	Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı
$u_{\max}$	Yatay yer değiştime bağıntısı
τ	Kayma dayanımı (kPa)
V_s	Kayma dalgası hızı (m/s)

$(V_s)_{30}$ Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

V_{ss}^* Zeminin kompleks kayma dalgası hızı

w Doğal su içeriği

ω Zeminin frekansı

ξ Zeminin sönümü

ϕ' İçsel sürtünme açısı

γ Zemin tabii birim hacim ağırlığı (kN/m³)

γ_d Zemin suya doymun birim hacim ağırlığı (kN/m³)

γ_{su} Suyun birim hacim ağırlığı (kN/m³)

Kısaltmalar

CPT Koni Penetrasyon Deneyi

SPT Standart Penetrasyon Deneyi

PGA Maksimum yatay yer ivmesi

PI Plastisite indisi

PL Plastik Limit

LL Likit Limit



1. GİRİŞ

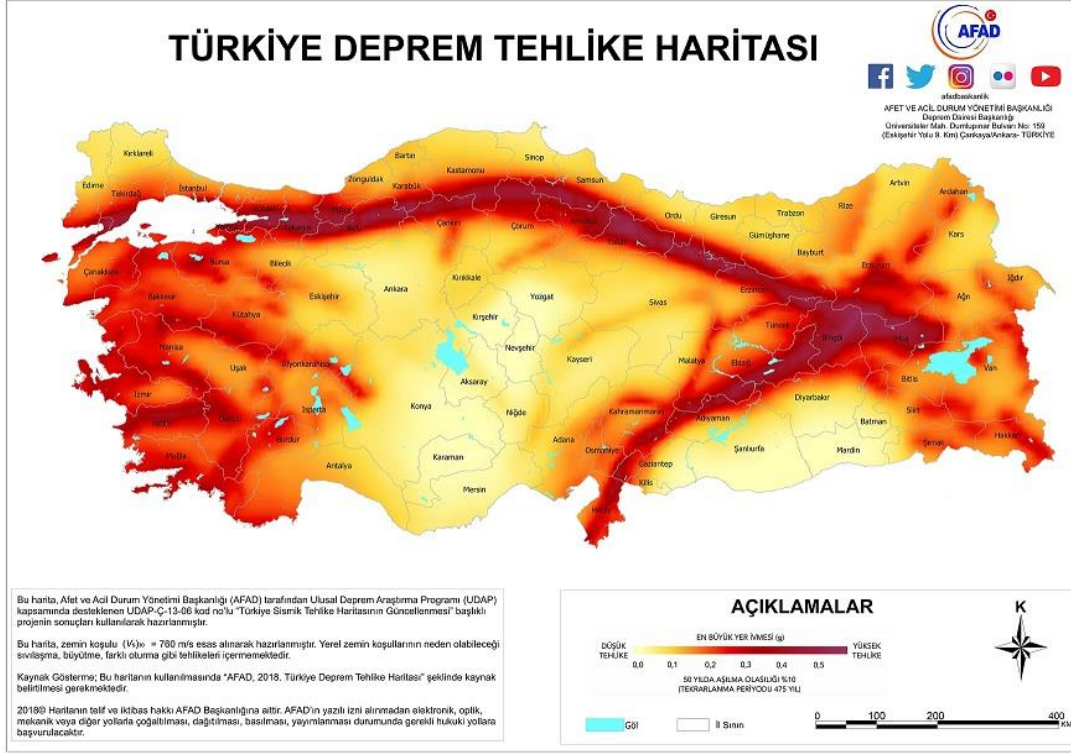
Zemin mekaniği, zeminlerin mühendislik özelliklerini ve dış etkiler altındaki davranışını inceleyen, inşaat mühendisliğinin bir bilim dalıdır. 1925 yılından itibaren Karl Terzaghi'nin öncülüğünü yaptığı çalışmaların birçoğunda “statik yük” koşullarında zeminin davranışı belirlenmiştir. Ancak, “dinamik yük” koşullarında zeminin davranışı sonraları önemsenmeye başlamıştır. Dinamik yükleme koşullarında zeminin davranışı ile gerilme-birim şekil değiştirme özelliklerinin çeşitli şartlara bağlı olduğu ve statik yükleme durumu ile karşılaştırıldığında, ciddi düzeyde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Zemin mekaniğinin bir kolu olan “zemin dinamiği”, dinamik yükler altında zemin davranışının analiz edilmesini inceler. (Das, 1993). Depremler, patlamalar, inşaat imalatları, madencilik, trafik, dalga hareketi, rüzgâr, makinalar dinamik yük kaynakları olarak bilinmektedir.

Depremler, dinamik yüklerin meydana getirdiği sonuçlar arasından en önemlisi olanıdır. Depremler, insanları ve çevresini etkisi altına alacak güce sahip kuvvetli yer hareketleridir. Deprem araştırmaları yüzyıllar öncesinden başlamıştır. Çin’de bulunan deprem kayıtları 3000 yıl geçmişe dayanmaktadır. Çinli bir bilim adamı olan Chang Heng tarafından ilk deprem kayıt cihazı M.S. 132’de bulunmuştur (Kramer, 1996). Depremler geçmişte de olduğu gibi gelecekte de meydana gelmeye devam edecektir. Depremler dünyanın değişik konumlarında milyonlarca insanın canları ve mallarını büyük ölçüde tehdit etmektedir (Bolt, 1999).

Dünyanın en etkili deprem kuşaklarından birisi ülkemizin coğrafyasıdır. Ülkemizin %92’sinin deprem bölgeleri içerisinde bulunduğu, ülkemizin nüfusunun %95’inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi bölgelerinin %98’i ve barajlarımızın %93’ünün deprem bölgesinde olduğu Deprem Bölgeleri Haritası incelendiğinde görülmektedir. 58.202 vatandaşımız son 58 yılda depremlerden dolayı hayatını kaybetmiştir. 122.096 kişi yaralanmış ve ortalama 411.465 bina ağır hasar görmüş veya yıkılmıştır (Afad, 2019).

Bu rakamların ışığında, depremlerden her yıl yaklaşık olarak 1.003 insanımız hayatını kaybetmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır. Can kaybı açısından Türkiye depremlerde dünyada üçüncü, depremden etki gören insan sayısı açısından

sekizinci sırada bulunmaktadır. Şekil 1.1’de Türkiye deprem tehlike haritası verilmektedir (Afad, 2019).



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2020)

Depremlerin oluşturduğu yer hareketleri kaynak, arazi özellikleri ve izlenen yol gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu sebepten ötürü, yerel arazi koşulları, bölgesel hareketlilik, depremin sönümlenmesi gibi şartların göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, bu faktörler yer hareketlerinin değerlendirmesi için kullanılacaktır. Yerel zemin koşulları, yer hareketi sırasında yapılara etkiyen yer ivmesinin genliğini, frekans özelliklerini, bununla ilgili olarak atalet kuvvetlerini önemli derecede etkilediği görülmektedir. Bundan dolayı, yapıların inşasından öncesinde hazırlanan zemin etüt raporlarında, arazideki temel zeminini meydana getiren katmanların varlığı muhtemel bir yer hareketi esnasında gerçekleştireceği davranışın da araştırılması gerekli görülmektedir (Selçuk, 2007).

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Depremlerin meydana gelmesini engellemek mümkün değildir. Ancak, meydana getirdiği zararları hafifletme imkânı vardır, bu durumla ilgili dünya

apında araştırmalar sürmektedir. Bu çalışmanın amacı da, İzmir’ de bulunan alüvyonel bir zemin profili üzerinde deprem sırasındaki zemin davranışının modellenmesidir.

Bu alışmada Bayraklı’daki bir zemin profilinin ortaya koyduğu zemin davranışı, eşdeğer lineer ve doğrusal olmayan yöntemleri kullanarak analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur. Bu karşılaştırma, DEEPSOIL yazılımı kullanarak yapılmıştır (Hashash, 2020). Araştırmanın gerçekleştirildiği zeminin yerel zemin şartları ve çalışma bölgesinin jeolojik durumu araştırılmış ve kapsamlı zemin modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile farklı depremlerin yer hareketleri kullanarak, zemin davranış analizi eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

2. DEPREMLER VE ZEMİN DAVRANIŞI

2.1. Deprem ve analizi hakkında genel bilgiler

Bulunduğumuz yerküre, hareketli(dinamik) bir sisteme sahip olduğu için zamanla bir takım farklılıklar meydana gelebilmektedir. Yer küre üç katmanlıdır. Bu katmanlar kabuk(taşküre-litosfer), manto ve iç ve dış çekirdekten meydana gelmektedir. Dünyanın hareketli olması yavaş veya hızlı, ani ve kronik farklılıklar, yerkürenin yüzeyinde çok değişik topoğrafyalarının meydana gelmesine sebep olur. İç ve dış kuvvetlerin yeryüzüne etki etmesiyle yeryüzünün şekli sürekli değişime uğrar. Yerkabuğunda meydana gelen bu şekil değişimlerinden üzerinde yaşayan canlılar direk olarak etkilenir. Öncelikle, depremin neden olduğunu bilmek için yerkürenin iç yapısını tanımak gerekir. Yerkürenin dış tarafında bulunan taşkürenin yaklaşık olarak 70-100 km kalınlığında olduğu bilinmektedir. Bu taşkürenin içerisinde kıtalar ve okyanuslar mevcuttur. Manto, litosfer ile çekirdek arasında kalan katmana denir. Mantonun yukarı kısmında meydana gelen basınçlarla, başta konveksiyon akımlarıyla, taş kabuk ayrılarak birçok “Levha”lara bölünmektedir. Litosferdeki gerilmeler konveksiyon akımlarının üstlere yükselmesiyle oluşur. Bu gerilmelerin sonucunda zayıf zonlar kırılır ve Levhalar meydana gelir. Bu levhalar üzerinde kıtalar vardır. Astenosfer üzerindeki levhalar kıtalar ile beraber, interaktif özelliğiyle insanların farkedemeyeceği bir hızla hareket ederler. Konveksiyon akımlarının arttığı noktalarda levhalar birbirinden ayrılır. Levhaların birbirlerine dokundukları yerlerde sürtünmeler ve sıkışmalar meydana gelir. Birbiriyle sürtünen levhalardan birtanesi Manto’ya batarak ve eriyerek yitme zonlarını meydana getirir. Bu ardışıklı durum, konveksiyon akımlarının sebebiyle Litosfer’ in altında sürmektedir (Kramer, 2003).

Yerkabuğunda oluşan kıtalar, yüzen tektonik levhalar şeklinde mantonun sıvılaştıran bölümleri üzerinde toplanmışlardır. Levhaların dinamikliği gerilme birikimine sebep olur. Süreksizlik/zayıf zonları boyunca bu birikim fay olarak meydana gelir. Levha içlerinde ve kenarlarında bu hareketler esnasında enerji toplanmakta ve kabuk dayanımının azaldığı durumda enerji oluşmaktadır. Kıta levhaları ve okyanus levhaları birbirlerine doğru yönelmesiyle, tektonik levhaların güçsüz kısımlarında(fay) çatlaklar ya da kırılmalar oluşmaktadır.

Bu fay kırılmalarıyla yerkabuğundaki enerjinin ani olarak salınımı gerçekleşir ve kayaların topladıkları elastik enerji bir anda meydana çıkmaktadır. Yeryüzüne hareketli dalgalar olarak ulaştığı gözlenmektedir. Yer kabuğunun içerisinde meydana gelen kırılmalarla ilişkili bir anda meydana gelen titreşimlerin dalgalar gibi genişleyerek ilerledikleri tabakaları ve zemini sallamasına “deprem” denir. Her bir depremin hasara göre çeşitlilik gösteren “şiddet” değeri buna karşıda tek bir “büyüklük” değeri vardır (Afad, 2019).

Deprem dalgaları, kütlelerin bir anda kayması ile yer hareketi olurken meydana gelmektedir. Kayaçların içerisinde dalgalar odaktan çevreye doğru yayılırlar. Deprem dalgaları üçe ayrılır. Bunlar; P,S ve Yüzey dalgaları olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

P dalgaları: Boyuna dalgalardır. Kayıt sistemine ilk gelen dalga türüdür. Kabuğun yapısına göre hızı 1.5 ile 8 km/sn arasında olmaktadır. Taneciklerin davranışları yayılmanın doğrultusuyla paralel çalışır. Oluşabilecek hasarın tesiri küçüktür.

S dalgaları: Enine dalgalardır. Kayıt sistemine ikinci olarak varan dalga türüdür. Bu dalganın hızı P dalgası hızının %60’ı ile %70’i arasında değişiklik gösterir. Taneciklerin hareketleri yayılmanın doğrultusuyla çapraz veya diktir. Oluşabilecek hasarın etkisi yüksektir.

Yüzey dalgaları: P ve S Dalgalarının ardından kayıt sistemlerine varan ve depremlerde en önemli hasarı oluşturan dalga türüdür. Dünya’nın yüzeyi boyunca yayılır. Bu dalgalar Love ve Rayleigh dalgalarıdır (Özçep, 2019).

Odak Noktası(Hiposantr): Deprem enerjisinin meydana geldiği yerkürenin içindeki bir noktadır. Diğer bir deyişle, iç merkezde denir. Odak noktası, bir alanı ifade etmektedir (Tüysüz vd., 2019).

Dış Merkez (Episantr): Yer içindeki odak noktasının yeryüzündeki izdüşümüdür. Dış merkez depremin en kuvvetli olarak hissedildiği alan veya en çok yıkıma neden olduğu alandır (Tüysüz vd., 2019).

Odak Derinliği: Yeryüzünden depremin enerjisinin oluştuğu nokta arasındaki en kısa uzaklığa depremin odak derinliği denir. Diğer bir deyişle episantr ve hiposantr arasındaki düşey uzaklıkta denilmektedir. Odak derinliklerine göre depremler sınıflandırılır. Tektonik depremler için bu sınıflandırma geçerlidir. Bir levhanın bir diğer bir levhanın altına girdiği bölgelerde daha çok orta ve derin depremler meydana gelir. Derin olarak meydana gelen depremler çok geniş bir bölgeyi kapsar

ve hissedilir. Buna karşı olarak derin depremlerin hasarı azdır. Sığ depremler için ise tam tersi bir durum vardır. Sığ depremler dar bir alanı kapsar fakat bu alanda çok büyük hasarlara neden olabilir (Tüysüz vd., 2019).

Şiddet: Rastgele bir derinlikte meydana gelen bir yer hareketinin, yeryüzünde farkına varıldığı bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Yer hareketinin şiddeti; insanlar, doğa ve yapılar üzerinde gösterdiği etki ile ölçülür. Depremin şiddet değerinin bulunmasında, dış merkeze olan yakınlık ve uzaklık, yerel zemin şartları ve farklı türdeki yapı özelliklerinin önemi bulunmaktadır. Şiddet, tamamıyla gözlemsel bilgilere dayanmaktadır (Tüysüz vd., 2019).

Magnitüd (Büyüklik): Büyüklik, yer hareketi esnasında meydana gelen enerjinin bir ölçüdür. Dış merkezden 100 km mesafedeki, sert zeminin içerisine koyulmuş sismografla kaydedilmiş zemin davranışının mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritması bir yer hareketinin magnitü olarak açıklanmaktadır.

M_L (Richter Ölçeği): 1930 yılında Charles Richter tarafından bulunmuştur. Richter ölçeği, dalga genliğinin logaritması olarak açıklanmaktadır. Diğer bütün ölçekler, Richter ölçeği referans alınarak oluşturulmuştur.

M_I : Richter'in orijinal ilişkisiyle bulunmaktadır. Kullanım alanları sığ, yakın ve küçük depremlerdir (Lokal magnitüd).

M_b : P ve S dalgalarının genliği referans alınarak hesaplanmaktadır (Cisim dalgası mag.(Body wave magnitude)).

M_d : Yakın ve çok ufak yer hareketlerinin süresiyle bulunmaktadır (Süre büyüklüğü).

M_S : Yüzey dalgalarının genliği referans alınarak hesaplanmaktadır (Surface-wave magnitude).

M_w : Ortaya çıkan enerjinin sismik momentinden hesaplanmaktadır (Moment magnitude).

M_e : Yer hareketinin meydana getirdiği enerji yayılım miktarı, yapılarda ortaya çıkan hasar potansiyelinin bir ölçüsüdür (Tüysüz vd., 2019).

2.2 Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri

Uygulanan analizlerde kuvvetli depremin karakteristiğini oluşturmak gerekmektedir. Çünkü böylelikle, dinamik yükler altındaki zemin ve oluşan zemin-yapı tepkisi belirlenmektedir. Bir yer hareketinin tipik özellikleri frekans içeriği, hareket süresi ve genliktir.

2.2.1 Frekans içeriği

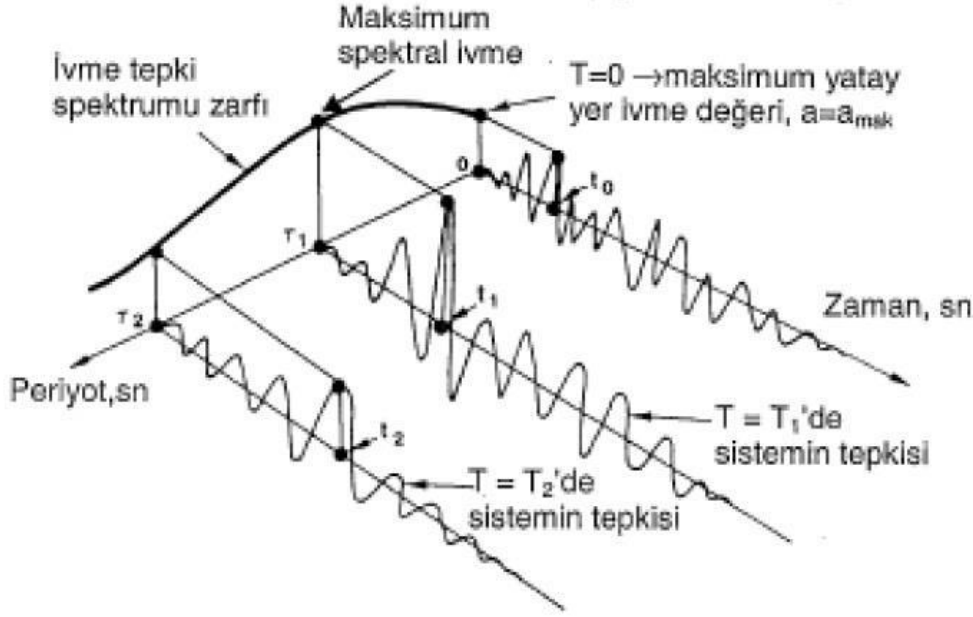
Kuvvetli depremin genliğinin değişik frekanslardaki dağılımına yer hareketinin frekans içeriği ($f=1/T$) olarak adlandırılmaktadır. Hareketin özelliklerinin belirlenmesiyle kuvvetli depremin frekans içeriğini tanımlanmaktadır. Hareket özellikleri için çeşitli spektrumlar değerlendirilmektedir (Ohsaki, 1976).

2.2.1.1 Fourier spektrumları

Fourier analiziyle bir periyodik yer hareketinin çeşitli genlik, frekans ve fazdaki basit harmonik karakteristiklerinin toplamı hesaplanmaktadır. Fourier spektrumu, fourier genliği ile frekans ilişkisi grafiğinden açıklanmaktadır. Hareketin frekans içeriğini direkt fourier spektrumundan çıkarılmaktadır (Kramer, 1996). Değişen frekanslara sahip olan kuvvetli bir depremin yapılar üzerinde meydana getireceği etkiyi tepki spektrumları göstermektedir.

2.2.1.2 Tepki spektrumları

Tepki spektrumu, kuvvetli bir depremin tek serbestlik dereceli (TSD) sistemde sönümleme oranı ve doğal frekansı ile ilişkili meydana gelen karakteristik özelliklerinin (hız, yer değiştirme ve ivme) en yüksek değerlerini vermektedir. (Şekil 2.1) Bir yapının belli bir deprem yer hareketi etkisinde gösterdiği davranışa tepki spektrumu denir. Ayrıca tepki spektrumu, yapı davranış spektrumu olarak anılmaktadır. Yapının bu tepkisi, ivme tepki spektrumu, deplasman tepki spektrumu veya hız tepki spektrumu olarak da anılmaktadır.



Şekil 2.1. Tek serbestlik dereceli sistemde tepki spektrumu (Kramer, 1996)

Literatür araştırmalarında daha kısa süreye ve daha büyük ivmeye sahip depremlerdense daha düşük maksimum ivmeli kuvvetli depremin uzun süre sürmesi daha büyük hasara sebep olduğu gözlenmektedir (Elnashai ve Sarno, 2008). Buna ek olarak, kayadaki hareketin zemindeki harekete kıyaslanmasıyla, yüksek periyotlardaki düşük spektral ivme değerlerinin ve daha düşük periyotlarda ise daha yüksek spektral ivme değerlerinin meydana geldiği gözlenmektedir. Kayadakiyle karşılaştırıldığında zeminlerde ise büyük periyotlarda daha büyük spektral ivme ve yer değiştirme değerleri görülmektedir (Kramer, 1996). Bu sebepten dolayı, tepki spektrumu değeri kuvvetli yer hareketlerine karşılayabilecek sağlam yapıların yapımı için çok kritik bir değişkendir.

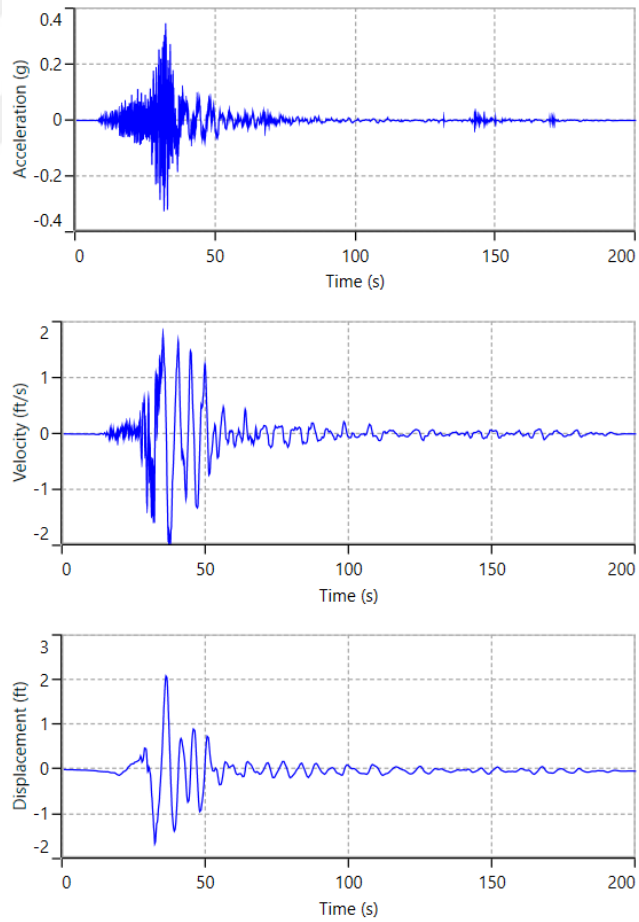
2.2.2 Depremi hareket süresi

Depremi süresi deprem hasarı için önemli bir etkidir. Eşik ivmenin (0.05 g) aşıldığı ilk ve son zaman arasındaki geçen süreye depremi süresi olarak açıklanmaktadır. Yapılarda dayanımın ve rijitliğin düşmesi ya da suya doymuş kumlarda boşluk suyu basıncının yükselmesi (gevşek kum gibi hareket etmesi) gibi sebepler güçlü depremler esnasında meydana gelen yükleme ve tekrarlanma sayısına göre yıkıcı hasarlara yol açmaktadır (Naeim, 2001). Sonuç olarak, kuvvetli

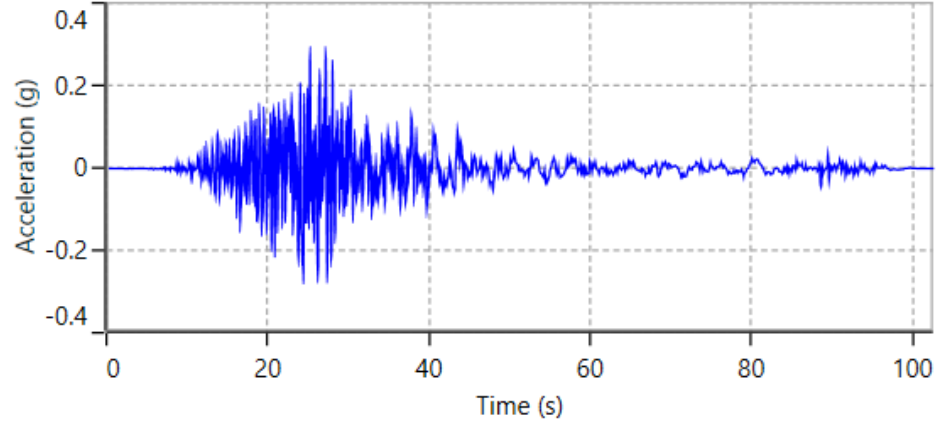
yer hareketinin büyüklüğü fazla olsa da süresi kısa ise yıkıcı özelliği tesir etmeyebilir. Fakat, depremin süresi uzun ise depremin büyüklüğü düşük olsa da yıkıcı sonuçlara sebep olabilmektedir.

2.2.3 Genlik parametreleri

Kuvvetli bir depremin açıklaması çoğunlukla zaman tanım bölümündeki kayıtlar yardımıyla oluşturulmaktadır. Hareketin karakteristiği ivme, hız ve yer değiştirmesi tanımlanması zaman tanım bölümündeki kayıtlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu kayıtlardan yer değiştirme-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman kayıtlarından bir tanesi bulunmakta, diğer kayıtlar türev/integral yöntemiyle hesaplanmaktadır. Fakat son zamanlarda çoğunlukla ivme değeri ölçülmektedir. Yer değiştirme ve hız zamanla ilişkili olarak türev/integral hesaplanmaktadır. Mevcut çalışmada kullanılan El Mayor-12 depremin yer değiştirme-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman grafikleri aşağıdaki Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.2. El Mayor-12 depremi ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.4. Darfield-14 deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafiği

Analiz çalışmalarında anakayadan ortaya çıkıp başladığı kabul edilen depremlerin hareketlerinin bazı zeminlerde taban kayasına yakın bir hareket sergilediği fakat bazılarında ise bunun değişiklik gösterebileceği gözlemlenmiştir.

2.3 Zemin Davranış Analizi

Zemin davranış analizleri, sivilleşme risk değerlendirmesi, tasarım spektrumlarının geliştirilmesinde ve mühendislik yapılarına etki eden deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

2-D ve 3-D etkilerin değerlendirilmesi özellikle basen etkilerinin değerlendirilmesinde oldukça faydalı araçlardır ancak bu çalışmada, bir boyutlu zemin tepkisi analizleri tercih edilmiştir.

Zemin davranış analizleri iki farklı grupta incelenmektedir.

- Eşdeğer lineer zemin davranış analizleri (Frekans tanım alanı analizleri)
- Doğrusal olmayan zemin davranış analizleri (Zaman tanım alanı analizleri)

Bu bölümde, bir boyutlu doğrusal olmayan zemin davranış analizi, bir boyutlu eşdeğer lineer zemin davranış analizi ve deprem parametreleri anlatılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında İzmir ili Bayraklı ilçesi Manavkuyu mahallesinde yapılmış 1 adet sondaja ait zemin profili Deepsoil programında tanımlanmıştır. Bu tanımlanan zemin profili için 33 adet depremle iki analiz türü uygulanmış ve analizler sonucu elde edilen grafikler verilmiştir.

2.3.1 Bir Boyutlu Eşdeğer Lineer Zemin Davranış Analizi

Zemin davranış analiz metodlarının büyük kısmı frekans tanım alanını meydana getiren transfer fonksiyonlarına dayanmaktadır. Transfer fonksiyonları, zemin davranış analiz araştırmalarında taban kayasının ivmesi olarak gösterilen girdi hareketinin hız, ivme, yer değiştirme, kayma deformasyonu ve kayma gerilmesi gibi çeşitli değişkenleri hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. Fourier serisi, daha önceden bilinen bir anakaya hareketinin zamanla gösterdiği farklılaşma olarak gösterilmektedir. Zemin yüzeyi hareketinin Fourier serisini hesaplamak için, taban kayasının hareketinin Fourier serisindeki bütün parametreler, transfer fonksiyonu ile ayrı ayrı çarpılarak hesaplanmaktadır. Buna ek olarak, yüzeydeki hareketin zamana bağlı değişimi tersi yöntemle açıklanmaktadır. Böylece, zemin tabakası tarafından anakaya hareketindeki her bir frekans değerinin ne kadar büyütüldüğü ya da sönümlendiğini transfer fonksiyonu oluşturmaktadır (Kramer, 1996).

Transfer Fonksiyonun İncelenmesi

Eşdeğer doğrusal yönteminde bütün zemin katmaları için sönüm oranı ve sabit kayma modülü hesaplanmaktadır. Doğrusal yöntem için tayin edici bir şart olan transfer fonksiyonları katkısıyla, değişik zemin katmanlarında kuvvetli yer hareketinin tesirleri fazla karmaşık matematiksel metotlara girmeden hesaplanabilmektedir. Değişik katmanlanmaya bağlı kullanılan transfer fonksiyonlar Tablo 2.1' de gösterilmiştir (Kramer, 1996).

V_{ss}^* : zeminin kompleks kayma dalgası hızı, ω : zeminin frekansı, ξ : zeminin sönümü, u_{max} : yatay yer değiştime bağıntısı, V_s : kayma dalgası hızı, H : zemin katmanının kalınlığı

Tablo 2.1.Tabakalanmaya bağlı transfer fonksiyonları

Jeolojik Koşul	Transfer Fonksiyon
Rijit Kaya Üzerinde Üniform, İzotrop, Doğrusal Elastik, Sönümsüz Zemin	$F_{1\omega} = \frac{u_{max}(0, t)}{u_{max}(H, t)} = \frac{1}{\cos(\frac{\omega H}{V_s})}$
Rijit Kaya Üzerinde Üniform Sönümlü Zemin	$F_{2\omega} = \frac{1}{\cos(\frac{\omega H}{V_s(1 + i\xi)})}$
Elastik Kaya Üzerinde Sönümlü Zemin	$F_{3\omega} = \frac{1}{\cos(\frac{\omega H}{V_{ss}^*}) + iaz * \sin(\frac{\omega H}{V_{ss}^*})}$
Elastik Kaya Üzerinde Katmanlı Sönümlü Zemin	$F_{ij\omega} = \left \frac{u_i}{u_j} \right = \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)}$

Deprem esnasında yapılar üzerinde zeminin etkisi meydana gelebilmektedir. Bu etki, sismik dalgaların zeminde oluşturduğu frekans içeriği, saha özellikleri, hareketin yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Zemin davranışının sahada verdiği tepki üzerindeki tesirini modellemek için Park ve Hashash (2008) tarafından yapılan bir çalışmada birden fazla modifiye eşdeğer doğrusal analiz tasarlanmıştır. Zemin davranışının tesirinin oldukça kısıtlı

olduğu, çok küçük depremlerde analizlerin %20'ye kadar farklılık gösterdiği ve daha büyük genlikteki depremler için %10'luk farklılığı geçmediği araştırmada modifiye eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarında tespit edilmiştir. Zemin davranış etkisini tanımlayabilmek için genel olarak kullanılan metot frekans alanı metotudur. Bu metotudun kullanmasının sebepleri; sağlamlığı, basitliği, esnekliği, ve daha az matematiksel hesaplama yapılması olarak sıralanabilir. Fakat, bu yöntemde bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Bir sismik hareketin gerçekleştiği süre boyunca, her zemin tabakasının eşdeğer bir kayma modülü ve sönümlemesi mevcuttur. Bunların, zemin davranış analizini doğru bir şekilde gösteremediği durumlar olabilmektedir. Bu durumlar, kaya tabanındaki yüksek sismik yoğunluklar ve/veya zemin katmanlarındaki yüksek gerilme seviyelerinin olduğu durumlardır. Bu gibi zamanlarda, bütün zemin katmanları için değişik kayma modülleri ve çevrimsel yükleme esnasındaki sönümleme oranlarını hesaba katmak için zaman alanlı nonlinear zemin davranışının uygulanmasını söylemektedir (Park & Hashash, 2008).

Zeminin sönümlemesinin tekrar frekansla ilgili olduğu hipotezinin, bir frekans alanı analizinde doğrusal olmayan zeminin tepkisini göstermek için zorunlu olduğu Sugito vd. (1994) ve Assimaki vd. (2000) tarafından yapılan çalışmalarda belirlenmiştir.

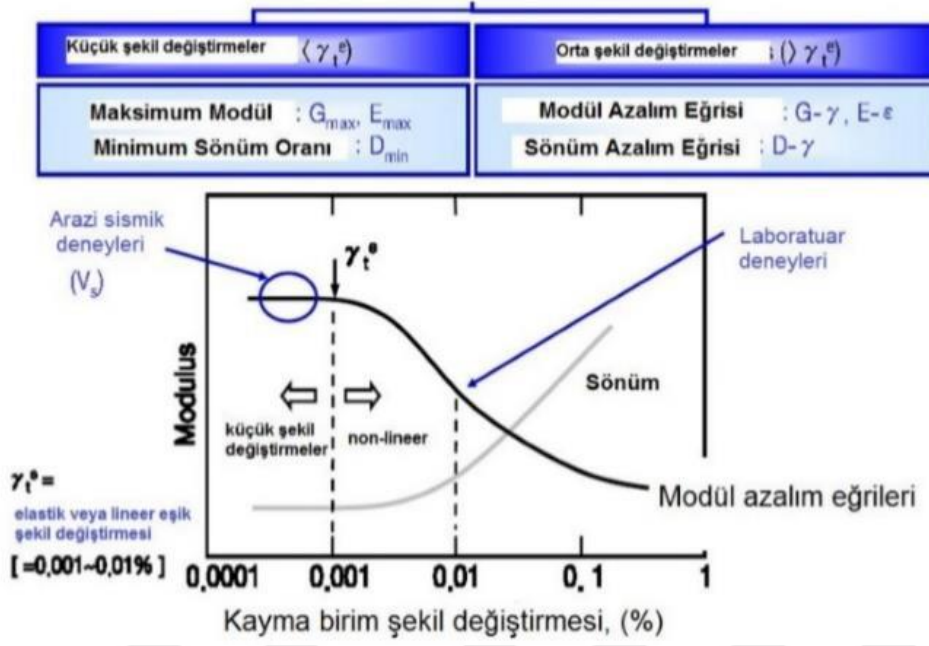
Diğer bir çalışmada, çevrimsel yükleme etkisindeki zeminlerin tepkisinin sıklıkla doğrusal olmadığı bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada, çevrimsel yükleme etkisindeki zeminlerin tepkisinin, döngü sayısı, yükleme genliği, çevre basıncı ve zemin özelliği gibi farklı etmenlerle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra aynı çalışmada, eşdeğer lineer metotun kullanılmasının doğru sonuçlar vermediği durumlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumlar, büyük depremlerin sıklıkla olduğu alanlar ya da yumuşak zemin katmanlarının bulunduğu (yumuşak alüvyon çökelleri) alanlardır (Hashash vd., 2010).

2.3.2 Bir Boyutlu Doğrusal Olmayan Zemin Davranış Analizi

Depremlerle meydana gelen tekrarlı yükler etkisindeki zemin tepkisi doğrusal değildir. Doğrusal olmayan analizde zeminin histeretik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi göz önünde bulundurulmaktadır. Bundan dolayı, eşdeğer doğrusal analiz potansiyel olarak daha doğru olarak gösterilmektedir (Bolisetti vd., 2014).

Zaman tanım alanında analiz yapan doğrusal olmayan zemin tepkisi analizi, zeminin gerilme-şekil değiştirme bağıntısını kullanarak zeminin doğrusal olmayan tepkisini oluşturmaktadır. Zemin daneleri arasındaki enerjinin dağılması, zeminin kayma modülünün sürekli azalımı, zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal olmaması ve zeminin yükleme türünün farklı bir yol boyunca boşalmasıyla ilişkili olarak meydana gelmektedir (Hosseini vd., 2010).

Bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizde katmanların yatay ve sonsuz tarafa doğru yayılım gerçekleştirdiği ve bütün zemin katmanları için sönüm oranı (D) ve kayma modülü (G) sabit olduğu zemin tepkisi analizlerinde ana prensip olarak ifade edilmektedir. Fakat, doğrusal olmayan analizde bütün zemin tabakaları için gerilme-deformasyon bağıntısına bağlı olarak kayma modülü-sönümlenme oranı Şekil 2.5’ de devamlı farklılık göstermektedir. Zeminin kayma modülü-sönümlenme oranı bağıntısı üzerine literatürde çok fazla araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Değişik zemin sınıflarına göre eğriler meydana çıkarmıştır. Bu eğriler kullanılarak doğrusal olmayan analizler yapılmaktadır (Seed vd., 1986, Sun vd., 1988, Vucetic ve Dobry 1988, Darendeli 2001).



Şekil 2.5. Zeminin nonlinear gerilme-şekil değiştirme bağlantısı (Kılıç, 2017)

Zemin katmanları derin olan arazilerde bir boyutlu nonlinear zaman alanlı zemin davranış analizini Deepsoil programı ile yapılmaktadır (Hashash vd, 2017). Matasovic ve Vucetic (1993) tarafından ortaya atılan değiştirilmiş bir hiperbolik model ile modellemeler oluşturulup zeminin boşaltılmasını ve histeretik yüklenmesini temsil etmektedir (Hashash & Park, 2001). Bu çalışmada “Yeni zemin modeli”nin özgünlüğü zemin içinde meydana gelen büyük yanal basınçların gerilmeyle ilişkili kayma modülünün azalması ve zemin sönümlenmesi üzerindeki tesiri şeklinde tanımlanmaktadır (Hashash & Park, 2001). Deepsoil’de yeni zemin modeli “Basınca bağlı hiperbolik model” şeklinde adlandırılmaktadır (Hashash vd., 2017). Deepsoil programında bu model sunulmuştur ve böylelikle mühendislik literatürüne girmiştir.

Anakaya deprem hareketinin karakteristik özellikleri ve zemin özellikleri, bazı çalışmalara göre zemin davranış analizi metodu seçiminde belirleyici olarak gösterilmektedir. Literatür incelendiğinde, tekrarlı gerilmelerin rölatif olarak az olduğu zamanlarda eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılırken, tekrarlı gerilmelerin genliğinin fazla olduğu zamanlarda doğrusal olmayan analiz metodu ile daha doğru hesaplamalara ulaşıldığı görülmüştür (Pruiksma, 2016; Carlton ve Tokimatsu, 2016; Selçuk vd., 2007). Zeminlerin büyük gerilme genliklerinde plastik ve elasto-plastik davranış, düşük gerilme hallerinde elastik davranış

göstermesi bu durumu açıklar niteliktedir (Akdoğan, 2019). En zayıf zemin sınıfı olan ZF sınıfında TBDY 2018'e göre, bir boyutlu doğrusal olmayan zemin davranış analiz araştırmalarını mecbur kılmıştır. Çünkü davranışın elasto-plastik ve plastik olma olasılığı bulunmaktadır.



2.3.3 Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Analiz ile Doğrusal Olmayan Analizin Karşılaştırılması

Hem eşdeğer doğrusal analiz hem de doğrusal olmayan analiz deprem yer hareketinin analizinde kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler birbirlerinden oldukça farklı özelliklere sahiptir.

İki analiz türü arasındaki farklılıklar farklı araştırmacılar tarafından (Joyner ve Chen, 1975; Martin ve Seed, 1978; Dikmen ve Ghaboussi, 1984) listelenmiştir.

1. Gerçek zemin davranışındaki doğrusal olmayan özelliğin seviyesi, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinin sonuçları arasındaki farklılığa sebep olabilmektedir. Birim deformasyon düzeyleri az olan problemlerde (sert zemin profili ile zayıf yer girdi hareketi), iki analiz çeşiti de zemin tepkisi için kabul edilebilir değerler çıkarabilir. Fakat, kayma gerilmesinin kayma dayanımına yaklaştığı problemlerde yani birim deformasyon seviyelerinin yüksek olduğu durumlarda doğrusal olmayan analiz türü daha doğru sonuçlar vermesi muhtemeldir.
2. Eşdeğer doğrusal analizler doğrusal olmayan analize göre daha çok tercih edildiği durumlar vardır. Bu durumlar, özellikle girdi hareketinin Fourier serisinde az sayıdaki terim ile ve olabilir doğrulukta karakterize edildiği zamandır.
3. Doğrusal olmayan analiz türünde deprem yer hareketi sırasında ve sonrasında aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi, yeniden dağılımı ve nihai sönümlenmesinin modellenmesine izin veren efektif gerilmeler türün formalize yapılmaktadır. Eşdeğer doğrusal analiz türünde bu durum yoktur.
4. Eşdeğer doğrusal modellemenin karakteristik doğrusallığı yanıltıcı rezonansa sebebiyet verebilmektedir.
5. Eşdeğer doğrusal analiz türünde efektif kayma birim deformasyonun kullanımı, kayma birim deformasyonu genliği hemen hemen üniform olduğunda az sönümlenmiş (underdamping) ve az yumuşamış (undersofting) bir durumun meydana gelmesine veya pik kayma birim deformasyonunun kayma birim deformasyonunun geriye kalanından

fazlaca büyük olduğuunda aşırı yumuşamış veya aşırı söndürölmüş bir durumun meydana gelmesine sebep olabilmektedir.

6. Doğrusal olmayan analiz türünde yapıcı bir model ve doğru bir gerilme-birim deformasyon mevcut olması lazımdır. Doğrusal olmayan model parametrelerin göz önünde bulundurulması için kapsamlı ve geniş bir arazi veya laboratuvar deney programı gerekmektedir.

Kısacası her iki analiz türünde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Her ikisinde uygulanması ve yorumlanması için; yürütölme biçimlerinin, göz önünde bulundurulan hipotezler bilinmesi ve kısıtlamaların belirlenmesine dair bilgiler mevcut olmalıdır. Her iki yöntemden hangisinin daha kuvvetli ve tutarlı olduğu arasında net bir bilgi olmasada, her iki yöntem arasında herhangi bir tutarsızlık yoktur.

3. SAHAYA ÖZEL DAVRANIŞ ANALİZLERİ

TBDY-2018'e göre, sahaya özel zemin davranış analizinin ZF yerel zemin sınıfına giren zeminlerin yüzeyindeki deprem yer hareketini tespit etmek için yapılması gereklidir. Ayrıca, mühendisin görüşü doğrultusunda sahaya özel zemin davranış analizi yapılmaktadır. Yerel zemin şartlarının zemin büyütmesine etkisini görmek için sahaya özel zemin davranış analizi yapmak gereklidir. Derinde yer alan kayadan yüzeye doğru ilerleyen deprem dalgaları yükseldikçe değişiklik gösterebilmektedir. Zeminin karakteristiğine göre anakaya düzeyinde sismik bir kaynaktan yayılan dalgaların süre, frekans ve genlikleri farklılık gösterebilmektedir (İyisan ve Haşal, 2011).

Zemin büyütmesi kavramı, kaya seviyesinden zemin yüzeyine doğru ilerleyen deprem dalgalarının zemin katmanlarını aşarken ivme genliklerinin artması pozisyonuna denir. Sahaya özel bir değer olan zemin büyütmesi değeri zemin şartlarına göre yapılan arazi deneyleri veya dinamik analizlerle hesaplanabilmektedir. Genlikleri artan dalgaların hızları, sismik kaynaktan meydana gelen enerjinin korunması durumuna göre azalmaktadır. Zemin türü, dinamik zemin özellikleri, zemin tabakalarının kalınlığı, inceleme alanının jeolojisi ve deprem özellikleri (kırılma mekanizması, merkez üstü mesafesi, tektonik yapı vb.) zemin büyütmesi anakaya derinliğini etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra yüzeydeki genlik değerinin (ya da ivme) gelen dalga genlik (ya da ivme) değerine bölünmesiyle zemin büyütmesi oranı hesaplanabilmektedir (İyisan ve Haşal, 2011).

Hem Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nden (PEER, 2006) alınan gerçek depremler hemde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nden (TBDY, 2018) alınan tasarım davranış spektrumu için zemin davranış analizleri yapılmıştır. Seçilen gerçek depremler için TBDY tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirme Prism programı yardımıyla yapılmıştır. Sahaya özel yapılan davranış analizleri sonuçlarını etkileyecek birçok özellik aşağıda sıralanmıştır.

- Mühendislik ana kayasının derinliği
- Zemin tabakalaşması
- Zemin türü
- Yeraltı su seviyesi yüksekliği
- Deprem merkez üssü mesafesi

- Büyüklük ve frekans içeriği
- Jeolojik durum / İnceleme alanı depremselliği
- Hakim sismik dalga türleri

Bu bölümde, incelenen saha için gerekli olan zemin koşulları, ana kaya derinliği, zemin modelleri, deprem hareketlerinin parametreleri açıklanmaktadır.

3.1 Bölgenin Jeolojisi

Prekambriyen'den bu zamanlara kadar inceleme alanı ve yakın çevresinde meydana gelmiş farklı yaş ve türdeki kaya toplulukları yüzeyler. Bölgedeki kaya toplulukları Neojen ve Kuvaterner birimleri olmak üzere iki grupta tanımlanmıştır. Önceki çalışmalar inceleme alanının genel jeolojisini tanımlamak için kullanılmıştır.

3.1.1 Temel Kaya Birimleri

Çalışma bölgesindeki Paleotektonik dönem temel kaya birimleri İzmir-Ankara zonu ve Menderes Masifi olarak iki ayrı bölümde tanımlanmıştır. Menderes masifi bütün Batı Anadolu'nun temelini oluşturur ve metamorfik kayalardan meydana gelmektedir. Prekambriyen yaşlı yüksek seviyede metamorfizmaya maruz kalmış gnayslar masifin çekirdeğini oluşturmaktadır. İstif üstü doğru Paleozoik yaşlı mikaşistler, permo-karbonifer yaşlı metakuvarsit, siyah fillit ve koyu renkli rekristalize pelajik kireçtaşları ile gösterilmektedir. Çalışma bölgesinde Menderes Masifi'ne ait olan kaya birimleri Gediz Grabeni güneyinde Bozdağ yükselimi Torbalı-Gümüldür-Kuşadası Körfezi arasında yüzeyler. Turgutlu Güneyinde masife ait metakuvarsitler yüzeyler. Bozdağ kütlesi üzerinde adalar şeklinde yükselimleri, kuvarsitler üzerinde var olan rekristalize kireçtaşları tarafından meydana getirilmektedir. Torbalı ilçesinin kuzeyinde bulunan Çapak köyünde çevresinde masife ait olan mermerler ve mikaşistler gözlemlenmektedir. Torbalı ilçesinin güney tarafında genellikle Paleozoik mermerler bulunmaktadır. Diğer taraftan, Özdere-Gümüldür tarafında yaygın olarak gözlenen kaya toplulukları mikaşistlerdir. Önemli tektonik yapılardan olan İzmir-Ankara Kuşağı birimleri çalışma bölgesi ve etrafında, Anadolu'nun Paleotektonik dönem coğrafyası sıklıkla görülmektedir. Kuzeydeki Sakarya kıtası ile Menderes masifi arasındaki bu zon tektonik bir birliktir. Bu tektonik birlik Bornova karmaşığı ya da

Bornova filiş zonu olarak isimlendirilmektedir ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı kaya topluluklarından meydana gelmektedir.

Bu tektonik birliğin litolojileri; filiş fasiyesindeki kırıntılı kayalar ve bunlar içerisinde irili ufaklı bloklar meydana getiren çört, diyabaz, serpantin ve kireçtaşlarıdır. Karaburun kuşağı, Alt Karbonifer – Alt Kretase yaş aralığındaki birimlerden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, Karaburun kuşağı İzmir-Ankara Zonu içindeki blokları oluşturmaktadır. Karaburun Kuşağı ve Bornova Karmaşağı'nın dokanağı tektonik olmakla birlikte günümüzde aktif Gülbahçe fayının bu Paleotektonik yapıyla eşleşmesi olasıdır

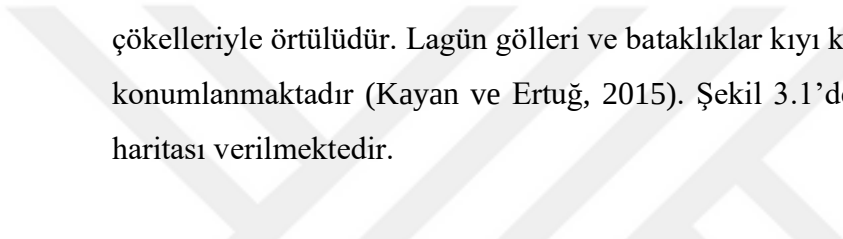
3.1.2 Neojen ve Kuvaterner

İzmir-Ankara kuşağının temel birimleri üzerindeki örtü kayalarını, Menderes Masifi'nin metamorfik birimleri ile İzmir ve çevresinde Neojen ve Kuvaterner birimleri meydana getirmektedir. Çeşitli türdeki volkanik kayalar ile akarsu ve göl fasiyesinde gelişmiş çökel kayaçlar, neojen yaşlı birimleri meydana getirir. Birbirine geçişli sedimanter kayalar ve volkanitlerden meydana gelen Alt Miyosen Erken Pliyosen yaş aralığındaki kayalar, bölgedeki neojen birimleri göstermektedir.

Alt-orta Miyosen yaşlı kaya grupları, neojen istifinin altını meydana getirmektedir. Bu birimler akarsu fasiyesinde çökelmiş şeyl, kumtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Torbalı-Kemalpaşa yöresi ile Cumaovası-Kuşadası Körfezi arasındaki temel kayalar üstünde tabandaki kırıntılar gözlenmektedir. Birimin sahip olduğu kırıntılardan öncelikle çakıltaşlarının bileşimi dayandıkları temel kayalara göre farklılık göstermektedir. Bunları uyumsuzlukla üstleyen Genç Miyosen-Pliyosen çökelleri üstte görülmektedir. En üst ise marn, kireçtaşı ve kilaşlarından meydana gelmektedir. Urla Yarımadası, Foça Yarımadası, Buca Cumaovası ve Bornova civarında üst Miyosen-Erken Pliyosen birimleri çok fazlaca görülmektedir.

Volkan kompleksleri; aglomera, tüfler ve neojen çökelleriyle geçişli lavlardan meydana gelen volkanitler topoğrafyada yükselimler biçiminde oluşmaktadır. Strato-volkan komplekleri; Menemen bölgesindeki Dumanlı Dağ, İzmir yöresindeki Yamanlar Dağı bölgesinde rastlanmaktadır. Üst Miyosen-Erken Pliyosen birimlerinin en tavan kısmında asidik patlamalarla gelişmiş riyolitik volkanizma ürünleri Cumaovası ve Foça yöresinde meydana gelmektedir.

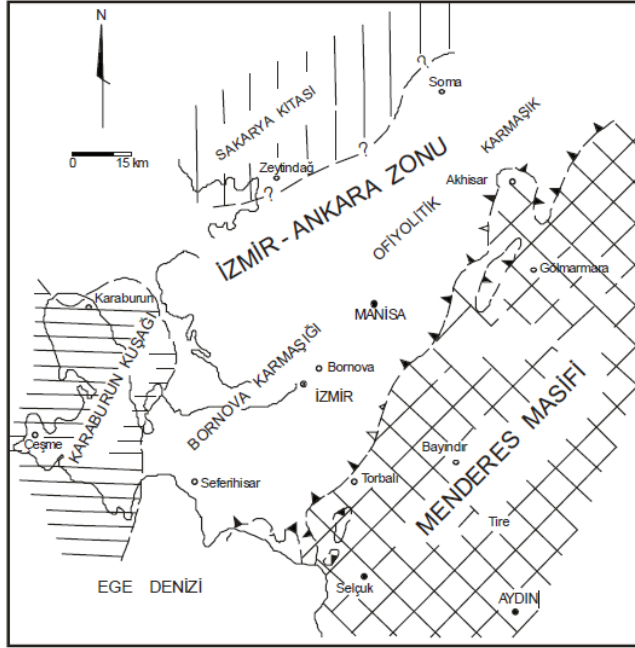
çökelleriyle örtülüdür. Lagün gölleri ve bataklıklar kıyı kordonu boyunca yerleşik ve konumlanmaktadır (Kayan ve Ertuğ, 2015). Şekil 3.1’de Çukurova’nın fiziki haritası verilmektedir.



Şekil 3.1. İzmir çevresinin sadeleştirilmiş jeolojisi

Güneydeki alan Selçuk Bayındır bölgesi ve kuzeydeki alan Akhisar bölgesi olmak üzere Batı Anadolu'nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifi'nde çalışılmış olan iki bölge bulunmaktadır. İzmir-Ankara zonu içerisinde iki farklı melanj tanımlanmıştır. Bu melanjlar; Akhisar çevresinde ofiyolitik karmaşığı ve Manisa-Seferihisar arasında Bornova karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Şekil

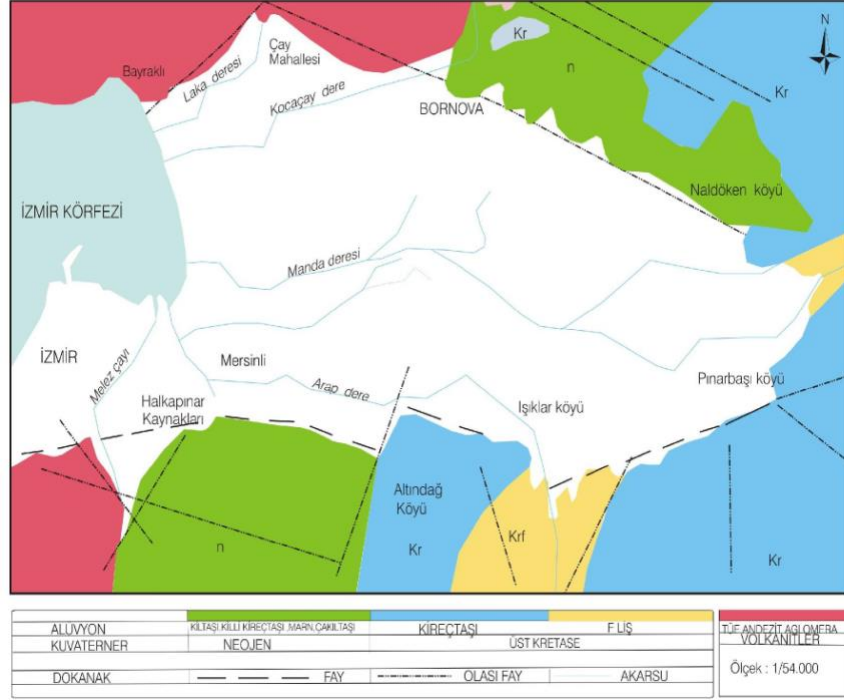
3.2’de Batı Anadolu’nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifi’nde çalışılmış olan iki bölgenin yeri verilmektedir (Erdoğan ve Güngör, 1992).



Şekil 3.2. Batı Anadolu'nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifi'nde çalışılmış olan iki bölgenin yeri (Erdoğan ve Güngör, 1992).

3.2 Çalışma Bölgesinin Jeolojisi

Şekil 3.3’de çalışma bölgesinde Bornova ovası alüvyonları görülmektedir. Bu alüvyonlar genel olarak siltli kumlu, killi ve yersel olarak çakıllı seviyeler barındırmaktadır. Tektonik depresyona örnek olarak Bornova ovası gösterilmektedir. Muhtemelen, alüvyonel malzemeler ile doldurulmuş ve Ege Denizi’nin çökmesine yaşıt olan bu depresyon sonraki aşamada bir ova haline gelmiştir. Ayrıca, ovanın denizin yakınında olan bölümlerinin sığ göller ve bataklık ile üzeri örtülü olması dolgunun bu bölümlerinde daha tamamlanmamış olduğu anlamına gelmektedir. Çalışma bölgesinde yüzeyden başlayarak kil, silt, kum ve çakıl içerikli alüvyon birimi inceleme derinliği boyunca görülmektedir.



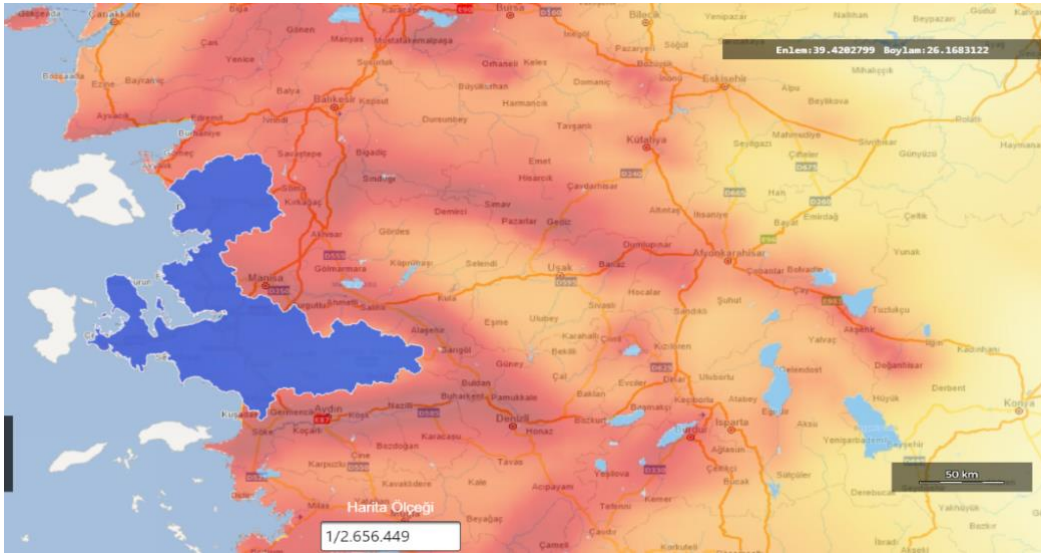
Şekil 3.3. Çalışma bölgesinin ve çevresinin jeoloji haritası.

3.3 İnceleme alanı (Manavkuyu Mahallesi) Hakkında Genel Bilgiler

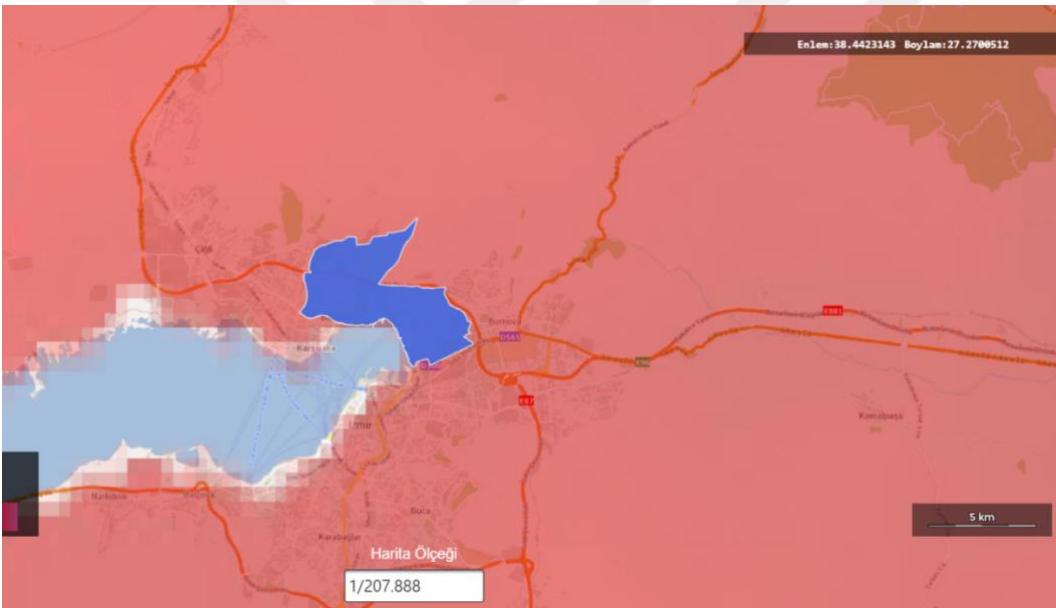
İzmir il merkezi, ülkemizin Ege kıyı bölgesinde bulunmakta olup şehir İzmir körfezi üzerine kuruludur. İlin coğrafi konumu $37,45^{\circ}$ - $39,15^{\circ}$ Kuzey enlemleri ve $26,15^{\circ}$ - $28,200^{\circ}$ Doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İzmir ili, 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

İnceleme alanımız olan Manavkuyu Mahallesi, İzmir ilinin ilçelerinden birisi olan Bayraklı ilçesine bağlı bir mahalledir. Bayraklı ilçesinin doğusunda ve güneyinde Bornova, kuzeybatısında ve kuzeyinde Karşıyaka, batısında İzmir körfezi, güneybatısında Konak ilçeleri bulunmaktadır. Bayraklı 6 Mart 2008 tarihinde İzmir' in ilçesi olmuştur.

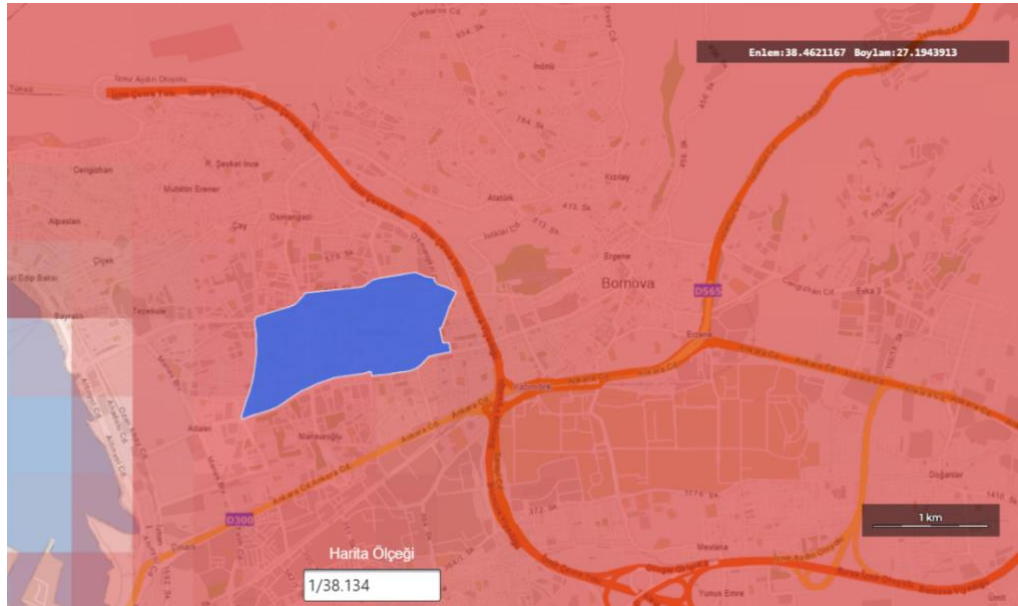
Bayraklı ilçesinin yüzölçümü hemen hemen 3700 hektardır. İlçede 23 adet mahalle bulunmaktadır. Şekil 3.4 (a), (b), (c) ve (d)'de sırasıyla İzmir ili, Bayraklı ilçesi, Manavkuyu Mahallesi gösterilmiştir.



(a)



(b)

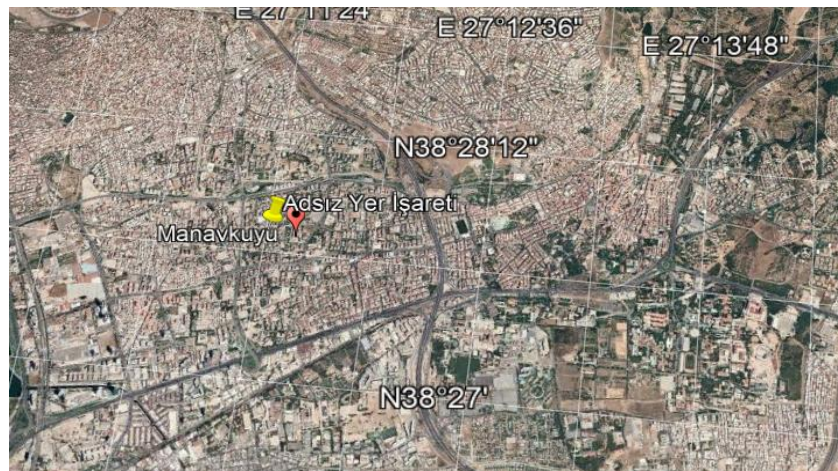


(c)

Şekil 3.4. İnceleme alanının konumu (a) İzmir ili, (b) Bayraklı ilçesi, (c)Manavkuyu Mahallesi (<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>)

3.4 İnceleme Alanı Kapsamında Ele Alınan Sondaj Lokasyonu, Arazi ve Laboratuvar Verileri

İzmir ili Bayraklı İlçesi Manavkuyu mahallesinde bulunan bir parselde ait 1 adet sondaj verileri geoteknik raporlardan temin edilmiştir. Şekil 3.5’ te sondaj lokasyonunun konumu verilmiştir. Önceden de bahsedildiği gibi İzmir 1. Derece Deprem Bölgesidir.



Şekil 3.5. Sondaj lokasyonunun Bayraklı ilçesi içerisindeki konumu

Açılan sondaj kuyusunun derinliği 72 m'dir. Sondaj sırasında, sondaj kuyusunda SPT deneyi ve presiyometre deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca sondajlar esnasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerle deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler su içeriği, elek analizi, doğal birim hacim ağırlık, Atterberg limitleri ve mukavemet deneyleridir. Sondajın yapıldığı bölgede dolgu, kil, silt, kum ve çakıl içerikli alüvyon zemin birimlerine rastlanmıştır. Sondaj lokasyonlarında YASS'ın zemin yüzeyinden itibaren derinliği farklı günlerde 2.49 m ile 2.52 m arasında değişmektedir.

3.4.1 Standart Penetrasyon Testi (SPT) Sonuçları

Tüm dünyada en yaygın kullanılan saha deneyi Standart Penetrasyon Deneyi'dir. Bu deney günümüzde, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin sıkılık, kıvam, mukavemet, sıvılaşma durumu ile tahmini oturmaya ve temel zemini taşıma kapasitesini hesaplamakta kullanılan bir deneydir. SPT deneyi, tabaka kalınlıkları ve zeminlerin rijitliği ilgili bilgi verir.

Zeminin dinamik ve statik parametrelerinin SPT sonuçlarıyla ilişkili olduğu konusunda birçok araştırmacı görüş birliği içindedir. SPT tüplerinden elde edilen örselenmiş numuneler kullanılarak zemine ilişkin fiziksel ve mekanik özelliklerin tespit edilmesi amacıyla laboratuvar testleri yapılmaktadır. Laboratuvar veri sonuçlarının istenen seviyede olmaması halinde, farklı korelasyonlar aracılığıyla zeminin dinamik ve statik parametreleri belirlenmektedir.

Derinliği 72 m olan sondaj kuyusundan alınan numuneler, rijitlik ve zeminin mukavemet parametreleri alanyazında yer alan korelasyonlara bağlı olarak elde edilmektedir. Sondaj raporundan elde edilen SPT verileri Tablo 2' de yer almaktadır. Bunun yanı sıra, kullanılan sondaj raporundaki N_{30} , N_{60} ve $N_{1,60}$ değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri sırasıyla, Şekil 3.7 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir.

Sondajda kullanılan ekipman ve birçok koşula bağlı olan ham SPT değerleri belirli düzeltmeler yapıldıktan sonra kullanılmaktadır. Bu düzeltmeler; tij enerji oranı (E_R), tij düzeltmesi (C_R), örtü düzeltmesi (C_N), örnekleyici düzeltmesi (C_S), darbe vuruş hızı düzeltmesi (C_{BF}) ve kuyu çapı düzeltmesi (C_B)'dir.

Örtü düzeltmesi (C_N), aynı karakteristikteki zemini derinlikten ayrı tek bir standart penetrasyon N değeri ile açıklamak amacıyla örtü yükü etkisi için uygulanmaktadır.

$$C_N = 9.78 \times \left(\sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \right)$$

Tij enerji oranı (E_R), %60 enerji aktarım oranı standart olarak belirlenmiştir. Sondajda kullanılan sondaj makinesinin enerji oranı da %60'tır ve bu veriye göre düzeltme yapılmıştır.

Tij düzeltmesi (C_R), numunenin alındığı derinliğe göre değişmektedir. 3m'ye kadar olan derinlik için $C_R = 0.75$, 3 m ile 4 m arasındaki derinlik için $C_R = 0.75$, 4m ile 6m arasındaki derinlik için $C_R = 0.85$ ve 6m ile 10m arasındaki derinlik için $C_R = 0.95$, 10 m'den daha derin numuneler için $C_R = 1.00$ olarak kullanılır.

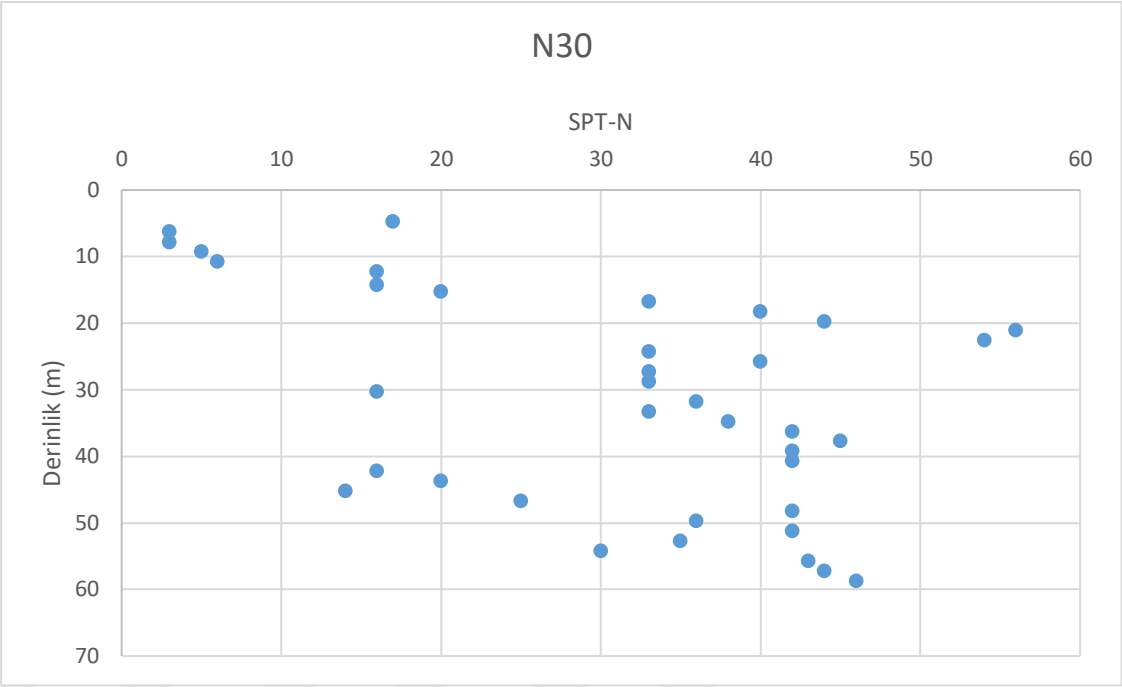
$$N_{60} = N_{30} * C_E * C_B * C_R * C_S$$

$$N_{1,60} = N_{30} * C_E * C_B * C_R * C_S * C_N$$

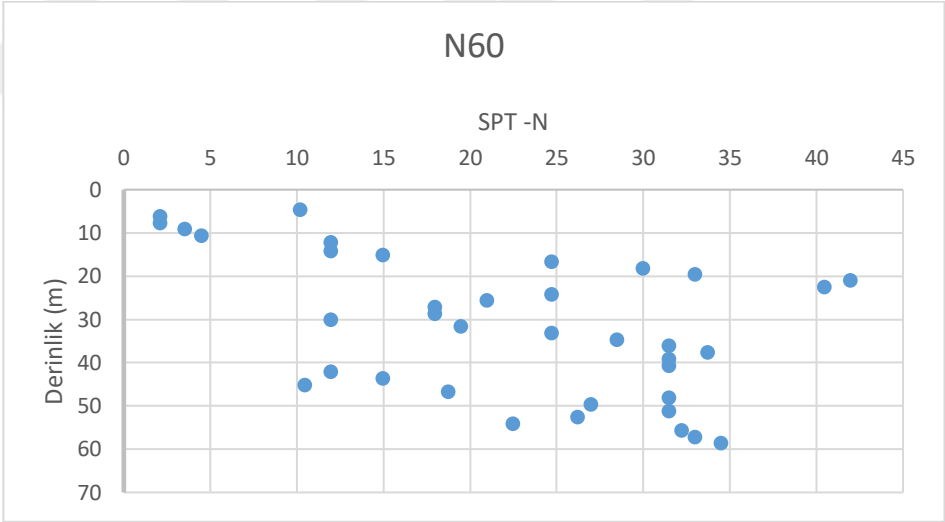
Tablo 3.1'de sondaj kuyusunun derinliğe göre SPT deney sonuçları verilmektedir. Ayrıca, Şekil 3.6'da ise sondaj lokasyonlarında yapılan SPT deneylerine ait derinliğe bağlı (a) N_{30} (b) N_{60} (c) $N_{1,60}$ verilerin grafikleri verilmektedir.

Tablo 3.1. Sondaj kuyusunun derinliğe göre SPT sonuçları N_{30} , N_{60} ve $N_{1,60}$ değerleri

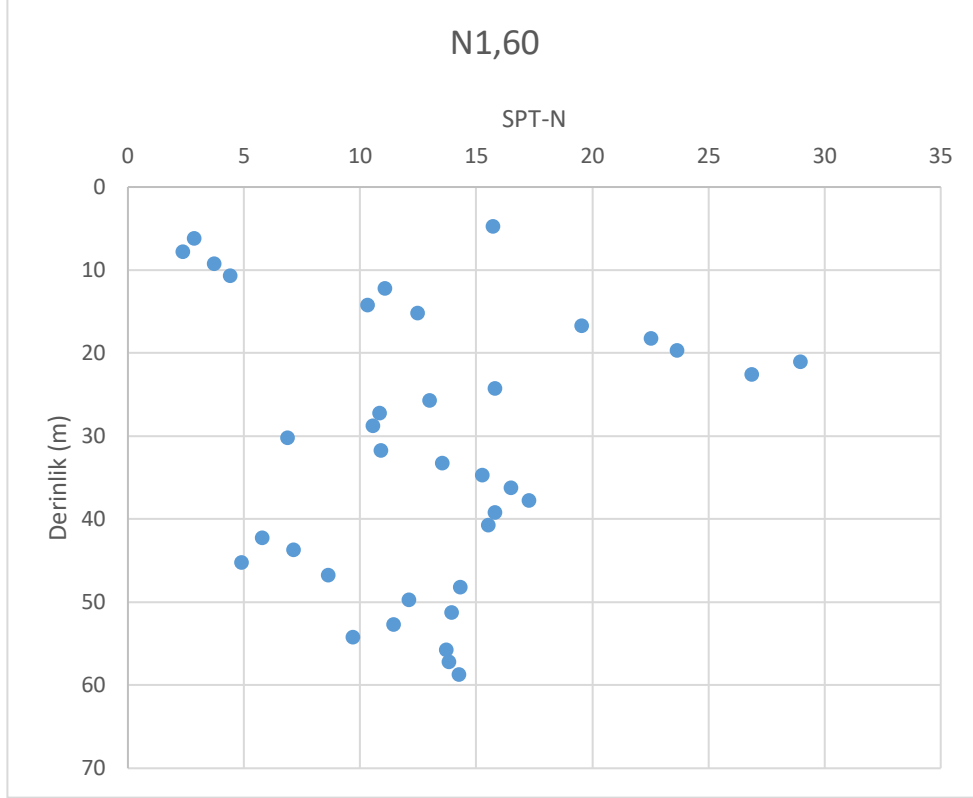
Örnek No	Ortalama Hesap Derinliği	N_{30}	N_{60}	$N_{1,60}$
SPT-1	4.725	17	10.2	15.7409
SPT-2	6.225	3	2.1375	2.89445
VANE-1	7.55			
SPT-3	7.825	3	2.1375	2.39815
SPT-4	9.225	5	3.5625	3.73138
SPT-5	10.725	6	4.5	4.41901
VANE-2	11		0	0
SPT-6	12.225	16	12	11.0938
UD-1	13.75		0	0
SPT-7	14.225	16	12	10.3353
SPT-8	15.225	20	15	12.4905
SPT-9	16.725	33	24.75	19.5727
SPT-10	18.225	40	30	22.5398
SPT-11	19.725	44	33	23.6681
SPT-12	21.075	56	42	28.9878
SPT-13	22.54	54	40.5	26.8941
SPT-14	24.225	33	24.75	15.8318
SPT-15	25.725	40	21	13.0218
SPT-16	27.225	33	18	10.8549
SPT-17	28.725	33	18	10.5723
SPT-18	30.225	16	12	6.89153
SPT-19	31.725	36	19.5	10.9333
SPT-20	33.225	33	24.75	13.563
SPT-21	34.725	38	28.5	15.2799
SPT-22	36.225	42	31.5	16.52
SPT-23	37.725	45	33.75	17.2945
SPT-24	39.225	42	31.5	15.8191
SPT-25	40.725	42	31.5	15.5449
SPT-26	42.225	16	12	5.81727
SPT-27	43.725	20	15	7.14754
SPT-28	45.225	14	10.5	4.92498
SPT-29	46.725	25	18.75	8.66117
SPT-30	48.225	42	31.5	14.3481
SPT-31	49.725	36	27	12.1318
SPT-32	51.225	42	31.5	13.9563
SPT-33	52.725	35	26.25	11.481
SPT-34	54.225	30	22.5	9.71774
SPT-35	55.725	43	32.25	13.7294
SPT-36	57.225	44	33	13.8532
SPT-37	58.725	46	34.5	14.2868



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6. Sondaj lokasyonlarında yapılan SPT deneylerine ait derinliğe bağlı (a) N30 (b) N60 (c) N1,60 verileri

3.4.2 Kanatlı Kesici Deneyi (Veyn Deneyi)

Normal konsolide killerin drenajsız kayma mukavemetinin bulunmasında Veyn deneyi kullanılmaktadır. Deney sadece yumuşak killerde doğru ve güvenilir sonuç vermektedir. Kesme sırasında sert killerde hacim artış eğilimi varsa deney sonuçları güvensizdir. Bunun yanı sıra zemin ince kum veya sıkı silt tabakaları içeriyorsa ve uniform değilse gerçekten uzak değerler elde edilir. Organik zeminlerde büyük danelerin ve köklerin bulunması yanlış sonuçların oluşmasına neden olabilir.

Derinliği 72 m olan sondaj kuyusundan alınan numuneler, rijitlik ve zeminin mukavemet parametreleri alanyazında yer alan korelasyonlara bağlı olarak elde edilmektedir. Sondaj raporundan elde edilen Veyn deneyi verileri aşağıdaki Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’ de yer almaktadır.

Şekil 3.7. Sondaj lokasyonlarında yapılan Veyn deneylerine ait maksimum kayma mukavemeti verileri

Kuyu No	Derinlik (m)	TS 1500	T (Nm)	$S_{u,h}$ (kPa)	$S_{u,v}$ (kPa)	I_p	λ	$S_{u,design}$ (kPa)
SK-8	7.50-7.60	MH	39	31,83	25,06	54	0,76	19
	10.95-11.05	MH	68	55,50	43,70	54	0,76	33

Şekil 3.8. Sondaj lokasyonlarında yapılan Veyn deneylerine ait rezidüel kayma mukavemeti verileri

Kuyu No	Derinlik (m)	TS 1500	T (Nm)	$S_{u,h}$ (kPa)	$S_{u,v}$ (kPa)	I_p	λ	$S_{u,design}$ (kPa)
SK-8	7.50-7.60	MH	25	20,40	16,07	54	0,76	12
	10.95-11.05	MH	25	20,40	16,07	54	0,76	12

3.4.3 Laboratuvar Deneyleri

Zemin tabakalarının geoteknik özelliklerini belirlemek için örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. Numuneler üzerinde uygun koşullar sağlanması halinde, ıslak elek analizi, doğal su içeriği ölçümü, Atterberg limit testleri, doğal birim ağırlık, konsolidasyon, üç eksenli ve tek eksenli testler yapılmaktadır. Laboratuvar deneylerinin sonuçları, proje sahasının sırasıyla düşük ve yüksek plastisiteli kil, siltli kil, kumlu veya killi kumlu çakış ve silt olan CL, CH, SM, MH, GM ve ML gibi alüvyonel topraklardan meydana geldiğini belirtmektedir. Laboratuvar deneylerin sonuçları Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Elek analizi, Atterberg limit deneyleri, zemin sınıflandırma ve sıklık/kıvam sonuçları

Örnek No	Derinlik (m)		#+No:10 (%)	#+No:200 (%)	LL	PL	PI	W _n	Zemin Tipi	Sıklık/Kıvam
SPT-1	4.5	4.95	21	6		NP	NP	21	SM	Orta Sıkı
SPT-2	6	6.45	0	95	51	23	28	45	CH	Çok yumuşak
VANE-1	7.5	7.6	0	96	55	30	25	42	MH	
SPT-3	7.6	8.05	0	97	54	30	24	40	MH	Çok yumuşak
SPT-4	9	9.45	0	94	57	32	25	39	MH	Çok yumuşak
SPT-5	10.5	10.95	0	93	52	30	22	37	MH	Yumuşak
VANE-2	10.95	11.05	0	95	51	31	20	38	MH	
SPT-6	12	12.45	13	79	35	17	18	30	CL	Sıkı
UD-1	13.5	14	12	77	34	18	16	27	CL	
SPT-7	14	14.45	10	80	33	19	14	26	CL	Sıkı
SPT-8	15	15.45	15	85	32	19	13	24	CL	Sıkı
SPT-9	16.5	16.95	62	9		NP	NP	23	GM	Orta Sıkı
SPT-10	18	18.45	61	10		NP	NP	21	GM	Orta Sıkı
SPT-11	19.5	19.95	58	12		NP	NP	18	GM	Orta Sıkı
SPT-12	21	21.15	65	15		NP	NP	15	GM	Sıkı
SPT-13	22.5	22.58	63	8		NP	NP	17	GM	Sıkı
SPT-14	24	24.45	62	9		NP	NP	12	GM	Orta Sıkı
SPT-15	25.5	25.95	25	35		NP	NP	11	SM	Orta Sıkı
SPT-16	27	27.45	20	40		NP	NP	13	SM	Orta Sıkı
SPT-17	28.5	28.95	15	31		NP	NP	14	SM	Orta Sıkı
SPT-18	30	30.45	39	24		NP	NP	17	SM	Gevşek
SPT-19	31.5	31.95	40	22		NP	NP	15	SM	Orta Sıkı
SPT-20	33	33.45	15	77	30	19	11	11	CL	Katı
SPT-21	34.5	34.95	13	81	31	18	13	13	CL	Katı
SPT-22	36	36.45	12	79	29	17	12	15	CL	Çok Katı
SPT-23	37.5	37.95	41	27		NP	NP	10	GM	Orta Sıkı
SPT-24	39	39.45	17	82	28	16	12	25	CL	Çok Katı
SPT-25	40.5	40.95	42	28		NP	NP	12	GM	Orta Sıkı
SPT-26	42	42.45	2	74		NP	NP	32	ML	Sıkı
SPT-27	43.5	43.95	5	68		NP	NP	35	ML	Sıkı
SPT-28	45	45.45	45	30		NP	NP	13	GM	Gevşek
SPT-29	46.5	46.95	48	32		NP	NP	11	GM	Orta Sıkı
SPT-30	48	48.45	32	34		NP	NP	9	SM	Orta Sıkı
SPT-31	49.5	49.95	62	7		NP	NP	10	SM	Orta Sıkı
SPT-32	51	51.45	49	31		NP	NP	12	GM	Orta Sıkı
SPT-33	52.5	52.95	31	35		NP	NP	11	SM	Orta Sıkı
SPT-34	54	54.45	30	34		NP	NP	12	SM	Orta Sıkı
SPT-35	55.5	55.95	3	64	37	23	14	28	CL	Çok Katı
SPT-36	57	57.45	5	70	36	25	11	27	CL	Çok Katı
SPT-37	58.5	58.95	1	66	38	23	15	29	CL	Çok Katı

3.4.4 Jeofizik Verileri

Zeminin dinamik parametreleri ve anakaya derinliğini hesaplamak amacıyla sismik analizler yapılmaktadır. Diğer taraftan, zemin katmanlarının kayma dalgası hızlarında sismik analiz sonucunda hesaplanmaktadır. Fakat bu kısımda, sondaj raporunda sismik analiz sonuçları detaylı verilmediği gözlemlenmektedir. Bundan dolayı, kayma dayanımı hızı ve kayma dayanımı farklı korelasyonlar hesaplanmıştır.

3.4.4.1 Kayma Dalgası Hızlarının (V_s) Korelasyonlarla Hesaplanması

Bu bölümde, kayma dalgası hızları 5 farklı korelasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan kayma dalgası hızlarının standart sapma ve ortalamaları belirlenip kıyaslaması yapılmıştır.

İlk olarak hesaplanan korelasyon Recep İyisan tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. Arazi uygulamaları olarak Erzincan ilinde farklı derinliklerdeki sondaj kuyularından Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak N darbe sayılarını bulduğu ve kuyu içi sismik yöntemler kullanarak V_s 'in hesaplandığını belirtmiştir. V_s 'i kapsayan bağlantılar genelde N, q_c ve N_{10} 'u kullanarak hesaplamıştır. V_s 'i iki bağımsız değişken cinsinden gösteren bağlantılarda bulmuştur. V_s ile N_{60} arasında korelasyon katsayısı $r = \%81$ olarak hesaplanan korelasyon aşağıdaki Denklem 3.5' te verilmiştir (İyisan, 1996).

$$V_s = 51,5 \times N_{60}^{0,516} \quad (3.5)$$

İkinci korelasyon olarak, granüler ve kohezyonlu zeminlerin ayrı ayrı SPT değeri ile kayma dalgası hızı arasındaki korelasyondur (Wair, Dejong and Shantz, 2012).

- Granüler zeminler için Denklem 3.6' da verilmiştir.

$$V_s = 30(N_{60})^{0,23}(\sigma'_v)^{0,23} \quad (3.6)$$

- Kohezyonlu zeminler için Denklem 3.7' de verilmiştir.

$$V_s = 26(N_{60})^{0,17}(\sigma'_v)^{0,32} \quad (3.7)$$

Üçüncü korelasyon olarak, tüm zeminler için kullanılan korelasyon Denklem 3.8' de verilmiştir (Wair, Dejong and Shantz, 2012).

$$V_s = 30(N_{60})^{0,215}(\sigma'_v)^{0,275} \quad (3.8)$$

Dördüncü korelasyon olarak, tüm zeminler için kullanılan korelasyon Denklem 3.9' de verilmiştir (Hasançebi, 2007).

$$V_s = 104,8 \times N_{60}^{0,26} \quad (3.9)$$

Beşinci korelasyon olarak, tüm zeminler için kullanılan korelasyon Denklem 3.10' da verilmiştir (Kiku et al., 2001).

$$V_s = 66,1 \times N_{60}^{0,29} \quad (3.10)$$

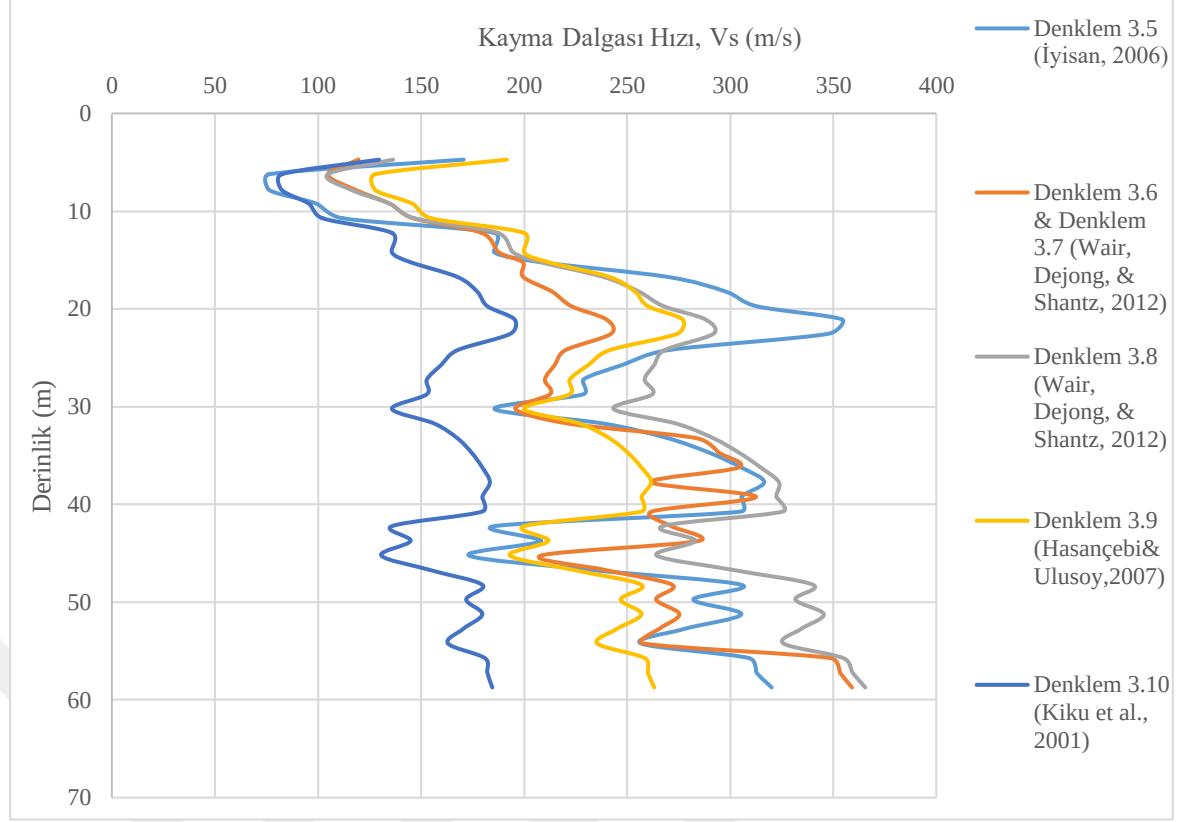
Tüm korelasyonlardan hesaplanan kayma dayanımı hızları (V_s), kayma dayanımı hızlarının ortalaması, ortalama kayma dalgası hızları ile standart

sapmanın toplanmış hali ve ortalama kayma dalgası hızları ile standart sapmanın çıkarılmış hali, aşağıdaki Tablo 3.3’ de verilmiştir.

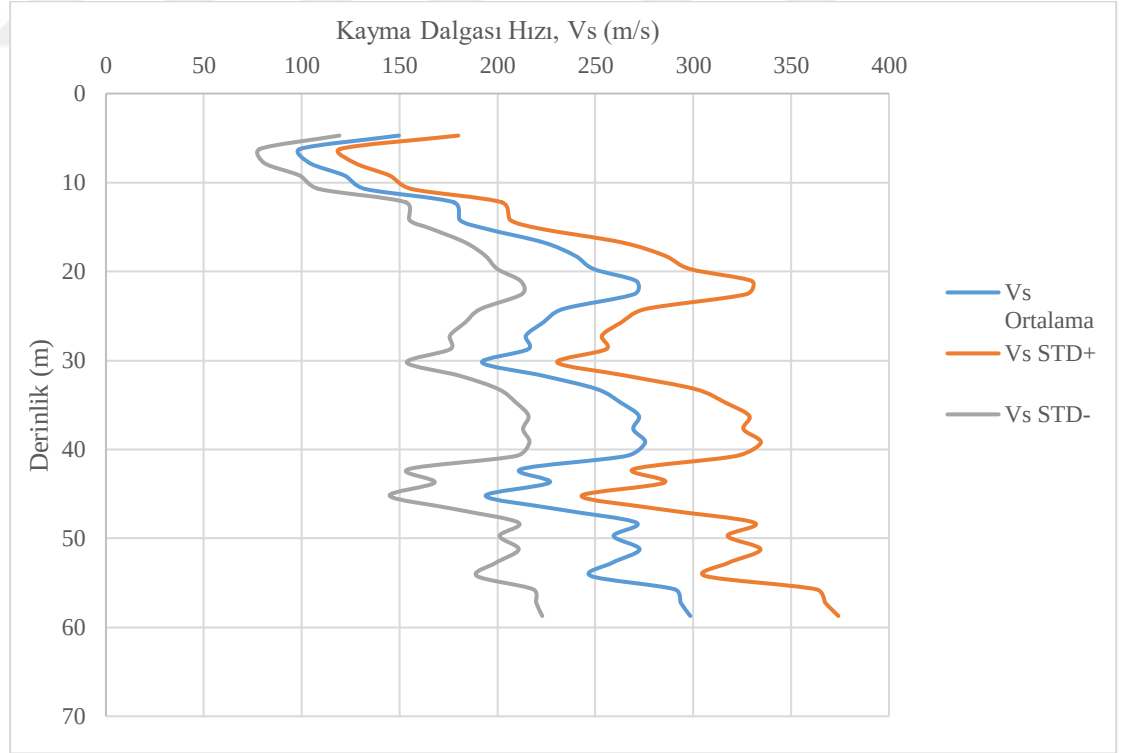
Tablo 3.3. Tüm korelasyonlarla hesaplanan Vs değerleri

Örnek No	Denklem 3.5	Denklem 3.6 & Denklem 3.7	Denklem 3.8	Denklem 3.9	Denklem 3.10	Vs Ortalama	Vs Std+	Vs Std-
SPT-1	170.7044795	119.6680086	136.4649105	191.6890598	129.6270117	149.630694	179.9797395	119.2816486
SPT-2	76.21470776	104.8605367	104.7911558	127.6841162	82.38994924	99.18809315	119.7158081	78.66037815
VANE-1		0	0	0	0	0	0	0
SPT-3	76.21470776	118.2750254	116.2127003	127.6841162	82.38994924	104.1552998	127.3542218	80.95637778
SPT-4	99.20024472	134.8079282	134.7013953	145.820153	95.54552974	122.0150502	144.9956663	99.03443412
SPT-5	111.9089668	146.1787677	146.7528015	154.9517681	102.2428833	132.4070375	156.0384439	108.7756311
VANE-2		0	0	0	0	0	0	0
SPT-6	185.63709	179.5041029	187.3208141	199.9624304	135.882654	177.6614183	202.1721865	153.1506501
UD-1		0	0	0	0	0	0	0
SPT-7	185.63709	187.8281314	194.7618606	199.9624304	135.882654	180.8144333	206.5656046	155.063262
SPT-8	208.2909106	199.3480537	208.1601703	211.906857	144.9665904	194.5345164	222.6274179	166.4416149
SPT-9	269.7068855	199.5652271	238.4981305	241.3741934	167.6247984	223.353847	263.2734903	183.4342037
SPT-10	297.852875	213.5669948	255.6720741	253.7539486	177.2419924	239.617577	285.4931702	193.7419838
SPT-11	312.8674785	223.0162042	267.7199433	260.1206958	182.2092842	249.1867212	298.403446	199.9699964
SPT-12	354.3266865	239.9387484	287.9885773	276.9530155	195.4086362	270.9231328	329.9701753	211.8760903
SPT-13	347.7394965	242.2026808	291.8767175	274.346604	193.3585658	269.9048129	327.323164	212.4864619
SPT-14	269.7068855	220.0186634	268.009583	241.3741934	167.6247984	233.3468247	275.4331174	191.2605321
SPT-15	247.7835011	214.9117271	263.1702139	231.2801175	159.8251258	223.3941371	263.244283	183.5439911
SPT-16	228.837841	210.1002197	258.5210829	222.1939011	152.8376973	214.4981484	253.306083	175.6902138
SPT-17	228.837841	212.6654799	262.2996094	222.1939011	152.8376973	215.7669058	255.6014142	175.9323973
SPT-18	185.63709	195.7433326	243.3927613	199.9624304	135.882654	192.1236537	230.556047	153.6912603
SPT-19	238.4872076	221.2965435	273.7599756	226.8664533	156.4269209	223.3674202	265.9866055	180.7482349
SPT-20	269.7068855	283.713052	291.8083649	241.3741934	167.6247984	250.8454588	301.1678568	200.5230608
SPT-21	290.0729133	294.6984032	304.4373756	250.3922866	174.62502	262.8451998	316.2861934	209.4042061
SPT-22	305.4467263	304.0146582	314.8538273	256.9934335	179.7676413	272.2152573	328.5886679	215.8418467
SPT-23	316.5166045	261.666491	323.6587653	261.645015	183.4006434	269.3775038	325.6798612	213.0751464
SPT-24	305.4467263	312.5683408	322.4518285	256.9934335	179.7676413	275.4455941	334.5694159	216.3217723
SPT-25	305.4467263	262.048242	325.5683524	256.9934335	179.7676413	265.9648791	322.1724875	209.7572707
SPT-26	185.63709	271.3356426	267.1688448	199.9624304	135.882654	211.9973324	269.4387728	154.5558919
SPT-27	208.2909106	284.9469589	282.9641441	211.906857	144.9665904	226.6150922	285.344148	167.8860364
SPT-28	173.2769949	208.3490694	264.359446	193.1392321	130.7212994	193.9692084	242.9353204	145.0030963
SPT-29	233.7092412	239.7523272	301.9858138	224.5647642	154.6578001	230.9339893	283.3564343	178.5115444
SPT-30	305.4467263	271.8851363	340.2339573	256.9934335	179.7676413	270.8653789	331.073638	210.6571199
SPT-31	282.0921048	264.0661723	331.6212317	246.8970275	171.9083418	259.3169756	317.5486062	201.085345
SPT-32	305.4467263	275.3702972	345.4550605	256.9934335	179.7676413	272.6066317	334.3639255	210.849338
SPT-33	278.0212245	265.6351516	334.5434558	245.0952545	170.5096483	258.760947	318.2089168	199.3129771
SPT-34	256.7635718	257.8712646	325.8864053	235.466288	163.055101	247.8085261	306.1460798	189.4709724
SPT-35	309.1779861	348.8207783	354.9151609	258.5705205	180.9985426	290.4965977	362.797279	218.1959164
SPT-36	312.8674785	353.3413959	359.4332923	260.1206958	182.2092842	293.5944293	367.4237049	219.7651538
SPT-37	320.1266885	359.1410647	365.6156665	263.1444698	184.573351	298.5202481	374.149042	222.8914541

Şekil 3.9’ da korelasyonlarla hesaplanan kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi verilmektedir. Şekil 3.10’da kayma dalgası hızlarının ortalaması ve standart sapmasının derinlikle değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Korelasyonlarla hesaplanan kayma dalgası hızlarının derinlikle değişim grafiği



Şekil 3.10. Kayma Dalgası Hızlarının ortalaması ve Standart Sapmalarının derinlikle değişim grafiği

3.4.4.2 Kayma Dayanımı (τ) Korelasyonlarla Hesaplanması

Bu bölümde, kayma dayanımı hızları farklı korelasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Fakat yapılan hesaplamalar ince daneli zeminler ve granüler zeminler için ayrı ayrı yapılmıştır. Daha sonra, hesaplanan kayma dayanımları standart sapma ve ortalamaları belirlenip kıyaslaması yapılmıştır.

İnce daneli zeminler için;

Sorensen ve Okkels'in korelasyon geliştirdiği kohezyonlu zemin olan normal konsolide killerde kullanılmaktadır. İçsel sürtünme açısının hesabı aşağıdaki Denklem 3.11' de hesaplanmıştır (Sorensen and Okkels, 2013).

$$\phi'(deg) = 43 - 10 \log I_p \quad (3.11)$$

Daha sonra bulunan içsel sürtünme açısı ile efektif gerilme çarpıldığında kohezyonlu zeminler için efektif kayma dayanımı aşağıdaki Denklem 3.12'den hesaplanmaktadır.

$$\tau_{kil,silt} = \sigma'_{vo} \tan \phi' \quad (3.12)$$

Skempton'nın geliştirdiği korelasyon normal konsolide killerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı aşağıdaki Denklem 3.13' de hesaplanmıştır (Skempton, 1957).

$$(c_u/\sigma'_{vo})_{NC} = 0.11 + 0.37PI \quad (3.13)$$

Dickenson'nun geliştirdiği korelasyon normal konsolide killerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı aşağıdaki Denklem 3.14' de hesaplanmıştır (Dickenson, 1994).

$$V_s\left(\frac{m}{sn}\right) = 23S_u^{0.475} \quad (3.14)$$

Sanglerat'ın geliştirdiği korelasyon killerde ve siltli killerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı sırasıyla killerde aşağıdaki Denklem 3.15'e ve siltli killerde ise Denklem 3.16' ya göre hesaplanmıştır (Sanglerat, 1972).

$$\text{Killerde} \rightarrow c_u(kPa) = 12.5N \quad (3.15)$$

$$\text{Siltli Killerde} \rightarrow c_u(kPa) = 10N \quad (3.16)$$

Terzaghi ve Peck'in geliştirdiği korelasyon ince daneli zeminlerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.17' ye göre hesaplanmıştır (Terzaghi and Peck, 1967).

$$\text{İnce daneli zeminler} \rightarrow c_u(kPa) = 6,25N \quad (3.17)$$

Sowers'ın geliştirdiği korelasyon killerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.18, Denklem 3.19, Denklem 3.20' ye göre hesaplanmıştır (Sowers, 1979).

$$\text{Yüksek plastisiteli killer} \rightarrow c_u(kPa) = 12,5N \quad (3.18)$$

$$\text{Orta plastisiteli killer} \rightarrow c_u(kPa) = 7,5N \quad (3.19)$$

$$\text{Düşük plastisiteli killer} \rightarrow c_u(kPa) = 3,75N \quad (3.20)$$

Kulhawy ve Mayne'nin geliştirdiği korelasyon ince daneli zeminlerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.21'e göre hesaplanmıştır (Kulhawy and Mayne, 1990).

$$\text{İnce daneli zeminler} \rightarrow c_u(kPa) = 29N^{0,72} \quad (3.21)$$

İyisan ve Ansal'ın geliştirdiği korelasyon ince daneli zeminlerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.22'ye göre hesaplanmıştır (Kulhawy and Mayne, 1990).

$$\text{İnce daneli zeminler} \rightarrow c_u(kPa) = 4,43N + 8,07 \quad (3.22)$$

Sivrikaya ve Toğrol'un geliştirdiği korelasyon ince daneli zeminlerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.23, Denklem 3.24, Denklem 3.25'e göre hesaplanmıştır (Sivrikaya ve Toğrol, 2002).

$$\text{Yüksek plastisiteli killer} \rightarrow c_u(kPa) = 4,85N_a \quad (3.23)$$

$$\text{Düşük plastisiteli killer} \rightarrow c_u(kPa) = 3,35N_a \quad (3.24)$$

$$\text{İnce daneli zeminler} \rightarrow c_u(kPa) = 4,32N_a \quad (3.25)$$

Stroud'ın geliştirdiği korelasyon killerde kullanılmaktadır. Drenajsız kayma dayanımının hesabı Denklem 3.26, Denklem 3.27, Denklem 3.28'e göre hesaplanmıştır (Stroud, 1974).

$$I_p > 30 \rightarrow f_1 = 4,2 \quad S_u(kPa) = f_1 \times N \quad (3.26)$$

$$20 < I_p < 30 \rightarrow f_1 = 4\sim 5 \quad S_u(kPa) = f_1 \times N \quad (3.27)$$

$$I_p < 20 \rightarrow f_1 = 6\sim 7 \quad S_u(kPa) = f_1 \times N \quad (3.28)$$

Granüler zeminler için;

Peck, Hanson ve Thornburn'nin geliştirdiği korelasyon granüler zeminlerde kullanılmaktadır. Wolff'un formölüze ettiği kayma dayanımının hesabı Denklem 3.29'a göre hesaplanmıştır (Wolff, 1989).

$$\phi'(deg) = 27,1 + 0,3N_{60} - 0,00054[N_{60}]^2 \quad (3.29)$$

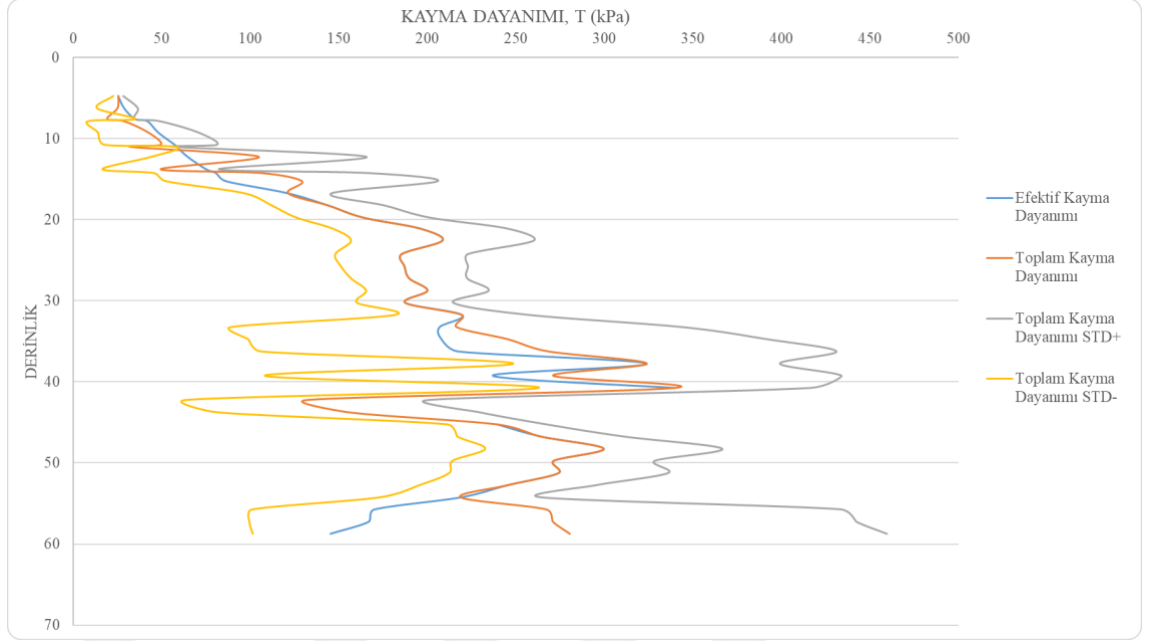
Hatanaka ve Uchida'nın geliştirdiği korelasyon granüler zeminlerde kullanılmaktadır. Kayma dayanımının hesabı Denklem 3.30'a göre hesaplanmıştır (Hatanaka and Uchida, 1996).

$$\phi'(deg) = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20 \quad (3.30)$$

Tablo 3.4'de tüm korelasyonlarla hesaplanan efektif ve toplam kayma dayanımları gösterilmektedir. Şekil 3.11'de ise efektif ve toplam kayma dayanımlarının derinlikle değişimi verilmektedir.

Tablo 3.4. Tüm korelasyonlarla hesaplanan Efektif ve Toplam Kayma Dayanımları

Örnek No	Ortalama Hesap Derinliği	Efektif Kayma Dayanımı (kPa)	Toplam Kayma Dayanımı (kPa)	Toplam Kayma Dayanımı STD+ (kPa)	Toplam Kayma Dayanımı STD- (kPa)
SPT-1	4.7	25.3	25.3	28.3	22.4
SPT-2	6.2	28.7	24.8	36.4	13.2
VANE-1	7.6	34.8	19.0	34.8	34.8
SPT-3	7.8	41.8	28.5	48.9	8.2
SPT-4	9.2	48.0	42.3	70.8	13.8
SPT-5	10.7	57.2	49.3	81.3	17.4
VANE-2	11.0	58.6	33.0	58.6	58.6
SPT-6	12.2	64.6	104.8	165.7	43.8
UD-1	13.8	74.9	49.2	82.2	16.3
SPT-7	14.2	80.6	106.1	166.8	45.4
SPT-8	15.2	86.2	129.1	205.9	52.3
SPT-9	16.7	121.3	121.3	145.9	96.7
SPT-10	18.2	143.9	143.9	175.9	111.9
SPT-11	19.7	163.8	163.8	201.6	126.0
SPT-12	21.1	195.9	195.9	245.4	146.4
SPT-13	22.5	208.5	208.5	260.3	156.7
SPT-14	24.2	185.4	185.4	222.9	147.9
SPT-15	25.7	187.0	187.0	223.0	151.0
SPT-16	27.2	189.7	189.7	222.6	156.8
SPT-17	28.7	200.0	200.0	234.7	165.3
SPT-18	30.2	187.4	187.4	214.8	160.1
SPT-19	31.7	219.4	219.4	257.5	181.3
SPT-20	33.2	206.8	216.5	344.1	88.9
SPT-21	34.7	207.9	245.5	392.2	98.8
SPT-22	36.2	217.3	268.5	431.2	105.7
SPT-23	37.7	323.9	323.9	399.3	248.4
SPT-24	39.2	237.0	271.1	434.1	108.0
SPT-25	40.7	339.7	339.7	416.6	262.8
SPT-26	42.2		132.1	200.8	63.3
SPT-27	43.7		155.2	229.5	81.0
SPT-28	45.2	239.3	239.3	267.3	211.2
SPT-29	46.7	264.0	264.0	311.2	216.8
SPT-30	48.2	299.6	299.6	366.6	232.6
SPT-31	49.7	271.3	271.3	328.5	214.0
SPT-32	51.2	274.1	274.1	336.1	212.2
SPT-33	52.7	245.3	245.3	295.3	195.3
SPT-34	54.2	218.8	218.8	264.7	172.9
SPT-35	55.7	170.0	267.3	433.9	100.7
SPT-36	57.2	166.9	270.9	442.5	99.3
SPT-37	58.7	145.2	280.5	459.8	101.2



Şekil 3.11. Efektif, Toplam ve Standart Sapmaların Kayma Dayanımlarının derinlikle değişim grafiği

3.5 Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'ne göre tepki spektrumunun oluşturulacağı zemin sınıfı, ilk 30 metredeki SPT deneyleri, kayma dalgası hızları ve drenajsız kohezyon değerleri ile belirlenir. Çalışmada kullanılan sondaj raporunda, 30 metre derinlikteki kayma dalgası hızı 178.91 m/sn hesaplanmıştır. Araştırmada kullanılan rapor ZE zemin sınıfına ait olduğu görülmüştür. Şekil 3.12' de TBDY-2018 içerisinde bulunan Tablo 16.1'e göre zemin sınıflandırma tablosu verilmiştir.

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

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

16.4.2 – Tablo 16.1’de verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenecektir. Birbirinden belirgin şekilde farklı zemin ve kaya tabakalarını içeren zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte $i = 1$ ve en altta $i = N$ olacak şekilde sıralanacaktır. Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı $(V_s)_{30}$, ortalama standart penetrasyon darbe sayısı $(N_{60})_{30}$ ve ortalama drenajsız kayma dayanımı $(c_u)_{30}$ Denk.(16.2) ile hesaplanacaktır:

$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{V_{s,i}} \right)} ; (N_{60})_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{N_{60,i}} \right)} ; (c_u)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{c_{u,i}} \right)} \quad (16.2)$$

Şekil 3.12. TBDY 2018 Tablo 16.1’e göre yerel zemin sınıfları

3.6 İnceleme Alanının Depremselliği

İzmir Türkiye’nin batısında Ege Denizine kıyısı olan Ege bölgesinde yer almaktadır. Araştırma alanının depremselliği bölgede bulunan diri faylarla belirlenebilmektedir. Bu yüzden, bölgedeki diri faylar incelenmiştir. Sismik aktivite Anadolu, Avrasya, Afrika ve Arap levhaları olmak üzere toplamda 4 adet ana levha tarafından kontrol edilmektedir. Plaka sürekli hareket ettiğinden dolayı plaka kontakları sıkışır ve faylar oluşur. Türkiye’ nin tektonik yapısı Şekil 3.13’ de gösterilmiştir.



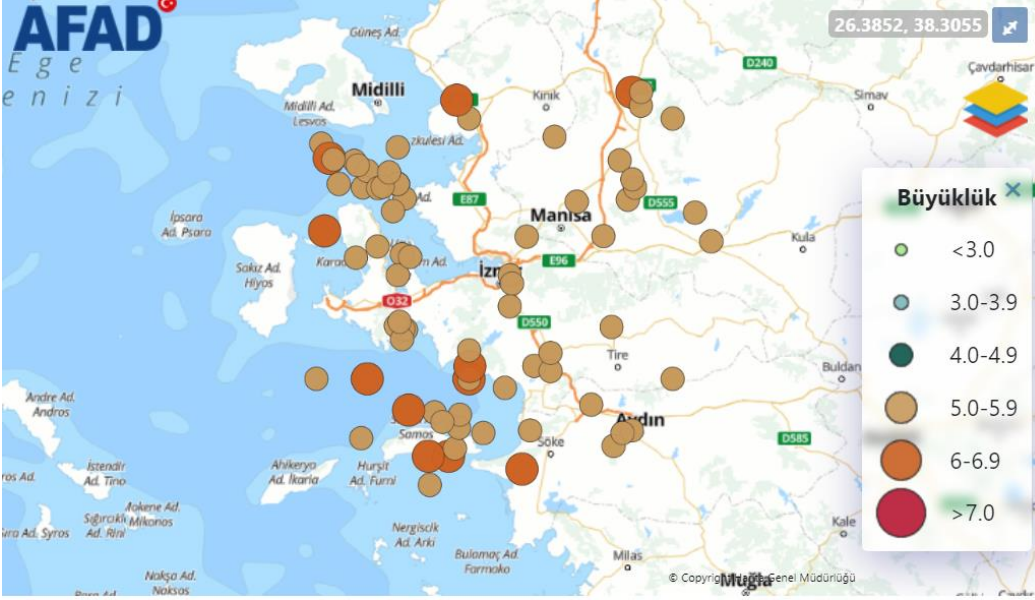
Şekil 3.13. Türkiye'nin başlıca tektonik levha yapıları

İzmir bölgesinde (Batı Anadolu) ana graben sistemleri Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenleridir. Doğrultu atılımlı ve normal faylar bu büyük graben sistemlerine paralel olarak meydana gelmektedir. İzmir bölgesinin 50 km civarında toplamda 10 adet diri fay bulunmaktadır. Bölgede bulunan faylar normal atılımlı ve normal faylardan oluşmaktadır. Kemalpaşa fayı, İzmir fayı ve Manisa fayı normal faylardır. Ayrıca bu faylar İzmir'in kuzey ve doğusundadır. Karaburun fayı İzmir körfezinin batı ucunda bulunan normal fay karakterindedir. Tuzla fayı, Seferihisar fayı, Gülbahçe fayı, Yağcılar fayı, Dağkızılca fayı ve Foça-Bergama fayı İzmir'in kuzey ve güneyinde bulunan doğrultu atılımlı faylar olarak tanımlanmaktadır. İnceleme alanı çevresindeki aktif faylar Şekil 3.14' de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. İzmir bölgesi aktif fay haritası

1900 yılından itibaren İzmir bölgesinde meydana gelen 5-10 Mw aralığındaki depremlerin haritası AFAD'ın resmi sitesinden alınmıştır. Şekil 3.15'de İzmir bölgesinde 1900 yılından sonra 5-10 Mw büyüklüğündeki depremleri göstermektedir.



Şekil 3.15. İzmir bölgesindeki 1900 yılından itibaren 5-10 Mw büyüklüğünde meydana gelen depremler

Wells ve Coppersmith'in aktif fayın uzunluğu ve aktif fayların proje konumuna olan uzaklığını deprem büyüklüğü ile ilişkilendiren formülasyona dayanarak, her bir aktif fay için beklenen deprem büyüklükleri hesaplanmıştır. Wells ve Coppersmith'e (1994) göre başlıca aktif fayları, bunların tipleri, uzunluklarını, genel yönlerini ve beklenen büyüklüklerini Tablo 3.5' de gösterilmektedir.

Aşağıdaki Tablo 3.5' e göre İzmir'de 6.0-8.0 Mw büyüklüğünde deprem meydana gelebilir. Genellikle normal ve doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır. Analizlerde kullanılacak deprem seçimlerinde Tablo 3.5' deki bilgiler kullanılacaktır.

Tablo 3.5. İzmir bölgesi civarındaki aktif fayların özellikleri

No	Fay Adı	Uzunluk (km)	Genel Doğrultu	Büyükölük	Proje konumuna Uzaklığı
1	İzmir Fayı	35	D-B	6.5-7.0	1
2	Tuzla Fayı	50	K30D	7.0-8.0	12
3	Seferihisar Fayı	30	K20D	6.5-7.0	25
4	Gölbahçe Fayı	70	K-G	7.0-8.0	50
5	Gediz Grabeni Ana Sıyırılma Fayı	27	K70D	6.0-6.5	15
6	Kemalpaşa Fayı	24/27	K75D	6.0-6.5	15
7	Manisa Fayı	20	K65B	6.0-6.5	20
8	Dağkızılca Fayı	27	K70D	6.5-7.0	15
9	Gömlüldür Fayı	15	K55B	6.0-6.5	45
10	Yağcılar Fayı	12	K-G	6.0-6.5	45

3.7 Sondaj Lokasyonları Elastik Tasarım (Dizayn) Spektrumlarının Belirlenmesi

Depreme dayanaklı sağlam yapıların tasarımını yapmak için öncelikle yapıların yer hareketi tepkisini bilmek ve iyi bir analiz yapmak gerekir. Yapıların yer hareketine tepkisi davranış spektrumu ile tanımlanır. Genel bir tanımlamayla, tepki spektrumu yapıların dinamik analizleri için sismik yükleri temsil eder. Tasarım tepki spektrumları, zemin koşullarına ve depremselliğe bağılı olarak bölgede oluşabilecek depremlere karşı sahanın vereceğı tepkiyi gösterir.

Tepki spektrumları iki farklı şekilde oluşturulabilir. Bunlar; Sahaya özgü tepki spektrumları ve kod tabanlı tepki spektrumları olarak tanımlanır. Bu bölümde, kod tabanlı tepki spektrumlarının oluşturulması açıklanmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliğı (TBDY, Binalar için Deprem Yönetmeliğı, 2018) deprem tehlike düzeylerini şu şekilde açıklamaktadır:

- Deprem Seviyesi DD-1: Spektral genliklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2, dolayısıyla 2475 yıllık geri dönüş süresidir. Çok nadir en yüksek deprem olarak adlandırılır.

- Deprem Seviyesi DD-2: Spektral genliklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10, dolayısıyla 475 yıllık geri dönüş süresidir. Standart tasarım depremi olarak adlandırılır.

- Deprem Seviyesi DD-3: Spektral genliklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50, dolayısıyla 72 yıllık geri dönüş süresidir. Sık olarak gerçekleşen deprem olarak adlandırılır.

- Deprem Seviyesi DD-4: Spektral genliklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68, dolayısıyla 43 yıllık geri dönüş süresidir. Çok sık olarak gerçekleşen deprem olarak adlandırılır.

Bu tez çalışmasında elastik tasarım spektrumunu analizleri için en yüksek deprem DD-1 ve standart tasarım depremi DD-2 kullanılmıştır.

Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD, 2018) tarafından hazırlanan deprem haritaları kullanılarak bir yer için beklenen deprem genlikleri-tasarım parametreleri yani 0,2 s ve 1 s periyotlarındaki spektral ivmeler, tasarım davranış spektrumları ile meydana getirilebilir.

Tasarım parametrelerini belirlemek için öncelikle deprem düzeyi ve zemin parametrelerini AFAD' ın websitesine girilmelidir. Kayma dalgası hızı, drenajsız kayma dayanımı, SPT gibi geoteknik ve geofiziksel parametrelere bağlı olarak deprem düzeyleri ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin tipleri ile birlikte DD-1 ve DD-2 olarak alınmıştır. Zemin şartlarının açıklaması ilerleyen bölümlerde verilecektir.

Tasarım tepki spektrumlarını oluşturmanın ilk adımı, harita tabanlı spektral ivmelerin belirlenmesidir. Bu değerler, deprem tehlike haritaları kullanılarak sahanın koordinatlarına göre belirlenir. Kısa periyotlu spektral ivme (S_s) ve 1 saniyelik periyot için spektral ivme (S_1) harita tabanlı spektral ivmeleri oluşturur. Tasarım spektrumunu oluşturmak için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

Tasarım spektral ivmelerin (S_{DS} ve S_{D1}) hesaplamaları aşağıda verilmiştir:

$$S_{DS} = F_S \times S_s \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = F_1 \times S_{s1} \quad (3.4)$$

Tasarım ivmelerini, F_S ve F_1 'i hesaplamak için yerel zemin sınıfı faktörleri aşağıdaki Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 kullanılarak belirlenebilir.

Tablo 3.6. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı

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

Tablo 3.7. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı

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

Yatay elastik davranış spektrumlarının ordinatları, binanın doğal periyodu ile aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

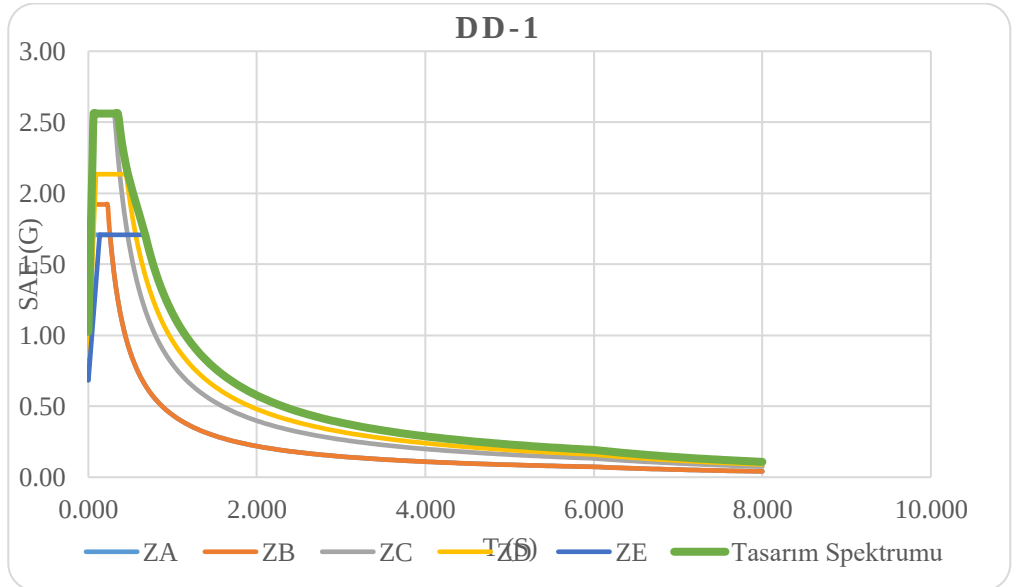
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

Plastik deformasyon için sınır periyodu $T_L = 6 \text{ sn}$ olarak alınacaktır. Türkiye Deprem Yönetmeliği (TBDY, Binalar için Deprem Yönetmeliği, 2018)

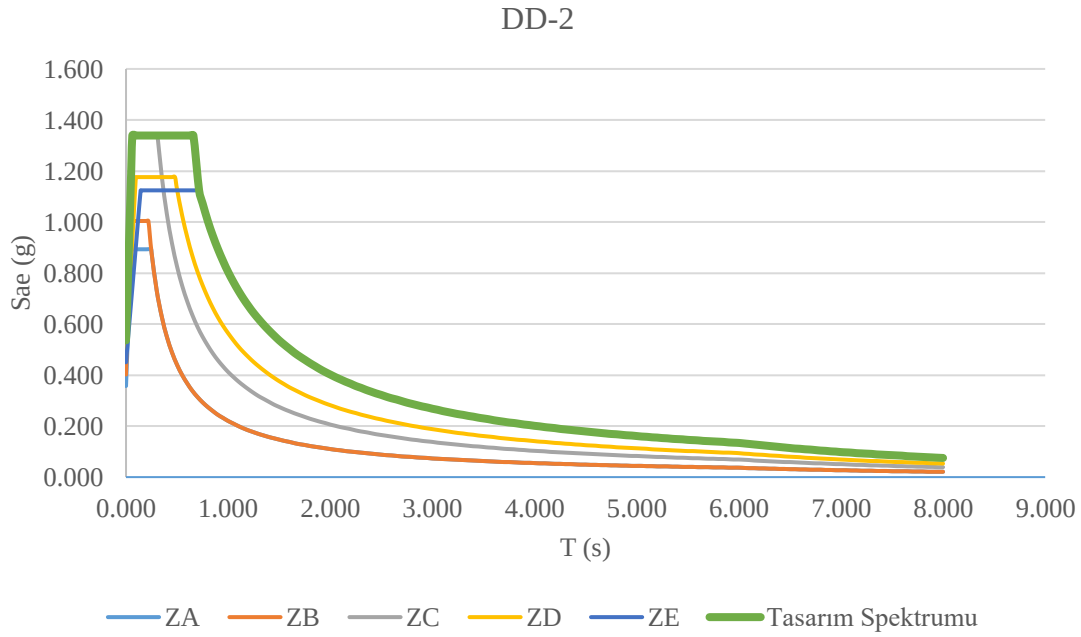
Yukarıdaki formüller kullanılarak, İzmir ili Bayraklı ilçesi Manavkuyu mahallesi için DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için zarf elastik tasarım davranış spektrumları çizilmiştir.

Proje sahası ve DD-1 deprem seviyesi için kısa dönem spektral ivmeleri $S_S = 2.134$; 1 sn periyodu için spektral ivme $S_1 = 0.547$ dir. DD-1 deprem düzeyine karşılık gelen ivmeler için yerel zemin koşul faktörleri $F_S = 1.20$ ve $F_1 = 1.453$ 'tür. Bu parametrelere bağlı olarak, tasarım spektral ivmeleri $S_{DS} = 2.561$ ve $S_{D1} = 0.795$ 'tir. Hesaplanan parametreler kullanılarak yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 3.16' da verilmiştir. Ayrıca, en büyük yer ivmesi (PGA) 0.846 g ve en büyük yer hızı 53.036 cm/s olarak verilmiştir.



Şekil 3.16. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları sisteminden çalışma alanı için alınan ve DD-1 deprem tasarım sınıfı için alınan spektral ivme değerlerinin grafiği

Proje sahası ve DD-2 deprem seviyesi için kısa dönem spektral ivmeleri $S_S = 1.116$; 1 sn periyodu için spektral ivme $S_1 = 0.275$ ' dir. DD-2 deprem düzeyine karşılık gelen ivmeler için yerel zemin koşul faktörleri $F_S = 1.20$ ve $F_1 = 1.50$ ' dir. Bu parametrelere bağlı olarak, tasarım spektral ivmeleri $S_{DS} = 1.339$ ve $S_{D1} = 0.413$ ' tür. Hesaplanan parametreler kullanılarak yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 3.17' de verilmiştir. Ayrıca, en büyük yer ivmesi (PGA) 0.455 g ve en büyük yer hızı 27.676 cm/s olarak verilmiştir.



Şekil 3.17. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları sisteminden çalışma alanı için alınan ve DD-2 deprem tasarım sınıfı için alınan spektral ivme değerlerinin grafiği

3.8 Anakaya Derinliğinin Belirlenmesi

Bu kısımda Deepsoil analizlerinde, sondaj kuyusu için oluşturulan serbest saha modellerinde depremin etkileyeceği anakayanın nerede olduğu araştırılmaktadır.

TBDY 2018'e göre, yerel zemin sınıfı ZA ya da ZB olarak tanımlanan katmanın mühendislik anakayası olarak alınacağı, Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritalarında yer alan S_s ve S_1 değerlerinin (referans ana kayası 760m/sn) ZA ya da ZB yerel zemin etki katsayıları azaltılarak meydana getirilen hedef spektrumları açısından deprem leklemesinin yapılmaktadır.

Ayrıca, eğer yerel zemin sınıfı ZA ya da ZB olarak isimlendirilen katman çok derinlerde ise ya da sondaj bu derinliğe kadar gitmiyorsa, yerel zemin sınıfı ZC ya da ZD olan katman dikkate alınarak ve bu zemin sınıflarının yerel zemin katsayılarıyla hedef spektrumunun meydana getirilmesi ve ölçeklemenin bu spektruma göre oluşturulması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında ele alınan zemin profilinin altındaki ZD tabakalarına ait olan hedef spektrumları DD-1 ve DD-2 için ayrı ayrı alınmıştır.

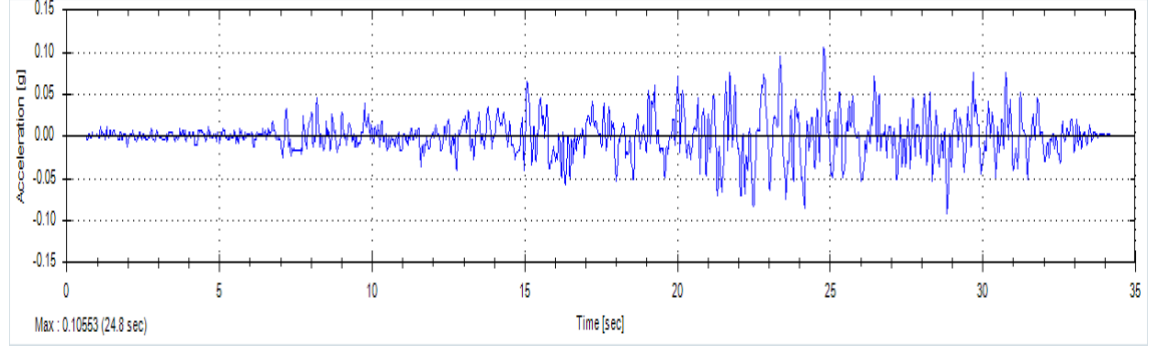
3.9 Deprem Kaydının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Bu tez çalışmasında, zemin tepki analizlerinde 33 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlar, İzmir’ in depremselliği, zemin durumu, fay tipi, deprem büyüklüğü, saha ile kırılma bölgesi arasındaki mesafe, kayma dalgası hızı, deprem süresi temel alınarak PEER Zemin Hareketi Veritabanından (PEER,2006) seçilmektedir.

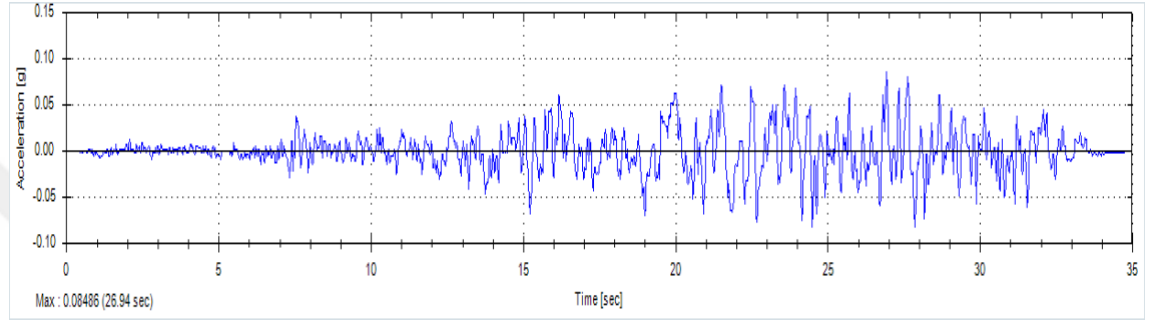
Proje konumuna uygun gerçek depremlerin seçimi önemlidir. Seçilen depremlerin uygunluğu karşılık gelen deprem büyüklüğüne, fayın tipine, uzunluğuna ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir. İzmir’ de meydana gelebilecek en büyük deprem büyüklüğü Wells ve Coppersmith (1994) tarafından 6,0 ile 8,0 arasında hesaplanmıştır. Fakat bu tez çalışmasında kullanılan depremler 7,0 ile 7,5 arasındaki depremlerdir. Karşılık gelen deprem düzeyleri DD-1 ve DD-2’dir. İzmir’deki diri faylar genellikle doğrultu atımlı ve normal faylardır; bu yüzden, bu tür fayların ürettiği depremler seçilmiştir. Proje yerinin anakaya kotu TBDY sınıflamasına göre ZD olarak belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliği’ne (2018) göre ZD tipi zeminlerin kayma dalgası hızı 180 ile 360 m/s arasındadır. Depremlerin seçimi sırasında, birkaç istisna dışında, depremlerin anakaya seviyeleri bu aralıkta tutulmaktadır.

Seçilen 33 adet depremin ölçeklendirilmemiş ham verileri aşağıda kısa özetlerle birlikte sunulmuştur. PEER, deprem kayıtlarının 2 adet yatay ve 1 adet dikey bileşenleri ayrı ayrı verir. Fakat, bu tezde yatay bileşenler çalışıldığı için 2 adet yatay bileşen kullanılmıştır.

1978 Tabas depremi, İran’ ın Mojave Tabas şehrinde meydana gelmiştir. Deprem ters atımlı ve depremin büyüklüğü 7.35 Mw. Bu çalışmada “Boshrooyeh” istasyondan alınan kayıtlar kullanılmıştır. Bu istasyonundan alınan kayıtlar Tabas-01 olarak adlandırılmıştır. Depremin bu istasyondaki birinci yatay bileşeninin ivme-zaman kaydı Şekil 3.18’ de, ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman kaydı Şekil 3.19’ da verilmiştir.



Şekil 3.18. Ölçeklendirilmemiş Tabas-01 depreminin birinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafiği



Şekil 3.19. Ölçeklendirilmemiş Tabas-01 depreminin ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafiği

1992 Landers depremi, Güney Kaliforniya'nın Mojave çölünde Landers yakınında meydana gelmiştir. Deprem doğrultu atımlı ve depremin büyüklüğü 7.28 Mw. Bu çalışmada 4 farklı istasyondan alınan kayıtlar kullanılmıştır. “Desert Hot Springs” istasyonundan alınan kayıtlar Landers-01, “Mission Creek Fault” istasyonundan alınan kayıtlar Landers-02, “North Palm Springs” istasyonundan alınan kayıtlar Landers-03, “Yermo Fair Station” istasyonundan alınan kayıtlar Landers-04 olarak adlandırılmıştır. Depremi 4 farklı istasyondaki birinci yatay bileşeninin ivme-zaman kayıtları EK-1’ de verilmiştir. Depremi 4 farklı istasyondaki ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman kayıtları EK-2’ de verilmiştir.

2010 El Mayor Cucapah depremi, Meksika'nın Tijuana kentinin 173 km açığında meydana gelmiştir. Deprem doğrultu atımlı ve depremin büyüklüğü 7.2 Mw. Bu çalışmada 12 farklı istasyondan alınan kayıtlar kullanılmıştır. “Chihuahua” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-01, “Michoacan De Ocampo” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-02, “Riito” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-03, “Ejido Saltillo” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-04 olarak,

“Tamaulipas” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-05 olarak, “El Centro – Meloland Geot. Array” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-06 olarak, “El Centro – Imperial & Ross” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-07 olarak, “Calexico Fire Station” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-08 olarak, “El Centro Array #7” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-09 olarak, “El Centro Array #10” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-10 olarak, “El Centro Array #11” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-11 olarak, “Westside Elementary School” istasyonundan alınan kayıtlar El Mayor-12 olarak adlandırılmıştır. Deprem 12 farklı istasyondaki birinci yatay bileşenin ivme-zaman kayıtları EK-3’ de verilmiştir. Deprem 12 farklı istasyondaki ikinci yatay bileşenin ivme-zaman kayıtları EK-4’ te verilmiştir.

2010 Darfield depremi, Yeni Zelanda’nın Christchurch kentinin civarında meydana gelmiştir. Deprem doğrultu atımlı ve depremin büyüklüğü 7.0 Mw. Bu çalışmada 16 farklı istasyondan alınan kayıtlar kullanılmıştır. “Canterbury Aero Club” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-01, “Christchurch Botanical Gardens” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield -02, “Christchurch Cathedral College” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield -03, “Christchurch Hospital” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield 04 olarak, “Christchurch Cashmere High School” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield -05 olarak, “DFHS” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-06 olarak, “Hulverstone Drive Pumping Station” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-07 olarak, “NNBS North New Brighton School” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-08 olarak, “Papanui High School” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-09 olarak, “Pages Road Pumping Station” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield -10 olarak, “Riccarton High School” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield -11 olarak, “RKAC” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-12 olarak, “SBRC” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-13 olarak, “Shirley Library” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-14 olarak, “Styx Mill Transfer Station ” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-15 olarak, “WSFX” istasyonundan alınan kayıtlar Darfield-16 olarak adlandırılmıştır. Deprem 16 farklı istasyondaki birinci yatay bileşenin ivme-zaman kayıtları EK-5’ te verilmiştir. Deprem 16 farklı istasyondaki ikinci yatay bileşenin ivme-zaman

kayıtları EK-6' da verilmiştir. Tablo 3.8'de DD-1 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri gösterilmektedir.

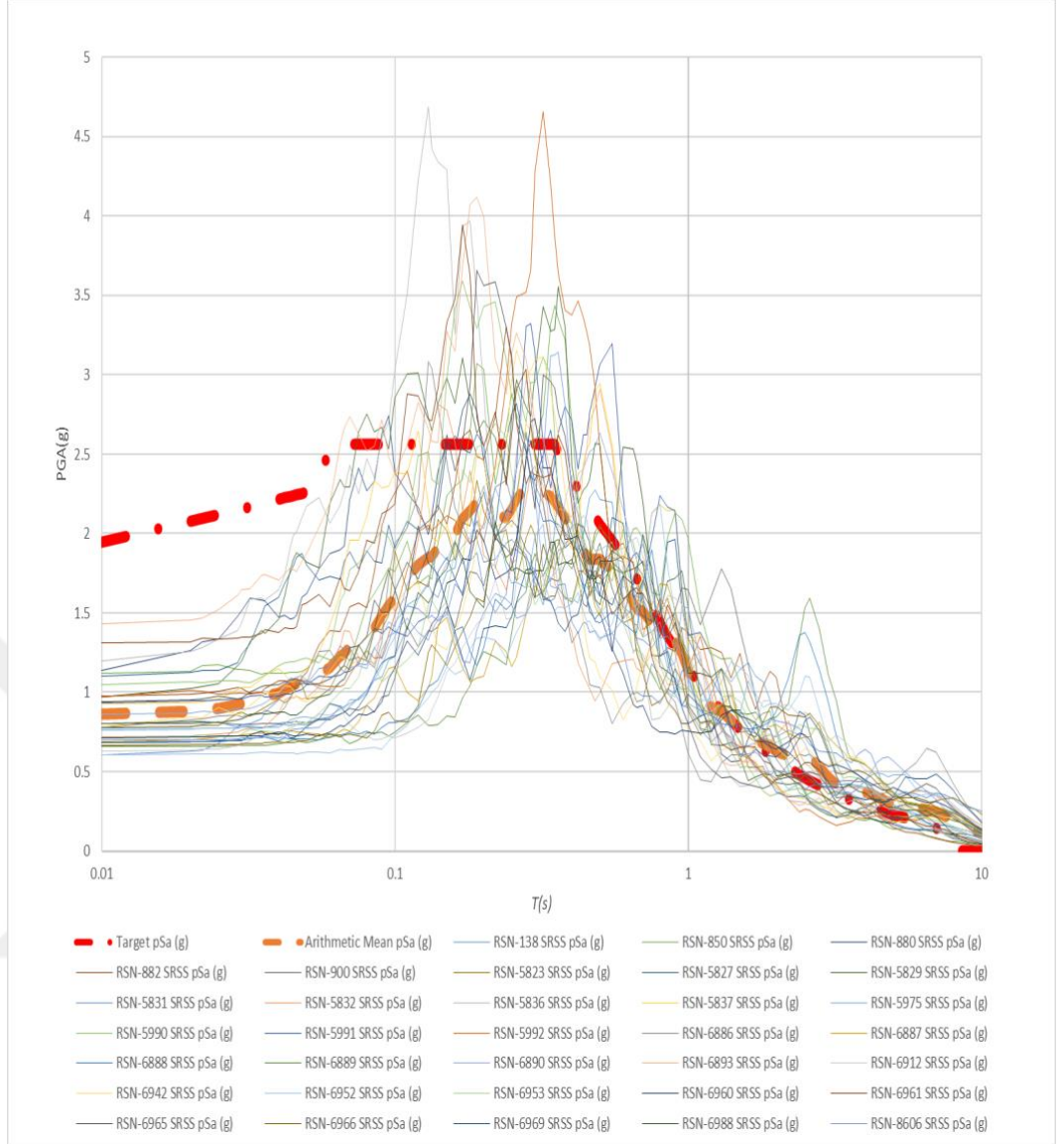
Tablo 3.8. DD-1 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri(PEER, 2006)

Result ID	Spectral Ordinate	Record Sequence Number	Mean Squared Error	Scale Factor	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Mechanism	Rip (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/sec)
1	SRSS	138	0.0775	5.6738	Tabas-01	1978	"Bostnoyeh"	7.35	Reverse	24.07	28.79	324.57
2	SRSS	850	0.0884	4.7861	Landers-01	1992	"Desert Hot Springs"	7.28	strike slip	21.78	21.78	359
3	SRSS	880	0.0458	6.2171	Landers-02	1992	"Mission Creek Fault"	7.28	strike slip	26.96	26.96	355.42
4	SRSS	882	0.0698	5.1173	Landers-03	1992	"North Palm Springs"	7.28	strike slip	26.84	26.84	344.67
5	SRSS	900	0.1359	2.7642	Landers-04	1992	"Yermo Fire Station"	7.28	strike slip	23.62	23.62	353.63
6	SRSS	5823	0.1033	2.4421	El Mayor-01	2010	"Chihuahua"	7.2	strike slip	18.21	19.47	242.05
7	SRSS	5827	0.0433	1.6313	El Mayor-02	2010	"MICHIOACAN DE OCAMPO"	7.2	strike slip	13.21	15.91	242.05
8	SRSS	5829	0.0508	1.7595	El Mayor-03	2010	"RITO"	7.2	strike slip	13.7	13.71	242.05
9	SRSS	5831	0.2426	2.823	El Mayor-04	2010	"EIDO SALTILLO"	7.2	strike slip	14.8	17.32	242.05
10	SRSS	5832	0.1554	2.347	El Mayor-05	2010	"TAMAUJIPAS"	7.2	strike slip	25.32	26.55	242.05
11	SRSS	5836	0.1066	2.2687	El Mayor-06	2010	"El Centro - Meloland Geot. Array"	7.2	strike slip	28.53	29	264.57
12	SRSS	5837	0.0734	1.7333	El Mayor-07	2010	"El Centro - Imperial & Ross"	7.2	strike slip	19.39	20.08	229.25
13	SRSS	5975	0.1547	2.0148	El Mayor-08	2010	"Calexico Fire Station"	7.2	strike slip	19.12	20.46	231.23
14	SRSS	5990	0.0657	2.977	El Mayor-09	2010	"El Centro Array #7"	7.2	strike slip	27.42	27.91	210.51
15	SRSS	5991	0.104	1.7712	El Mayor-10	2010	"El Centro Array #10"	7.2	strike slip	19.36	20.05	202.85
16	SRSS	5992	0.1305	1.3212	El Mayor-11	2010	"El Centro Array #11"	7.2	strike slip	15.36	16.21	196.25
17	SRSS	8606	0.1946	1.8202	El Mayor-12	2010	"Westside Elementary School"	7.2	strike slip	10.31	11.44	242
18	SRSS	6886	0.2832	2.8488	Darfield-01	2010	"Canterbury Aero Club"	7	strike slip	14.48	14.48	280.26
19	SRSS	6887	0.2621	2.8105	Darfield-02	2010	"Christchurch Botanical Gardens"	7	strike slip	18.05	18.05	187
20	SRSS	6888	0.2603	2.2524	Darfield-03	2010	"Christchurch Cathedral College"	7	strike slip	19.89	19.89	198
21	SRSS	6889	0.4054	2.5309	Darfield-04	2010	"Christchurch Hospital"	7	strike slip	18.4	18.4	194
22	SRSS	6890	0.0492	2.5296	Darfield-05	2010	"Christchurch Cashmere High School"	7	strike slip	17.64	17.64	204
23	SRSS	6893	0.0656	2.0567	Darfield-06	2010	"DHS"	7	strike slip	11.86	11.86	344.02
24	SRSS	6912	0.2669	3.4601	Darfield-07	2010	"Hulverstone Drive Pumping Station"	7	strike slip	25.4	25.4	206
25	SRSS	6942	0.1768	2.793	Darfield-08	2010	"WNSB North New Brighton School "	7	strike slip	26.76	26.76	211
26	SRSS	6952	0.3318	2.1776	Darfield-09	2010	"Papamui High School "	7	strike slip	18.73	18.73	263.2
27	SRSS	6953	0.1234	2.3853	Darfield-10	2010	"Pages Road Pumping Station"	7	strike slip	24.55	24.55	206
28	SRSS	6960	0.1865	2.375	Darfield-11	2010	"Riccarton High School "	7	strike slip	13.64	13.64	293
29	SRSS	6961	0.0216	5.1616	Darfield-12	2010	"RAC"	7	strike slip	13.37	16.47	295.74
30	SRSS	6965	0.1317	4.3887	Darfield-13	2010	"SBC"	7	strike slip	21.31	24.34	263.2
31	SRSS	6966	0.2297	2.617	Darfield-14	2010	"Shirley Library"	7	strike slip	22.33	22.33	207
32	SRSS	6969	0.229	2.777	Darfield-15	2010	"Syx Mill Transfer Station "	7	strike slip	20.86	20.86	247.5
33	SRSS	6988	0.0751	8.303	Darfield-16	2010	"WSC"	7	strike slip	24.36	26.93	344.02

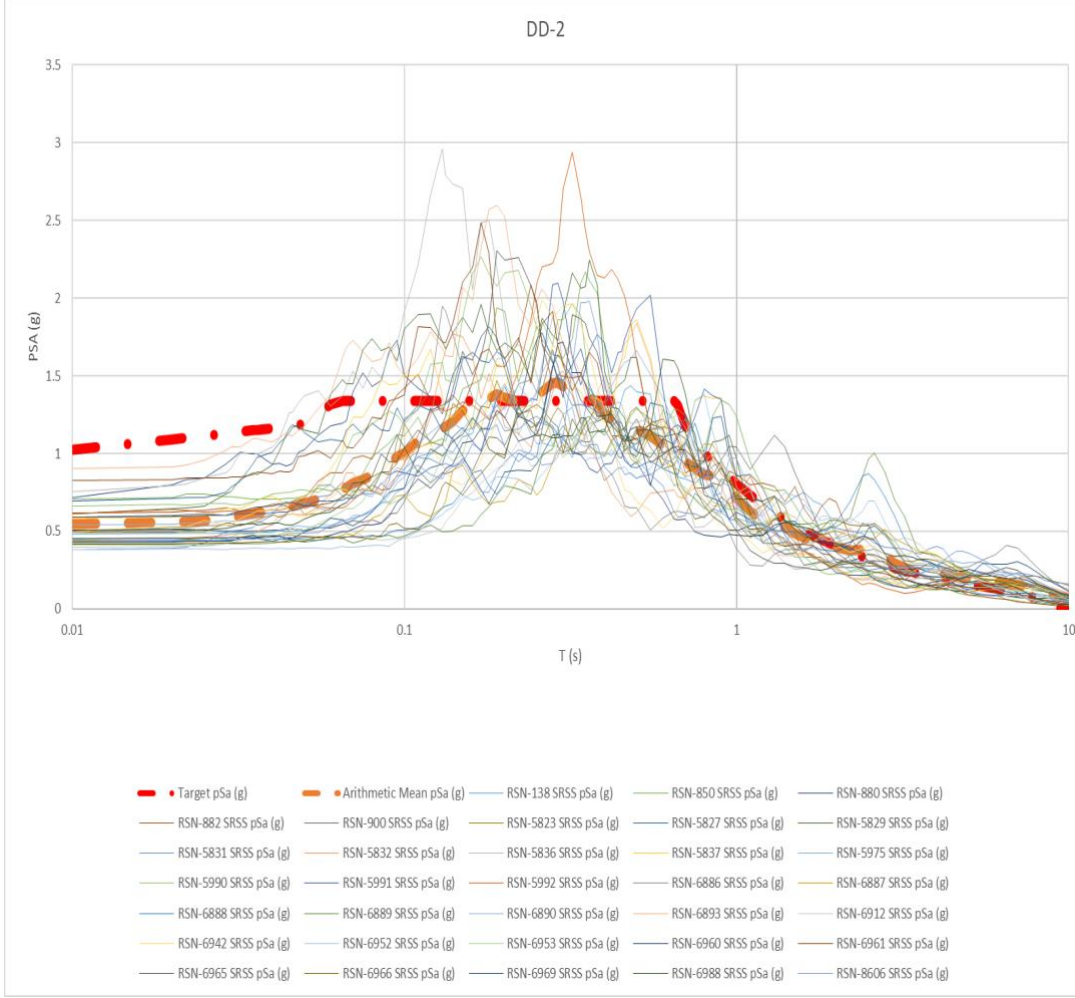
Tablo 3.9'da DD-2 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri gösterilmektedir.

Tablo 3.9. DD-2 ve ZD zemin sınıfı için seçilmiş deprem kayıtları ve ölçek faktörleri (PEER, 2006)

Result ID	Spectral Ordinate	Record Sequence Number	Mean Squared Error	Scale Factor	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Mechanism	Rjb (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/sec)
1	SRSS	138	0.0402	3.5796	Tabas-01	1978	"Bostrovye"	7.35	Reverse	24.07	28.79	324.57
2	SRSS	850	0.1086	3.0196	Landers-01	1992	"Desert Hot Springs"	7.28	strike slip	21.78	21.78	359
3	SRSS	880	0.0457	3.9224	Landers-02	1992	"Mission Creek Fault"	7.28	strike slip	26.96	26.96	355.42
4	SRSS	882	0.0806	3.2286	Landers-03	1992	"North Palm Springs"	7.28	strike slip	26.84	26.84	344.67
5	SRSS	900	0.0762	1.744	Landers-04	1992	"Yermo Fire Station"	7.28	strike slip	23.62	23.62	353.63
6	SRSS	5823	0.069	1.5407	El Mayor-01	2010	"Chihuahua"	7.2	strike slip	18.21	19.47	242.05
7	SRSS	5827	0.054	1.0292	El Mayor-02	2010	"MICHIOACAN DE OCAMPO"	7.2	strike slip	13.21	15.91	242.05
8	SRSS	5829	0.1042	1.1101	El Mayor-03	2010	"RITO"	7.2	strike slip	13.7	13.71	242.05
9	SRSS	5831	0.1815	1.7811	El Mayor-04	2010	"EJIDO SALTILLO"	7.2	strike slip	14.8	17.32	242.05
10	SRSS	5832	0.1292	1.4807	El Mayor-05	2010	"TAMAULIPAS"	7.2	strike slip	25.32	26.55	242.05
11	SRSS	5836	0.1574	1.4314	El Mayor-06	2010	"El Centro - Meloland Geot. Array"	7.2	strike slip	28.53	29	264.57
12	SRSS	5837	0.077	1.0935	El Mayor-07	2010	"El Centro - Imperial & Ross"	7.2	strike slip	19.39	20.08	229.25
13	SRSS	5975	0.1106	1.2712	El Mayor-08	2010	"Calexico Fire Station"	7.2	strike slip	19.12	20.46	231.23
14	SRSS	5990	0.1057	1.8782	El Mayor-09	2010	"El Centro Array #7"	7.2	strike slip	27.42	27.91	210.51
15	SRSS	5991	0.0993	1.1175	El Mayor-10	2010	"El Centro Array #10"	7.2	strike slip	19.36	20.05	202.85
16	SRSS	5992	0.1744	0.8336	El Mayor-11	2010	"El Centro Array #11"	7.2	strike slip	15.36	16.21	196.25
17	SRSS	8606	0.1411	1.1484	El Mayor-12	2010	"Westside Elementary School"	7.2	strike slip	10.31	11.44	242
18	SRSS	6886	0.2733	1.7973	Darfield-01	2010	"Canterbury Aero Club"	7	strike slip	14.48	14.48	280.26
19	SRSS	6887	0.1659	1.7732	Darfield-02	2010	"Christchurch Botanical Gardens"	7	strike slip	18.05	18.05	187
20	SRSS	6888	0.1809	1.4211	Darfield-03	2010	"Christchurch Cathedral College"	7	strike slip	19.89	19.89	198
21	SRSS	6889	0.2922	1.5968	Darfield-04	2010	"Christchurch Hospital"	7	strike slip	18.4	18.4	194
22	SRSS	6890	0.03	1.5959	Darfield-05	2010	"Christchurch Cashmere High School"	7	strike slip	17.64	17.64	204
23	SRSS	6893	0.1209	1.2976	Darfield-06	2010	"DHHS"	7	strike slip	11.86	11.86	344.02
24	SRSS	6912	0.171	2.183	Darfield-07	2010	"Hulverstone Drive Pumping Station"	7	strike slip	25.4	25.4	206
25	SRSS	6942	0.1624	1.7621	Darfield-08	2010	"NNBS North New Brighton School"	7	strike slip	26.76	26.76	211
26	SRSS	6952	0.2197	1.3739	Darfield-09	2010	"Papanui High School"	7	strike slip	18.73	18.73	263.2
27	SRSS	6953	0.0844	1.5049	Darfield-10	2010	"Pages Road Pumping Station"	7	strike slip	24.55	24.55	206
28	SRSS	6960	0.1539	1.4984	Darfield-11	2010	"Riccarton High School"	7	strike slip	13.64	13.64	293
29	SRSS	6961	0.0607	3.2565	Darfield-12	2010	"RKAC"	7	strike slip	13.37	16.47	295.74
30	SRSS	6965	0.1578	2.7688	Darfield-13	2010	"SBRC"	7	strike slip	21.31	24.34	263.2
31	SRSS	6966	0.156	1.6511	Darfield-14	2010	"Shirley Library"	7	strike slip	22.33	22.33	207
32	SRSS	6969	0.1539	1.752	Darfield-15	2010	"Syx Mill Transfer Station"	7	strike slip	20.86	20.86	247.5
33	SRSS	6988	0.0267	5.2384	Darfield-16	2010	"WSFC"	7	strike slip	24.36	26.93	344.02



Şekil 3.20. DD-1 deprem düzeyinin hedef PSA' sına dayalı olarak ölçeklendirilmiş aritmetik ortalama PSA (Log. Ölçekli)



Şekil 3.21. DD-2 deprem düzeyinin hedef PSA' sına dayalı olarak ölçeklendirilmiş aritmetik ortalama PSA (Log. Ölçekli)

Şekil 3.20 ve Şekil 3.21' de görüleceği gibi, seçilen ölçekli depremlerin hedef spektral ivmelerinin ve aritmetik ortalamalarının birbirine yakın olmasından dolayı kabul edilebilir.

3.10 Deepsoil programında dinamik zemin modelinin oluşturulması

Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin tepkisi analizleri zemin profili için yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizler efektif gerilme tabanlı gerçekleştirilmiştir. Non-Masing modeli boşaltma ve yeniden yükleme histeresis modelinde ve GQ/H modeli doğrusal olmayan iskelet eğrisi formülasyonunda kullanılmıştır. Dobry, Matasovic ve Vucetic modelleri boşluksuyu basıncı gelişim modellerinde kullanılmıştır.

Zemin açıklaması yapılan zemin kolununun bölündüğü tabakaların kalınlığı göz önünde bulundurulmalıdır. Çoğunlukla Denklem 3.8’deki f_{max} ’a göre hesaplanmaktadır. f_{max} , maksimum frekansı göstermektedir. 30 Hz üzerindeki f_{max} değerleri önerilmektedir (Hashash vd., 2010). Deepsoil yazılımında bu frekans girilerek devam edilirse, yazılım tarafından otomatik tabakalara bölünerek hesaplaması yapılmaktadır.

$$f_{max} = \frac{v_{s,tabaka}}{4H_{tabaka}} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki tablolardaki tüm veriler DEEPSOIL programına girilmiş ve otomatik bölme seçeneğiyle katmanlar belli sayıdaki katmanlara minimum frekans değeri 30 Hz alınmıştır.

3.10.1 Kayma modülü azalım ve sönüm eğrisi

Bu tez çalışmasında kullanılan sondaj raporuna göre dinamik zemin parametreleri, kil sınıfına uygun olarak Darendeli (2001) tarafından öne atılan varsayım kullanılarak bulunmaktadır. Bu bağıntılar, yanal gerilme katsayısı (K_0), aşırı konsolide oranını (OCR) ve plastisite indisini göz önünde bulundurmaktadır. Bu varsayımın detayları aşağıdaki Tablo 3.10’da verilmektedir.

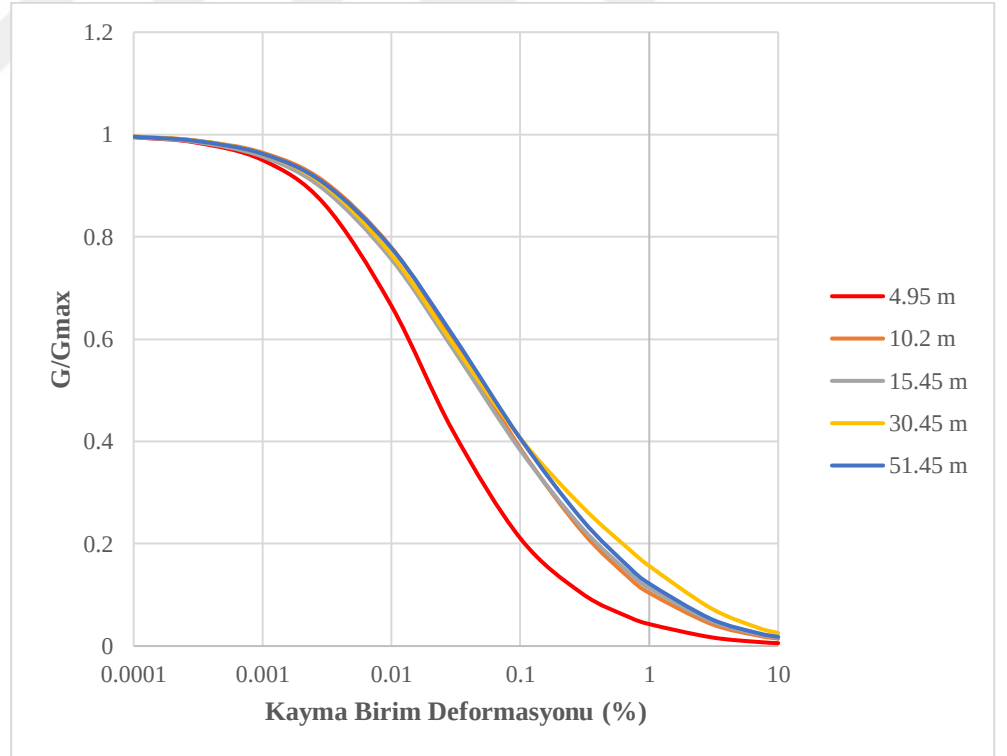
Tablo 3.10. Zeminin sondaj profilinde Darendeli (2001) yaklaşımına göre giriş verileri

Layer No	Zemin Sınıflandırma	Kalınlık (m)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Kayma Dalgası Hızı (Vs)	Kayma Dayanımı (τ)	PI (%)
1	SM	4.95	18.5	149.6306	25.3405	0
2	CH	1.5	18	99.1880	24.8346	28
3	MH	1.15	18.32	101.67	19	25
4	MH	0.45	18	104.1552	28.5198	24
5	MH	1.4	18	122.0150	42.2579	25
6	MH	1.5	18	132.4070	49.3475	22
7	MH	0.1	18.41	155.03	33	20
8	CL	1.4	18.5	177.6614	104.7576	18
9	CL	1.55	18.52	179.235	49.21129	16
10	CL	0.45	18.5	180.8144	106.0911	14
11	CL	1	19	194.5345	129.0723	13
12	GM	1.5	20	223.3538	121.3061	0
13	GM	1.5	21	239.6175	143.9073	0
14	GM	1.5	21	249.1867	163.8058	0
15	GM	1.2	21	270.9231	195.8929	0
16	GM	1.43	21	269.9048	208.5020	0
17	GM	1.87	20	233.3468	185.4045	0
18	SM	1.5	20	223.3941	187.0032	0
19	SM	1.5	19.5	214.4981	189.6939	0
20	SM	1.5	19.5	215.7669	199.9717	0
21	SM	1.5	18.5	192.1236	187.4461	0
22	SM	1.5	19.5	223.3674	219.4455	0
23	CL	1.5	19.5	250.8454	216.4988	11
24	CL	1.5	19.5	262.8451	245.4953	13
25	CL	1.5	20	272.2152	268.4522	12
26	GM	1.5	21	269.3775	323.8611	0
27	CL	1.5	20	275.4455	271.0738	12
28	GM	1.5	19	265.9648	339.7153	0
29	ML	1.5	19.5	211.9973	132.0684	0
30	ML	1.5	19.5	226.6150	155.2255	0
31	GM	1.5	19	193.9692	239.2676	0
32	GM	1.5	19	230.9339	263.9937	0
33	SM	1.5	18.5	270.8653	299.6060	0
34	SM	1.5	18.5	259.3169	271.2831	0
35	GM	1.5	19	272.6066	274.1320	0

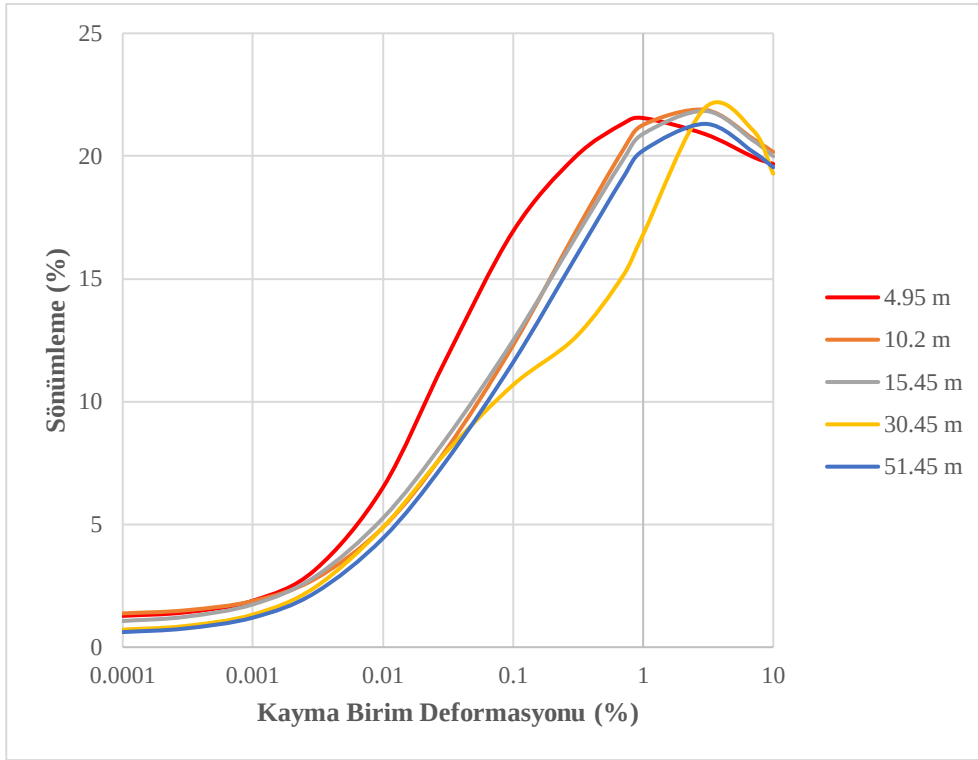
36	SM	1.5	18.5	258.7609	245.3053	0
37	SM	1.5	18.5	247.8085	218.8143	0
38	CL	1.5	20	290.4965	267.3410	14
39	CL	1.5	20	293.5944	270.8881	11
40	CL	1.5	20	298.5202	280.5143	15

3.10.2 Kayma modülü azalım ve sönüm oranı eğrisi

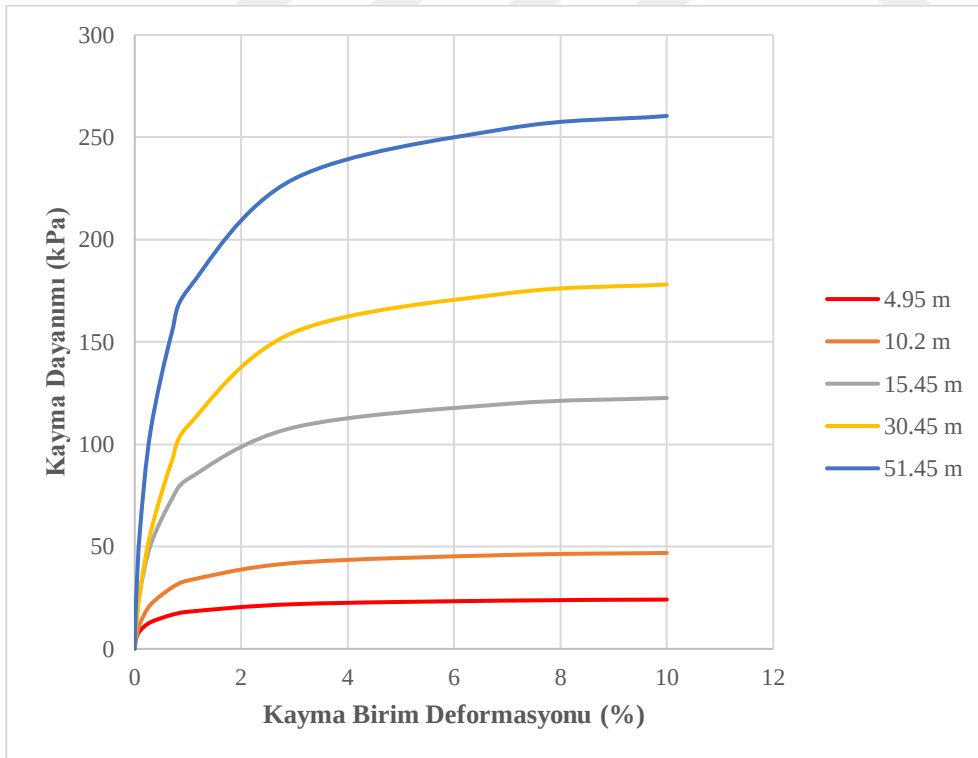
Darendeli (2001) yaklaşımına dayanarak zeminin 5 farklı tabakasındaki sönüm eğrileri, modül indirgeme ve kayma dayanımları grafikleri Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’ de verilmiştir. DEEPSOIL yazılımına yapılan girişler ve uygun eğri düzeltmeleri ile meydana getirilmiştir. Tablo 3.11 Tablo 3.12, Tablo 3.13, Tablo 3.14, Tablo 3.15’de zemin profiline ait farklı derinlikteki kayma birim deformasyonlarının kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri verilmektedir.



Şekil 3.22. Zemin profiline ait farklı derinlikteki G/G_{max} – Kayma Birim Deformasyon grafiği



Şekil 3.23. Zemin profiline ait farklı derinlikteki Sönüm Oranı – Kayma Birim Deformasyon grafiği



Şekil 3.24. Zemin profiline ait farklı derinlikteki Kayma Dayanımı – Kayma Birim Deformasyon grafiği

Tablo 3.11. Zemin profiline ait 4.95 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri

Kayma Birim Deformasyonu(%)	$G/G_{\max}$	Sönüm Oranı(%)	Kayma Dayanımı (kPa)
0.0001	0.994747	1.2758	0.04200
0.0003	0.984414	1.417	0.12469
0.001	0.949991	1.8929	0.40111
0.003	0.864633	3.1447	1.09520
0.01	0.664868	6.5022	2.80724
0.03	0.420123	11.6525	5.32159
0.1	0.21056	16.9332	8.89035
0.3	0.103066	19.9581	13.0550
0.7	0.056369	21.3212	16.6601
1	0.042945	21.5491	18.1325
3	0.017253	20.8938	21.8541
7	0.007985	19.9655	23.6010
10	0.005702	19.6774	24.0742

Tablo 3.12. Zemin profiline ait 10.2 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri

Kayma Birim Deformasyonu(%)	$G/G_{\max}$	Sönüm Oranı(%)	Kayma Dayanımı (kPa)
0.0001	0.995938	1.3774	0.03203
0.0003	0.98837	1.4994	0.09538
0.001	0.964425	1.8793	0.31023
0.003	0.908255	2.7770	0.87650
0.01	0.779115	4.8737	2.50626
0.03	0.599741	7.9748	5.78775
0.1	0.386535	12.290	12.4341
0.3	0.224311	16.876	21.6469
0.7	0.133139	20.244	29.9797
1	0.103864	21.271	33.4112
3	0.043525	21.883	42.0038
7	0.020373	20.701	45.8745
10	0.014574	20.168	46.8804

Tablo 3.13. Zemin profiline ait 15.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri

Kayma Birim Deformasyonu(%)	G/G _{max}	Sönüm Oranı(%)	Kayma Dayanımı(kPa)
0.0001	0.994921	1.0671	0.0729
0.0003	0.985547	1.2352	0.2160
0.001	0.956675	1.7417	0.7012
0.003	0.892365	2.8679	1.9621
0.01	0.755962	5.2548	5.5408
0.03	0.581105	8.4261	12.777
0.1	0.382722	12.487	28.051
0.3	0.23142	16.668	50.886
0.7	0.142837	19.846	73.285
1	0.113224	20.907	82.987
3	0.049237	21.838	108.26
7	0.023336	20.632	119.729
10	0.01673	19.994	122.621

Tablo 3.14. Zemin profiline ait 30.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri

Kayma Birim Deformasyonu(%)	G/G _{max}	Sönümleme (%)	Kayma Dayanımı(kPa)
0.0001	0.99595	0.7174	0.0693
0.0003	0.988049	0.8624	0.2063
0.001	0.962273	1.3284	0.6698
0.003	0.901093	2.4363	1.8817
0.01	0.764941	4.8744	5.3246
0.03	0.591089	7.8877	12.3435
0.1	0.406069	10.6786	28.2660
0.3	0.273006	12.6043	57.0108
0.7	0.188853	15.1249	92.0207
1	0.156598	16.8113	109.0057
3	0.074133	21.9756	154.8093
7	0.035656	21.0467	173.7365
10	0.025583	19.2821	178.0777

Tablo 3.15. Zemin profiline ait 51.45 m derinlikteki kayma birim deformasyonları, kayma modülü azalım, sönüm oranı ve kayma dayanımı değerleri

Kayma Birim Deformasyonu(%)	G/Gmax	Sönümleme (%)	Kayma Dayanımı(kPa)
0.0001	0.995643	0.6156	0.1433
0.0003	0.987547	0.7609	0.4264
0.001	0.962318	1.2039	1.3850
0.003	0.904793	2.2120	3.9068
0.01	0.777756	4.4343	11.1943
0.03	0.607102	7.5193	26.2144
0.1	0.405631	11.5950	58.3833
0.3	0.247656	15.8470	106.9367
0.7	0.153665	19.1177	154.8214
1	0.122006	20.2290	175.6052
3	0.053211	21.3124	229.7648
7	0.025237	20.1701	254.2682
10	0.018094	19.5450	260.4309

3.10.3 Boşluk suyu basıncı parametreleri

Bir zemin örneği içinde boşluklar arasında yer alan yer altı suyunun basıncı boşluk suyu basıncı olarak adlandırılmaktadır. Hidrostatik durum için $u = \gamma_w \times h$ biçiminde elde edilmektedir. Fakat, deprem yükleri altında, granüler yapıdaki zeminlerin hacimlerinde değişiklik olması için boşluk suyu basıncıları tarafından baskı yapılmaktadır. Sismik yükleme çok hızlı bir yükleme durumudur. Bu nedenle, sismik yükleme esnasında drenaj hızlıca gerçekleşmemekte ve hidrostatik durumdaki boşluk suyunun basıncına ek olarak aşırı boşluk suyu basıncı da katılmaktadır. Deepsoil programı aşırı boşluk suyunun basıncının hesaplamak için farklı modeller kullanmaktadır. Bu modeller, Dobry ve Matasovic, Matasovic ve Vucetic, GMP, Park ve Ahn, Generalised gibi deneysel tabanlı modellerdir. Suyun akmasına analizlerde izin verilmektedir. Düşük plastisiteye sahip olan kil zemin kolonları için yaklaşık konsolidasyon katsayısı $1.0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{saniye}$ 'dir. Tablo 3.16'da zemin profiline ait boşluk suyu basıncı parametreleri verilmektedir.

Tablo 3.16. Zemin profili için boşluk suyu basıncı parametreleri

Layer Number	Layer İsmi	s	r	A	B	C	D	γ
1	SM	1.0000	1.0000	1.6205	1.2759	0.0100	1.0000	
2	SM	1.0000	1.0000	1.6205	1.2759	0.0100	1.0000	
3	SM	1.0000	1.0000	1.6205	1.2759	0.0100	1.0000	
4	SM	1.0000	1.0000	1.6205	1.2759	0.0100	1.0000	
5	CH	0.1131	0.5429	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
6	CH	0.1131	0.5429	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
7	MH	0.1239	0.5499	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
8	MH	0.1239	0.5499	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
9	MH	0.1280	0.5524	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
10	MH	0.1239	0.5499	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
11	MH	0.1239	0.5499	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
12	MH	0.1373	0.5579	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
13	MH	0.1373	0.5579	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
14	MH	0.1482	0.5639	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
15	CL	0.1612	0.5707	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
16	CL	0.1772	0.5783	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
17	CL	0.1772	0.5783	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
18	CL	0.1972	0.5871	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
19	CL	0.2093	0.5920	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
20	GM	1.0000	1.0000	0.8709	1.3341	0.0100	1.0000	
21	GM	1.0000	1.0000	0.7810	1.3502	0.0100	1.0000	
22	GM	1.0000	1.0000	0.7350	1.3787	0.0100	1.0000	
23	GM	1.0000	1.0000	0.6457	1.4150	0.0100	1.0000	
24	GM	1.0000	1.0000	0.6495	1.3167	0.0100	1.0000	
25	GM	1.0000	1.0000	0.8138	1.3341	0.0100	1.0000	
26	SM	1.0000	1.0000	0.8707	1.5662	0.0100	1.0000	
27	SM	1.0000	1.0000	0.9273	1.5919	0.0100	1.0000	
28	SM	1.0000	1.0000	0.9189	1.5433	0.0100	1.0000	
29	SM	1.0000	1.0000	1.1000	1.4963	0.0100	1.0000	
30	SM	1.0000	1.0000	0.8709	1.4808	0.0100	1.0000	
31	CL	0.2393	0.6033	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
32	CL	0.2093	0.5920	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
33	CL	0.2232	0.5974	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
34	GM	1.0000	1.0000	0.6514	1.5177	0.0100	1.0000	
35	CL	0.2232	0.5974	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
36	GM	1.0000	1.0000	0.6644	1.5244	0.0100	1.0000	
37	ML	0.0000	0.0000	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
38	ML	0.0000	0.0000	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
39	GM	1.0000	1.0000	0.9900	1.5372	0.0100	1.0000	

40	GM	1.0000	1.0000	0.8270	1.5492	0.0100	1.0000	
41	SM	1.0000	1.0000	0.6459	1.5607	0.0100	1.0000	
42	SM	1.0000	1.0000	0.6910	1.2974	0.0100	1.0000	
43	GM	1.0000	1.0000	0.6395	1.5433	0.0100	1.0000	
44	SM	1.0000	1.0000	0.6933	1.5662	0.0100	1.0000	
45	SM	1.0000	1.0000	0.7414	1.5607	0.0100	1.0000	
46	CL	0.1972	0.5871	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
47	CL	0.2393	0.6033	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100
48	CL	0.1866	0.5825	7.6451	-14.714	6.3800	0.6922	0.0100



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kayma Gerilmesi Oranı (τ / σ_v') – Kayma Birim Deformasyon İlişkileri

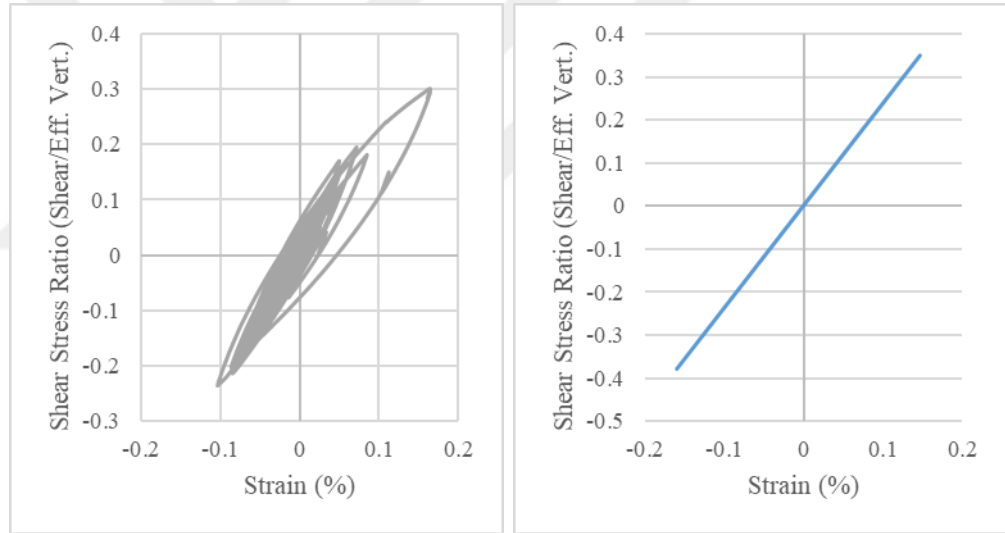
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz türüne doğrusal olmayan analiz türü denilmektedir. Diğer taraftan, frekans tanımlı alanında gerçekleştirilen analiz türüne eşdeğer doğrusal analiz denilmektedir. Doğrusal olmayan analizin daha sadeleştirilmiş haline eşdeğer doğrusal analiz olarak görülmektedir. Eşdeğer doğrusal analizin en büyük avantajı, analiz için daha az parametreye gerek duyulmaktadır.

Kayma modülü, sönüm ve kayma dayanımının sismik yükleme esnasında değişim şekli doğrusal, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde farklılık oluşturmaktadır. Eşdeğer doğrusal analizlerde sismik yükleme esnasında, başlangıçtaki değeri G_{max} olan rijitlik, ξ olan sönüm sadece kayma birim deformasyonlarına göre değişiklik göstermektedir. Bunlar, sönüm eğrileri $D - \xi$ ve kayma modülü azalım $G / G_{max} - \gamma$ eğrileri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Diğer bir taraftan, doğrusal analizlerde sismik yükleme esnasında sönüm ve başlangıç kayma modülü (G_{max}) yani rijitlik sabittir.

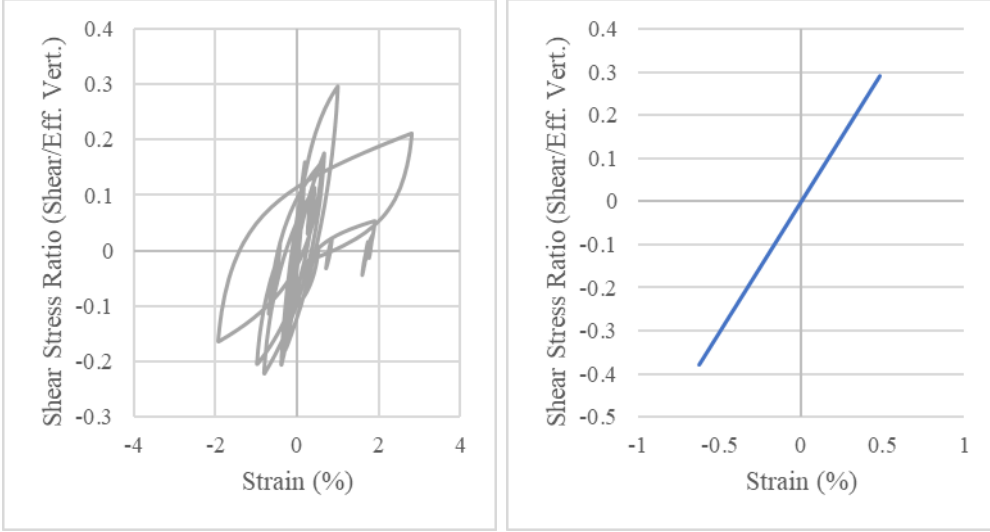
Doğrusal olmayan analizlerde, G_{max} ve τ_f çevrim sayısına ve efektif gerilmeyle ilişkili olarak farklılık göstermektedir. Diğer bir deyişle, sismik yükleme esnasında iskelet eğrisi bozulum göstermektedir. Bu nedenle, kayma modülü (G), deformasyonlara, çevrim sayısına ve efektif gerilme düzeyine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Eşdeğer doğrusal analizlerde, çok yüksek deformasyon davranışı parametresi olan kayma dayanımında (τ_f) ve çok düşük deformasyonlardaki davranışı ifade eden başlangıç kayma modülü (G_{max}) bir farklılık göstermemektedir.

Sönüm, kayma dayanımı ve rijitlik temsil edilme çeşidine göre, herhangi bir sismik ivme kaydın altında meydana getirilen eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlere ait zemin yüzeyi tepki spektrumları da yüksek ve düşük periyod seviyelerinde çeşitlilik gözlenmektedir.

Tez kapsamında ele alınan zemin profili için herhangi bir derinlikte elde edilen kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkileri görülmektedir. Şekil 4.1. ve 4.2.'de (a) şıkları doğrusal olmayan zemin tepkisi analizlerinden elde edilen, (b) şıkları ise eşdeğer doğrusal zemin tepkisi analizlerinden elde edilen kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkilerini ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle, düşey efektif gerilmeye göre normalize edilmiş durumdadır. Şekil 4.1 ve 4.2'de kayma gerilmesi oranı- kayma birim deformasyonu ilişkilerine iki farklı örnek verilmiştir. Tüm şekillerde eşdeğer doğrusal analizden elde edilen gerilme deformasyon ilişkilerinin sismik yükleme boyunca doğrusal seyrettiği görülmektedir. Bu durum, eşdeğer doğrusal analizde boşluk suyu basıncı değişiminin hesaba katılmamasından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bakıldığında, Şekil 4.1'de sadece deformasyona bağlı kayma modülü azalımı, Şekil 4.2'de ise efektif gerilmeler bağlı olarak iskelet eğrisinin bozunumuna örnek görülmektedir.



Şekil 4.1. Zemin yüzeyi (15.45 m derinliğindeki tabaka) kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkileri (a) Efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan model (b) Eşdeğer doğrusal model (Deprem Düzeyi -1 Büyüklüğü $M=7.35$ olan ve kaydın alındığı lokasyondaki $V_{s,30}=324.57$ m/sn olan deprem Tabas-01A)



Şekil 4.2. Zemin yüzeyi (30.45 m derinliğindeki tabaka) kayma gerilmesi oranı – kayma birim deformasyonu ilişkileri (a) Efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan model (b) Eşdeğer doğrusal model (Deprem Düzeyi -1 Büyüklüğü $M=7.35$ olan ve kaydın alındığı lokasyondaki $V_{s,30}=324.57$ m/sn olan deprem Tabas-01A)

4.2 Sismik zemin davranışında eşik kayma birim deformasyonu seviyelerin önemi

Dinamik yükler, şiddet büyüklük, ve frekans içeriklerine aynı zamanda zeminin rijitlik ve kayma dayanımına bağlı olarak farklı düzeylerde birim deformasyonların oluşumuna yol açmaktadır. Bu tip yükleme altında, zeminlerin doğrusal olmayan davranışları farklılıklar göstermekte, burada kayma birim deformasyonu değeri bir rehber niteliği taşımaktadır.

Şekil 4.3’de, Ishihara (1996)’nın önerdiği, kayma birim deformasyonları seviyelerine bağlı olarak kullanımı önerilen zemin tepkisi modelleri görülmektedir.

Ishihara (1996) kayma birim deformasyonuna (γ) göre bir sınıflandırma önermektedir. Böylece $\gamma < 10^{-5}$ küçük, $10^{-5} < \gamma < 10^{-3}$ iken orta, $10^{-3} < \gamma < (2-3) \times 10^{-2}$ yüksek kayma birim deformasyon seviyelerini, $\gamma > (2-3) \times 10^{-2}$ ise göçme durumundaki kayma birim deformasyonlarına karşı gelmektedir. Şekil 3.14’de zemindeki kayma birim deformasyonu düzeyine bağlı olarak ihtiyaç duyulan zemin modeli ve sismik tepki analiz yöntemleri gösterilmektedir.

Shear strain	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
	Small strain	Medium strain		Large strain		Failure strain
Elastic						
Elasto-plastic						
Failure						
Effect of load repetition						
Effect of loading rate						
Model	Linear elastic model		Visco-elastic model		Load history tracing type model	
Method of response analysis	Linear method		Equivalent linear method		Step-by-step integration method	

Şekil 4.3. Zemindeki kayma birim deformasyonu düzeyine bağlı olarak ihtiyaç duyulan zemin modeli ve sismik tepki analiz yöntemi (Ishihara, 1996)

Diaz-Rodriguez ve Santamarina (2001) ve Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina (2008) değişen kayma birim deformasyon düzeyleri ve düzeylerdeki davranışı, farklı tanımlamalar ile yeniden değerlendirmiştir:

1. Doğrusal eşik kayma birim deformasyonu (*linear threshold shear strain, γ_l*),
2. Hacimsel eşik kayma birim deformasyonu (*volumetric cyclic threshold shear strain, γ_{tv}*),
3. $G/G_{\max}$ değerinde azalmanın başladığı eşik kayma birim deformasyonu (*degradation strain threshold, γ_{td}*),
4. Akmanın başladığı kayma birim deformasyon eşiği (*flow threshold, γ_f*) (Şekil 4.4 ve 4.5).

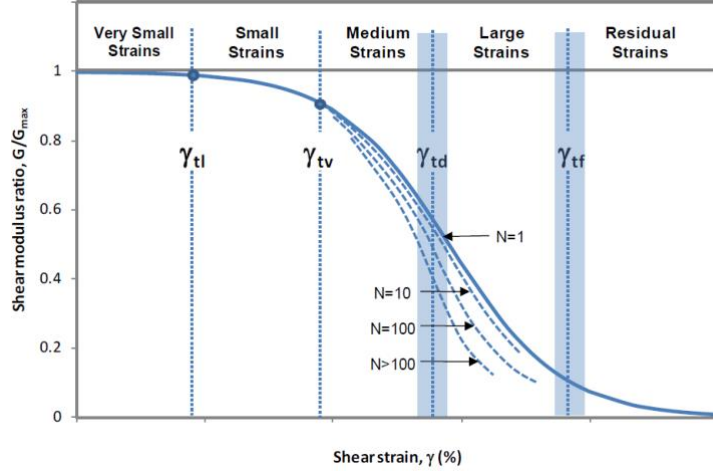
Bu kapsamda, *çok küçük kayma birim deformasyon bölgesi*(γ_l) eşik kayma birim deformasyon değerine kadar olan bölgeyi tanımlamaktadır. $\gamma_l \cong 10^{-5}$ kayma birim deformasyon seviyelerine kadar zeminlerin doğrusal elastik davranış gösterdiği bilinen bir gerçektir (Şekil 4.4 ve 4.5). Bu bölgede kayma modülü deformasyonun bir fonksiyonu olmamakta, $G/G_{\max}$ değeri 0.99 civarı bir değer almaktadır.

Öte yandan, bu bölgede hacimsel deformasyonlar aşırı boşluksuyu basıncı gelişimine sebep olacak seviyede değildir.

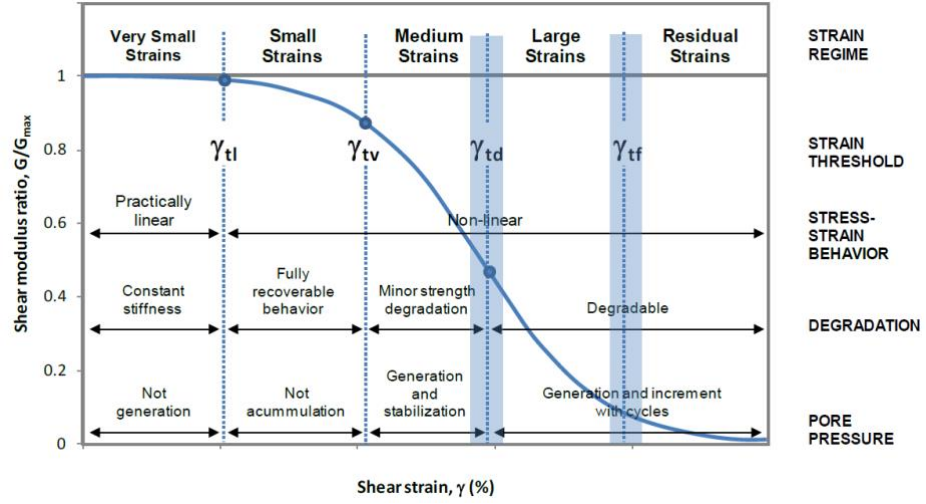
Küçük kayma birim deformasyon bölgesi, $\gamma_{tl} \cong 10^{-5}$ ile $\gamma_{tv} \cong (2 \sim 6) \times 10^{-4}$ eşik kayma birim deformasyonları arasındaki bölge tarafından tanımlanmaktadır. Kayma birim deformasyonları bu bölgede doğrusal olmayan davranış göstermekle birlikte, davranışın elastik olduğu gözlenmektedir, ancak kayma modülü deformasyon ile azalmaktadır. γ_{tv} eşik kayma birim deformasyonu düzeyine erişildiğinde kayma modülü oranı 0.65-0.85 arasında bir değer almaktadır. Hacim değişimi sonrasında boşluk suyu basıncı gelişimi olsa dahi, elastik davranış dahilinde kümülatif artışlar gözlenmemekte, bu da efektif gerilmelerdeki azalımın ihmal edilebilir mertebelerde olmasını sağlamaktadır. Böylece, kayma dayanımı ve rijitliğin önemli oranda değişmediği söylenebilir. Bu bölgede, eşdeğer doğrusal modelin kullanımı tavsiye olunmaktadır.

Orta kayma birim deformasyon bölgesi, $\gamma_{tv} \cong (2 \sim 6) \times 10^{-4}$ ile $\gamma_{td} \cong (0.5 \sim 2) \times 10^{-2}$ eşik kayma birim deformasyonları arasında elastoplastik doğrusal olmayan davranışın gözleendiği bölgeyi tanımlamaktadır. Hacim değişimleri, boşluk suyu basıncı artışlarına yol açmakta, bu artışlar ise başlangıç kayma modülü (G_{max}), efektif gerilmeler kayma dayanımında (τ_f) azalımları tetiklemekte, böylece iskelet eğrisinde azalıma sebep olmaktadır. Böylece, kayma deformasyonları ve ortanca efektif gerilmelerdeki değişimin kontrol ettiği kayma modülü değişimleri gözlenmektedir. Zemin tepkisi analizlerinin bölgenin başında eşdeğer doğrusal model ile, sonrasında ise zaman tanım alanında toplam ve efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan modeller ile yapılması uygun olacaktır.

Yüksek kayma birim deformasyon bölgesi ise $\gamma > \gamma_{td} = 1\%$ olan, elastoplastik doğrusal olmayan zemin davranışın baskın olduğu bölgeyi tanımlamaktadır. Bu bölgede, G_{max} ve τ_f , ortanca efektif gerilme ve çevrim sayısına göre farklılık göstermektedir. Kayma modülü oranı ve dayanımda önemli ölçüde azalımlar gözlenmiştir. $\gamma_{td} = 1\%$ eşikinden sonra deformasyon, efektif gerilme seviyesi ve çevrim sayısını içeren, yükleme ve boşaltma esnasındaki sönümü dikkate alabilen doğrusal olmayan modellerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina, 2008).



Şekil 4.4. Dinamik kayma modülünün kayma birim deformasyon düzeyine bağlı olarak değişimi ve kayma birim deformasyonu için eşik değerler (Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina, 2008)



Şekil 4.5. Sismik yükleme sırasında kayma birim deformasyonu eşik değerlerine göre tipik zemin davranışı (Diaz-Rodriguez ve Lopez-Molina, 2008)

4.3 Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin tepki analizlerinin kayma birim deformasyonu seviyeleri açısından karşılaştırılması

Yer sarsıntısı sırasında zemin ve yer hareketi dinamik bir etkileşim halindedir. Böylece, zeminin kayma dayanımı özellikleri değişirken, deprem dalgasının özellikleri de bu etkileşimden payını almaktadır. Böylece, özellikle zemin profilinde amplifikasyon oluşmakta, zeminin deformasyon seviyesine bağlı doğrusal olmayan bir davranış görülmektedir. Bahsedilen etkileşimin tespit edilmesi ve ölçülmesi pratik olarak anlamlı olmadığından, zemin tepkisi analizleri bu ihtiyacımıza cevap vermektedir.

TBDY 2018, sahaya özel sismik zemin davranışının zaman tanım alanında doğrusal olmayan modellerle yapılmasını veya kayma şekil değiştirmesinin %1 ile

sınırlandığı eşdeğer doğrusal hesap modeli esaslı doğrusal olmayan analiz yapılmasını tavsiye etmektedir. Bu kapsamda gerek bu yöntemlerin pratikte kullanılabilirliği, gerekse, kayma birim deformasyon düzeyinin doğru bir tanımlayıcısının araştırılması amacı ile, analiz sonuçları izleyen bölümlerde karşılaştırmalı olarak ele alınacaktır.

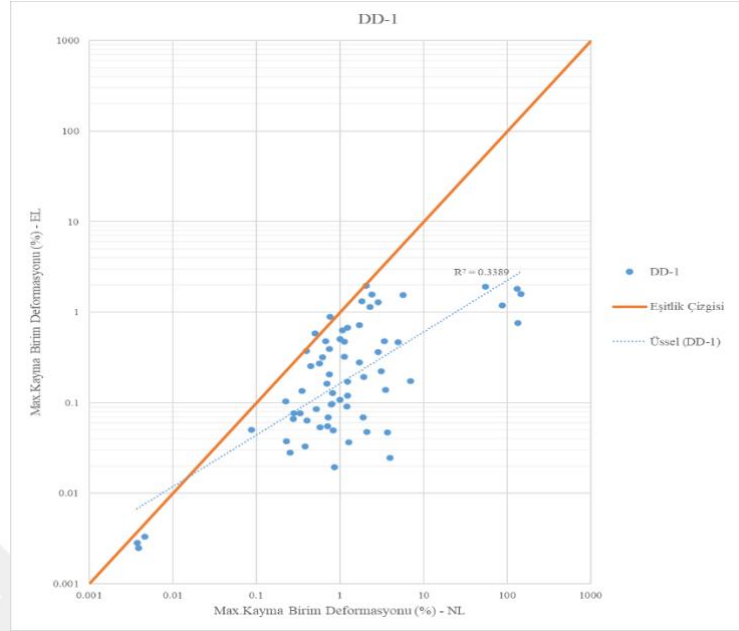
Zemin profilinde, zaman tanım alanında meydana getirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan analizler ile frekans tanım alanında meydana getirilen eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan maksimum kayma birim deformasyonlarının kıyaslanması; DD-1 için Şekil 4.6'da, DD-2 için Şekil 4.7'de ve her iki deprem düzeyi için birlikte olarak da Şekil 4.8'de verilmektedir.

Bu şekillerden de görüldüğü üzere, hem eşdeğer doğrusal ve hem de efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan modeller $\gamma=10^{-4}$ – 10^{-3} kayma birim deformasyonu seviyelerine kadar benzer maksimum kayma birim deformasyonu değerleri gözlenmiştir ($\gamma_{\max}$: profil boyunca maksimum kayma birim deformasyonu). Sözü edilen kayma birim deformasyonu aralığından daha yüksek deformasyonlarda ise doğrusal olmayan modeller (GQ/H) eşdeğer doğrusal modelden daha yüksek kayma birim deformasyonları sergilemiştir.

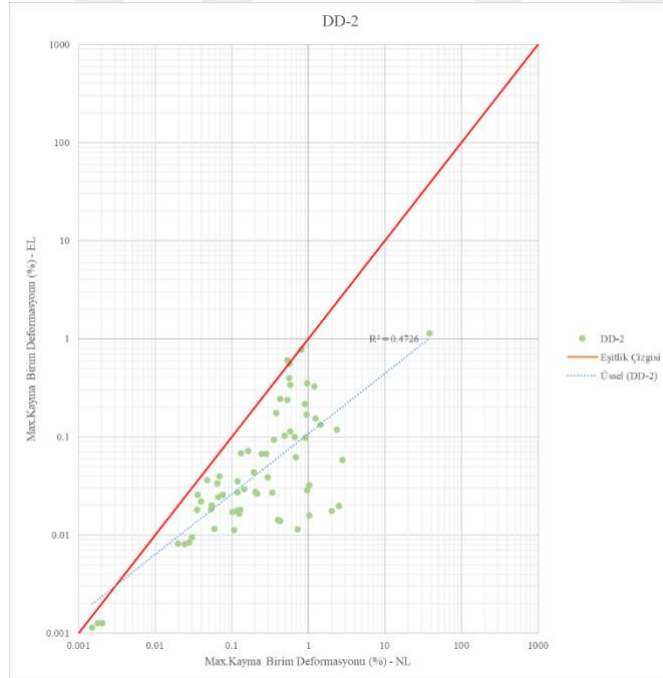
Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan tüm profil boyunca bulunan maksimum kayma birim deformasyonlarının, beklenen tahmini kayma birim deformasyonları (I_γ : shear strain proxy, shear strain index, estimated shear strain) ile ilişkisi DD-1 için Şekil 4.9'da, DD-2 için Şekil 4.10'da ve DD-1 ile DD-2 ikisi birlikte Şekil 4.11'de gözlenmektedir. Tahmini kayma birim deformasyonu girdi deprem hareketinin maksimum hız değerinin, profilin V_{s30} değerine bölünmesiyle elde edilmektedir ve ayrıca yüzde (%) olarak gösterilmektedir. ($I_\gamma = PGV_{\max, \text{girdi hareketi}} / V_{s30}$)

Sismik yükleme esnasında zeminde meydana gelen doğrusal olmayan davranışının seviyesiyle, Idriss (2011) tarafından ortaya atılan kayma birim deformasyonu indeksinin I_γ benzer ve kuvvetli bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Daha açıkça, sismik yükleme esnasındaki zeminde meydana gelen maksimum kayma birim deformasyonlarını ifade etmektedir. Bu yüzden, deprem hız hareketin maksimum değeri PGV ve profil V_{s30} değerinin kullanılarak hesaplanan tahmini kayma birim deformasyonu (I_γ) ile zemin tepki analizi yapılmadan oluşabilecek

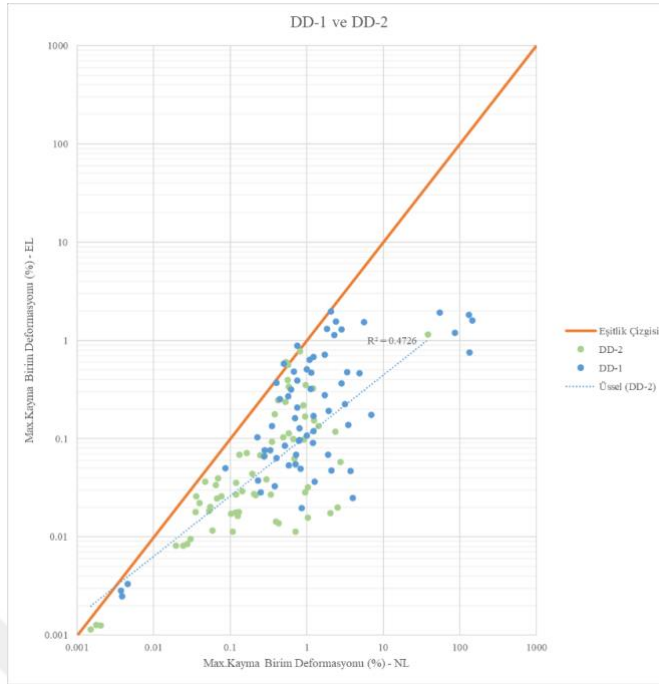
maksimum kayma deformasyonun bulunabileceği literatürde ifade edilmektedir. (Gueguen vd., 2018; Kim vd., 2016)



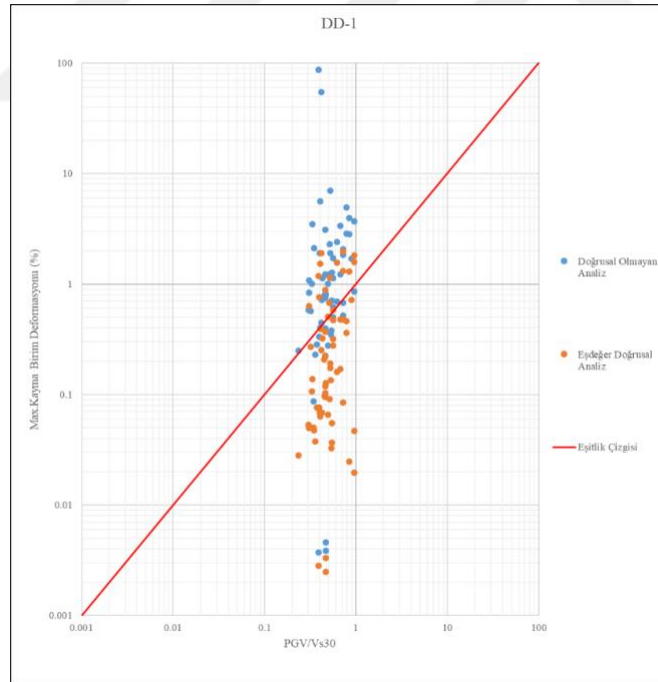
Şekil 4.6. DD-1 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması



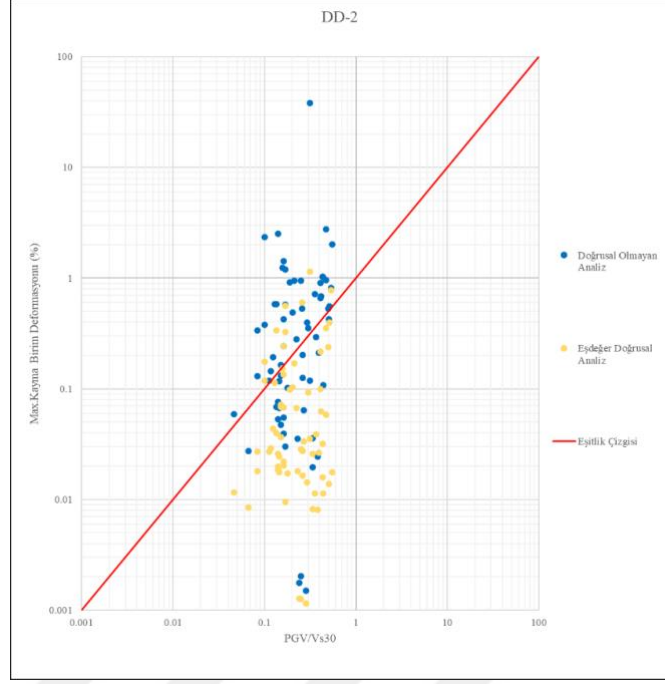
Şekil 4.7. DD-2 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması



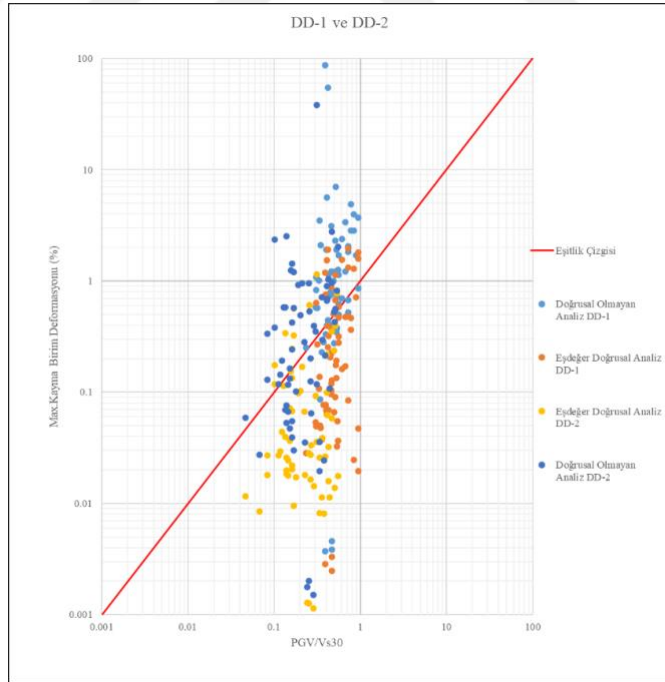
Şekil 4.8. DD-1 ve DD-2 için zaman tanım alanında gerçekleştirilen efektif gerilme tabanlı doğrusal olmayan ile frekans tanım alanında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal analizler zemin tepkisi analizlerinden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonlarının karşılaştırılması



Şekil 4.9. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-1)



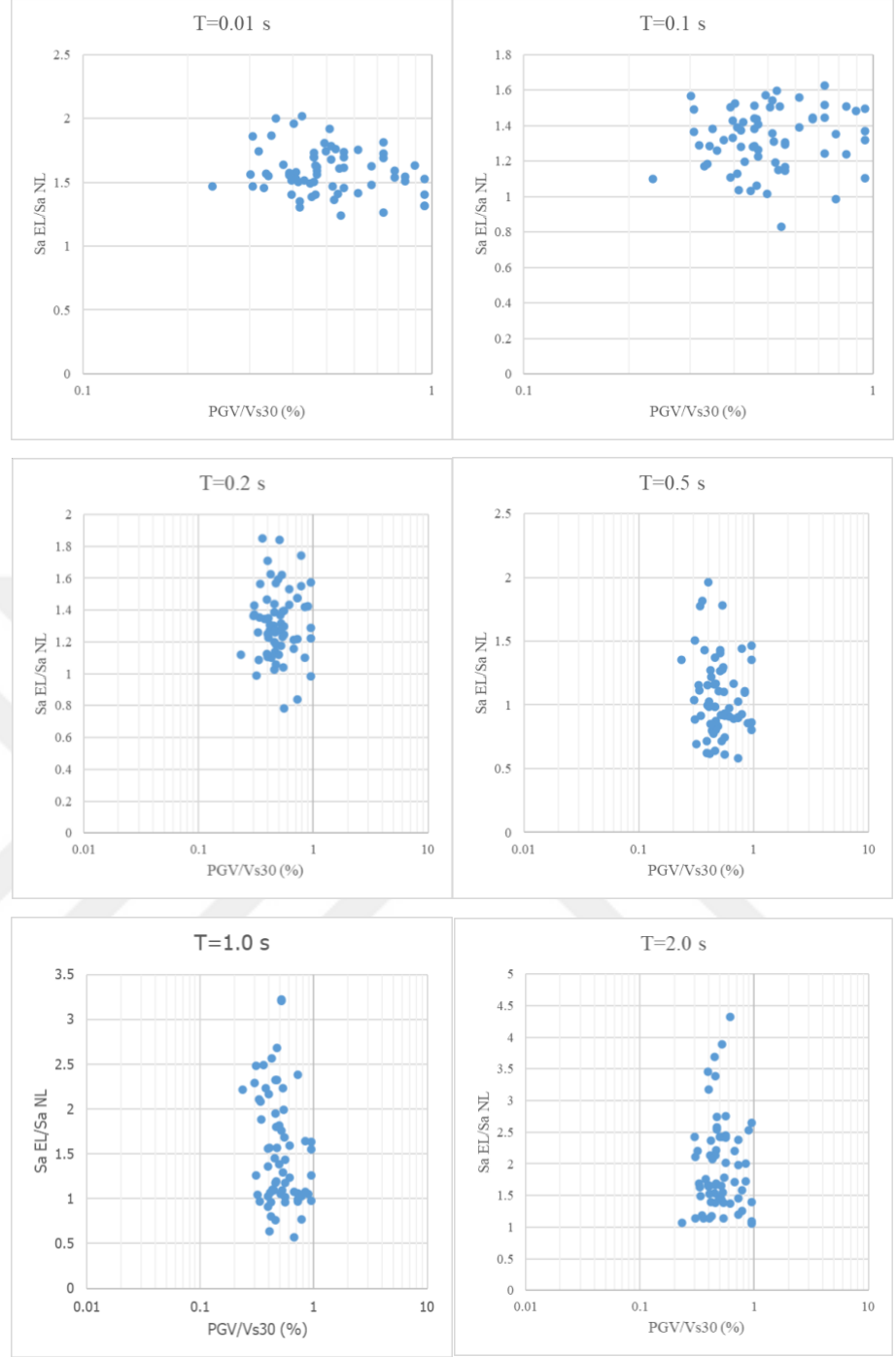
Şekil 4.10. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-2)



Şekil 4.11. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerden oluşturulan maksimum kayma birim deformasyonları ile PGV / V_{s30} (shear strain proxy, proxy for the shear strain induced within the soil profile shear strain proxy, estimated shear strain) arasındaki ilişki (DD-1 ve DD-2)

4.4 Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan yüzey tepki spektrumu oranlarının periyot ve kayma birim deformasyonu seviyelerine göre değişimi

$T=0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0$ sn periyotlarındaki eşdeğer doğrusal analizlerle bulunan spektral ivmelerin doğrusal olmayan analizlerde bulunan spektral ivmelere oranının $[Sa(EL)/Sa(NL)]$ tahmin edilen kayma birim deformasyonu indeksine (I_γ) göre değişimleri gözlenmektedir. Şekil 4.12’ de DD-1, Şekil 4.13’ de DD-2 için grafik üstünde ifade edilerek gösterilmiştir. Bunun nedeni, arazide zemin profilinin ilk 30 m özellikleri ile deprem parametrelerinin göz önünde bulundurulduğu I_γ , spektral periyod (T) ve EL, NL analizlerden bulunan spektral ivme oranları arasında bir ilişki oluşturmaktır. Diğer bir deyişle, doğrusal olmayan analiz yüzey spektral ivmeleri ile eşdeğer doğrusal analiz yüzey spektral ivmelerinin, belli kayma birim deformasyonu ve spektral periyod düzeylerinde birbiriyle ilişkili olarak hangi oranda farklılaştıklarının belirlenmesi hedeflenmiştir.



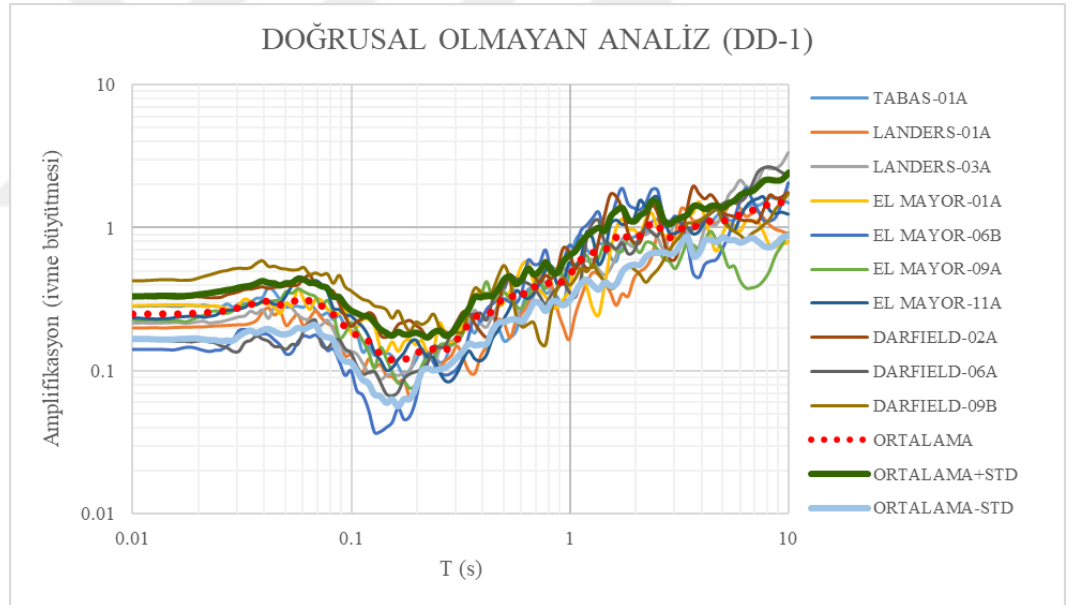
Şekil 4.12. DD-1 için ($T=0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2$ sn.) spektral periyotlar için $S_a \text{ (EL)} / S_a \text{ (NL)}$ oranının tahmin edilen kayma birim deformasyonu indeksine ($I_T = \text{PGV}/V_{s,30}$) göre değişimleri



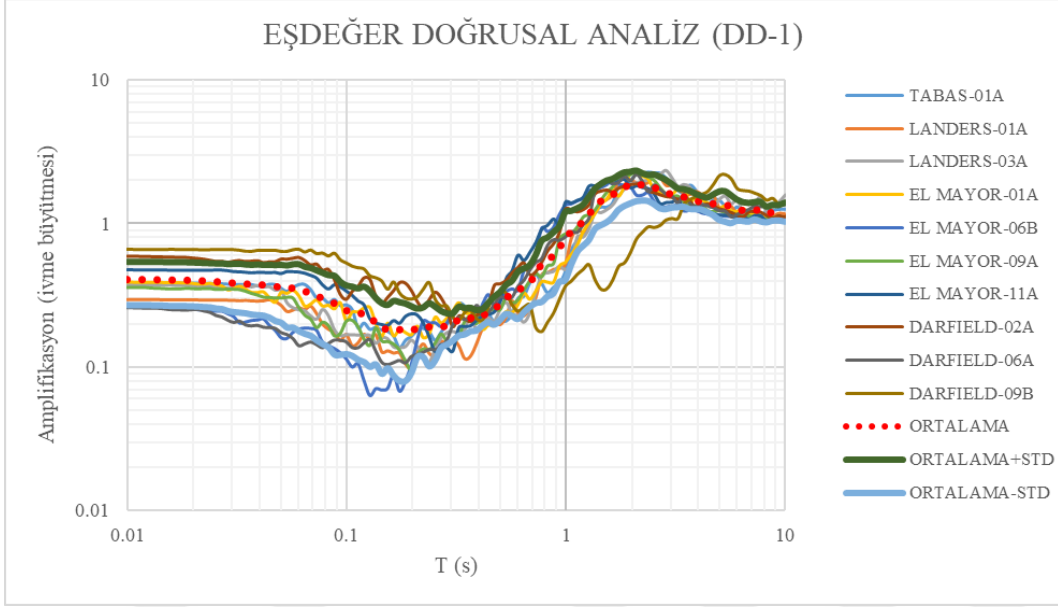
Şekil 4.13. DD-2 için ($T=0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2$ sn.) spektral periyotlar için $S_a(EL) / S_a(NL)$ oranının tahmin edilen kayma birim deformasyonu indeksine ($I_\gamma = PGV/V_{s,30}$) göre değişimleri

4.5 Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan amplifikasyon (ivme büyütmesi) değerlerinin periyot seviyelerine göre değişimi ve karşılaştırılması

Deprem taban kayası PSA'sının zemin profilinin dolgu katmanının altındaki tabakasının PSA'sına bölünmesiyle ivme büyütmesi değeri yani amplifikasyon bulunmaktadır. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilen amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Öncelikle, doğrusal olmayan analiz ile elde edilen amplifikasyonların eşdeğer doğrusal analiz ile elde edilen değerlerden daha küçük olduğu açıkça görülmektedir. DD-1 seviyesinde deprem için, en küçük ortalama amplifikasyon değeri NL ve EL analizler için 0.06 ve 0.08 civarındadır, bu değerleri aşağı yukarı benzer periyot aralığında elde edilmiştir. Yüksek periyotlarda büyütme artmakta ve 1'in üzerine çıkmaktadır (Şekil 4.14 ve 4.15).

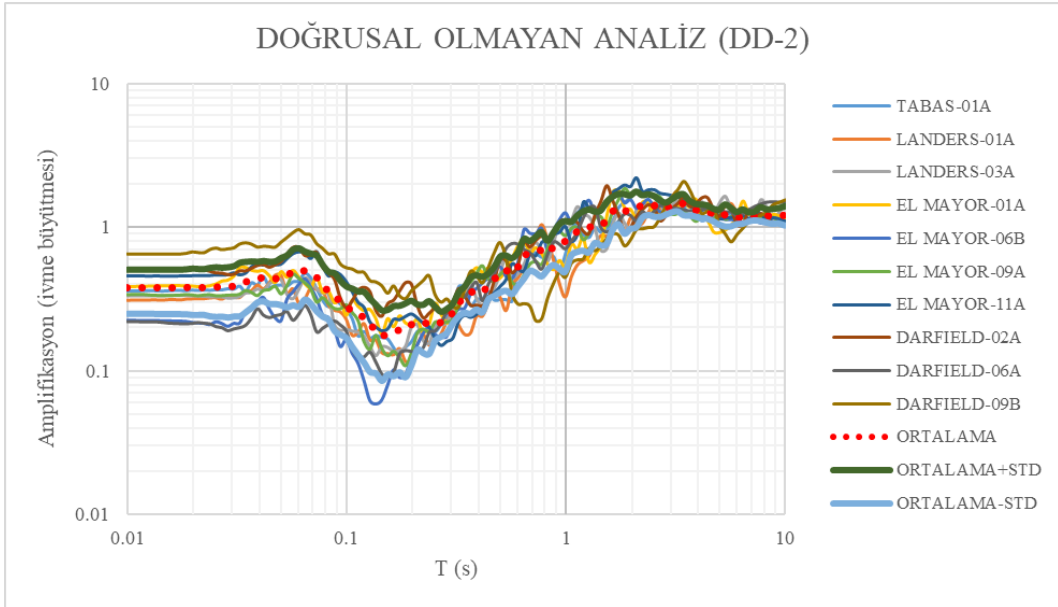


Şekil 4.14. DD-1 için doğrusal olmayan analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi

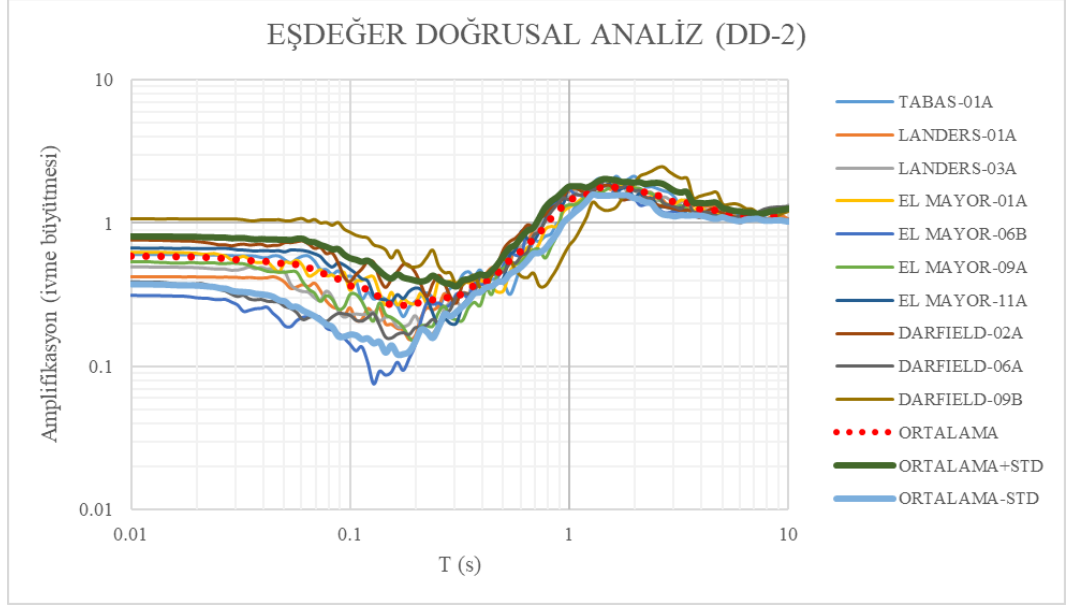


Şekil 4.15. DD-1 için eşdeğer doğrusal analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi

DD-2 deprem seviyesindeki amplifikasyonlar için de benzer yorumlar yapılabilir. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal yöntemlerden elde edilen minimum büyütme 0.1 ve 0.14 olarak not edilmiştir. Maksimum değerler ise 2'ye yakınsamıştır, ve aşağı yukarı 1.5-2 sn periyot aralığında elde edilmiştir (Şekil 4.16 ve 4.17).



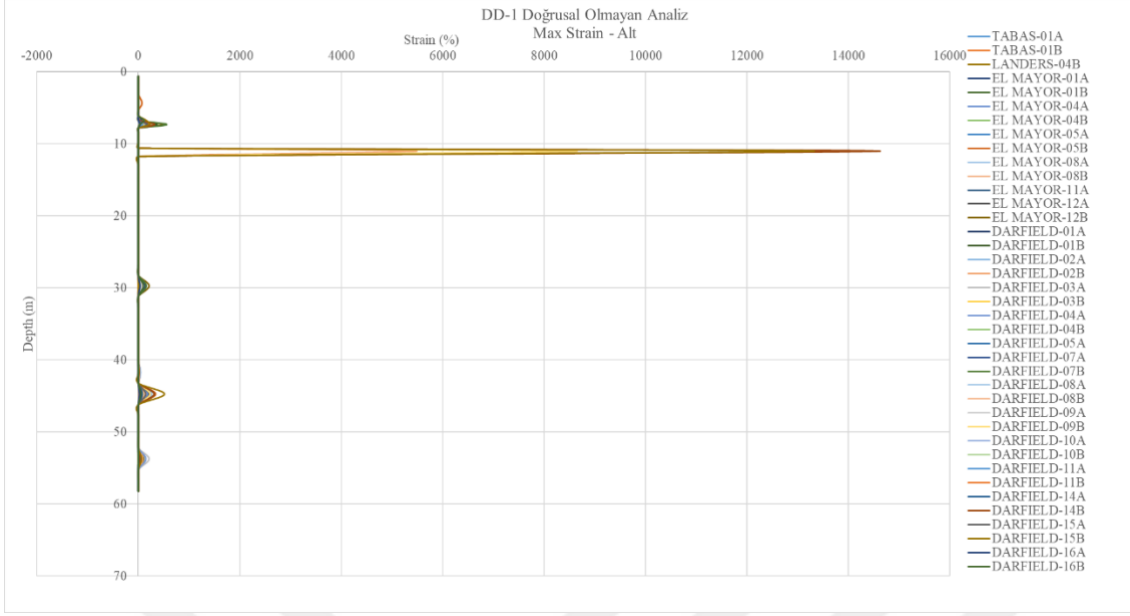
Şekil 4.16. DD-2 için doğrusal olmayan analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi



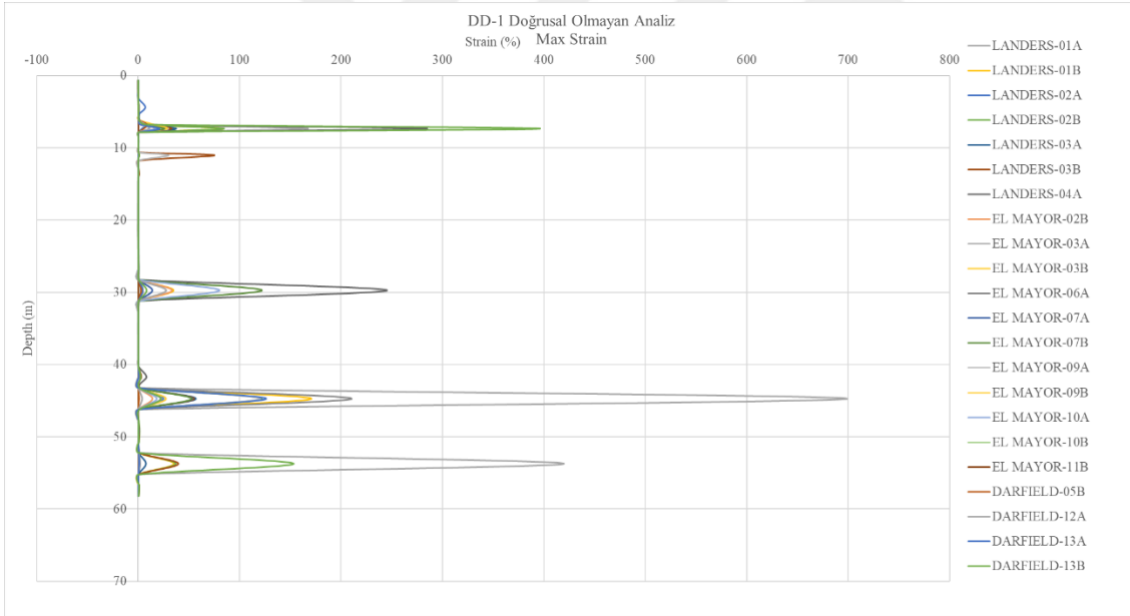
Şekil 4.17. DD-2 için eşdeğer doğrusal analizle bulunan amplifikasyon değerlerinin periyot ile değişimi

4.6 Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan kayma birim deformasyonlarının derinlikle değişiminin karşılaştırılması

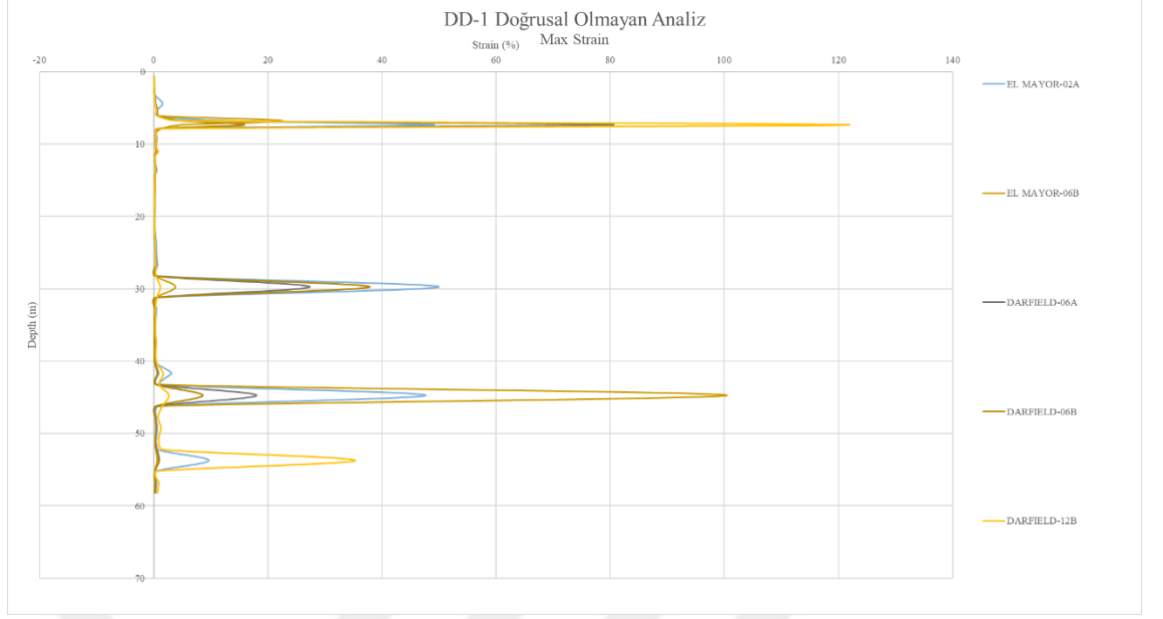
DD-1 deprem seviyesinde doğrusal olmayan analizlerden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonların derinlikle değişimi incelendiğinde, 0.63g altındaki PGA için bazı kayıtlarda çok yüksek değerler elde edilmiş (Şekil 4.18), belli derinliklerde zeminin düşük kayma dayanımından dolayı yüksek deformasyonlar gözlenmiştir. PGA değerinin artması ile birlikte, bu deformasyonlar, benzer derinliklerde daha makul değerler almaya başlamıştır (Şekil 4.19 ve 4.20)



Şekil 4.18. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA < 0.63 g)

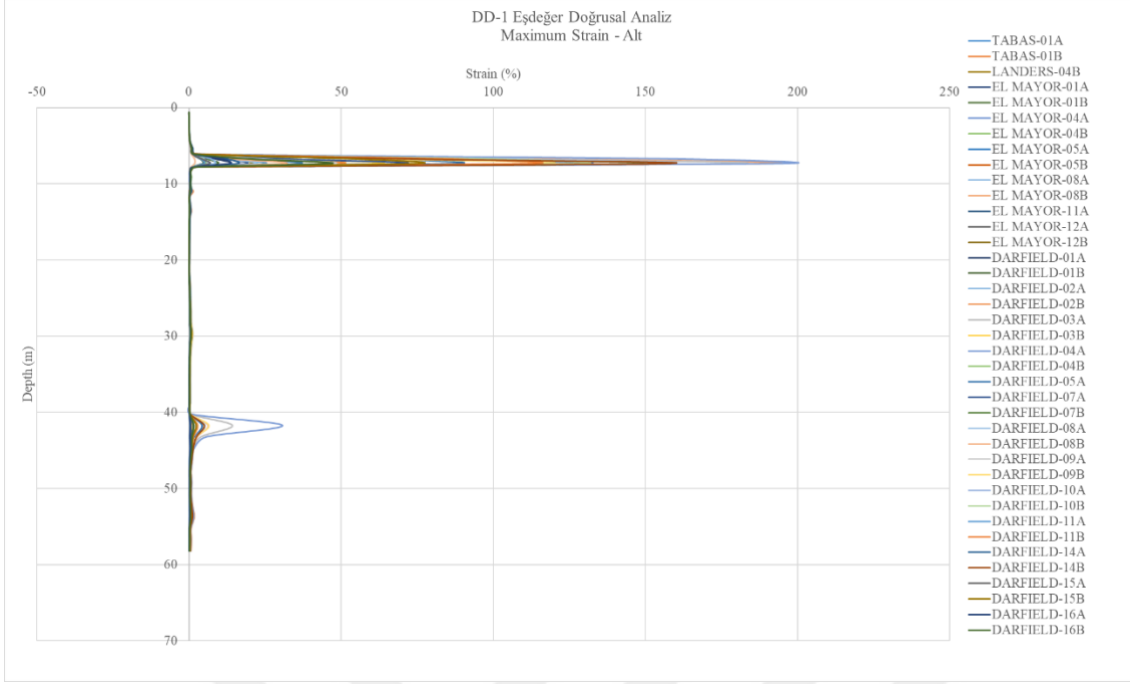


Şekil 4.19. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (0.63 g < PGA < 0.87 g)

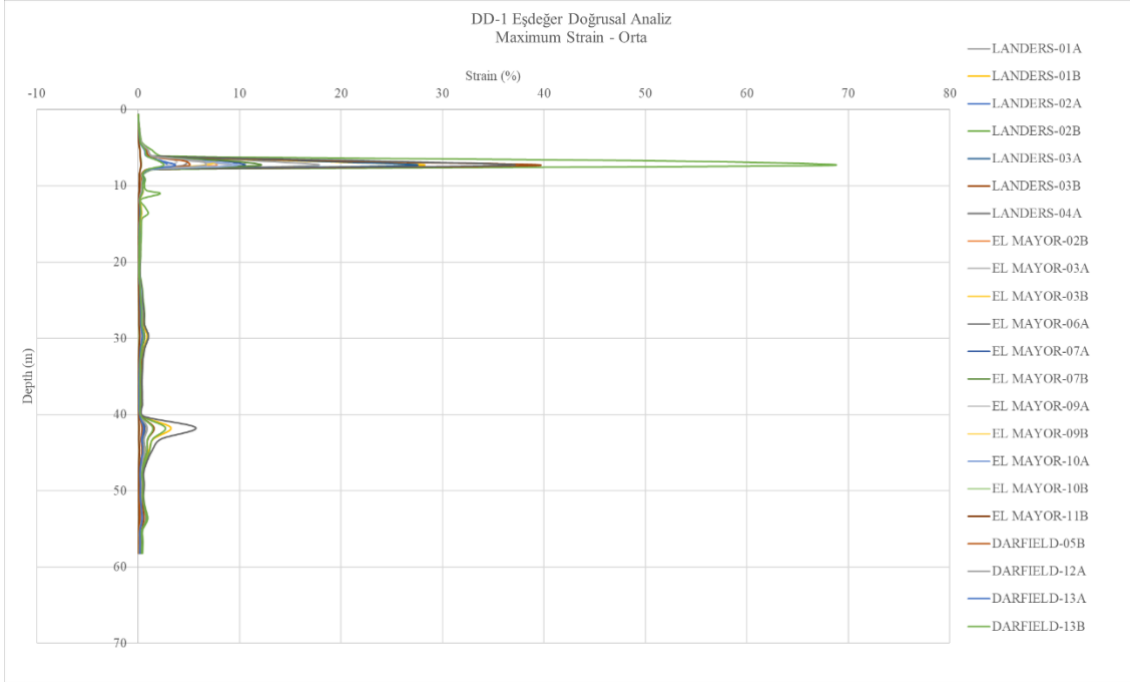


Şekil 4.20. DD-1 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA > 0.87 g)

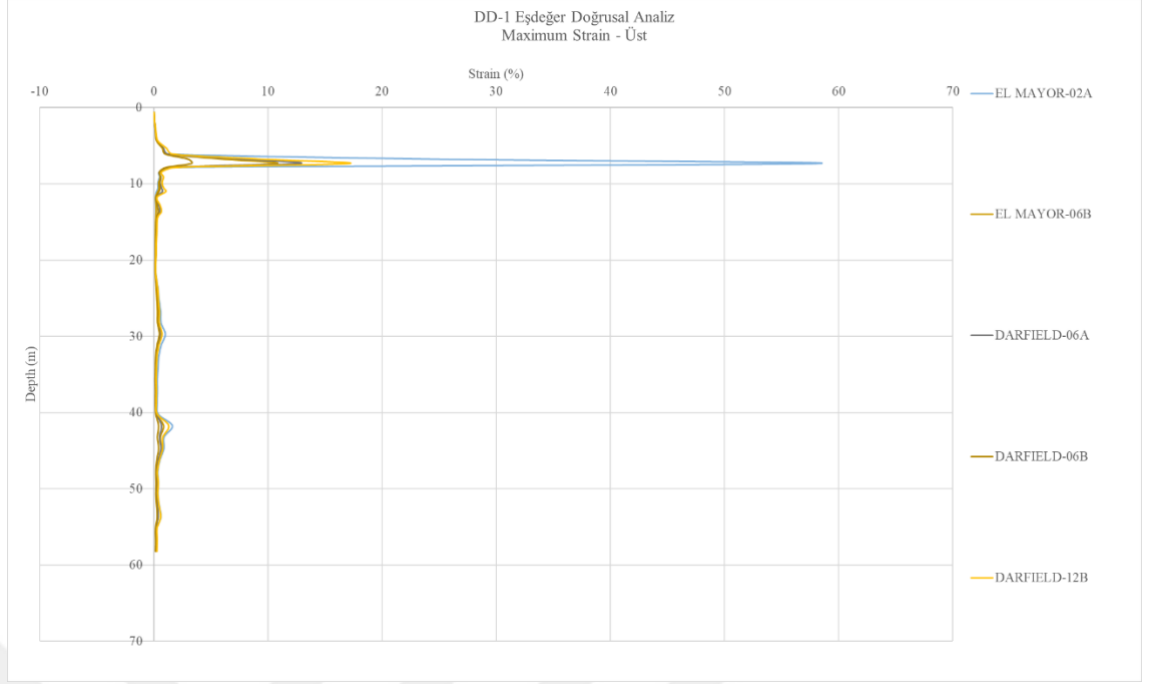
DD-1 deprem seviyesinde eşdeğer doğrusal analizlerden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonların derinlikle değişimi incelendiğinde, daha kabul edilebilir deformasyon seviyeleri elde edilmiş, 0.63g altındaki PGA için bazı kayıtlarda % 200'e varan deformasyon seviyeleri elde edilmiş (Şekil 4.21), PGA değerinin artması ile birlikte, bu deformasyonlar, benzer derinliklerde daha makul değerler almaya başlamıştır (Şekil 4.22 ve 4.23)



Şekil 4.21. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.63$ g)

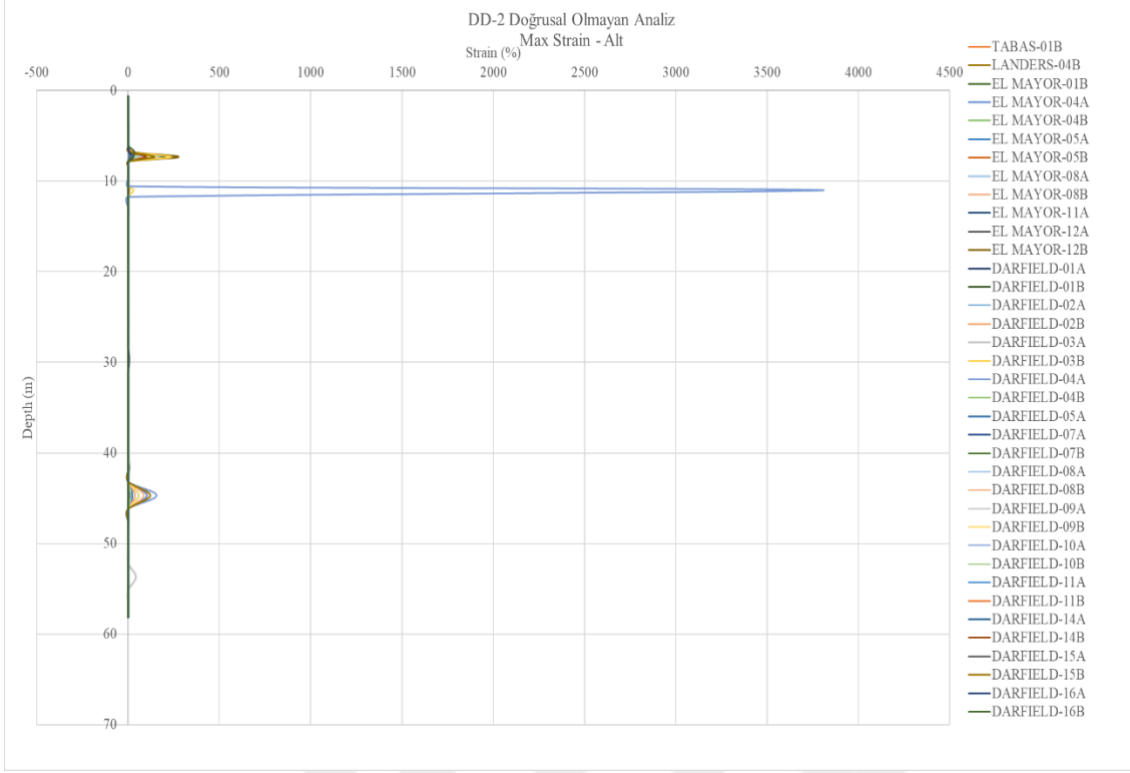


Şekil 4.22. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.63 \text{ g} < PGA < 0.87 \text{ g}$)

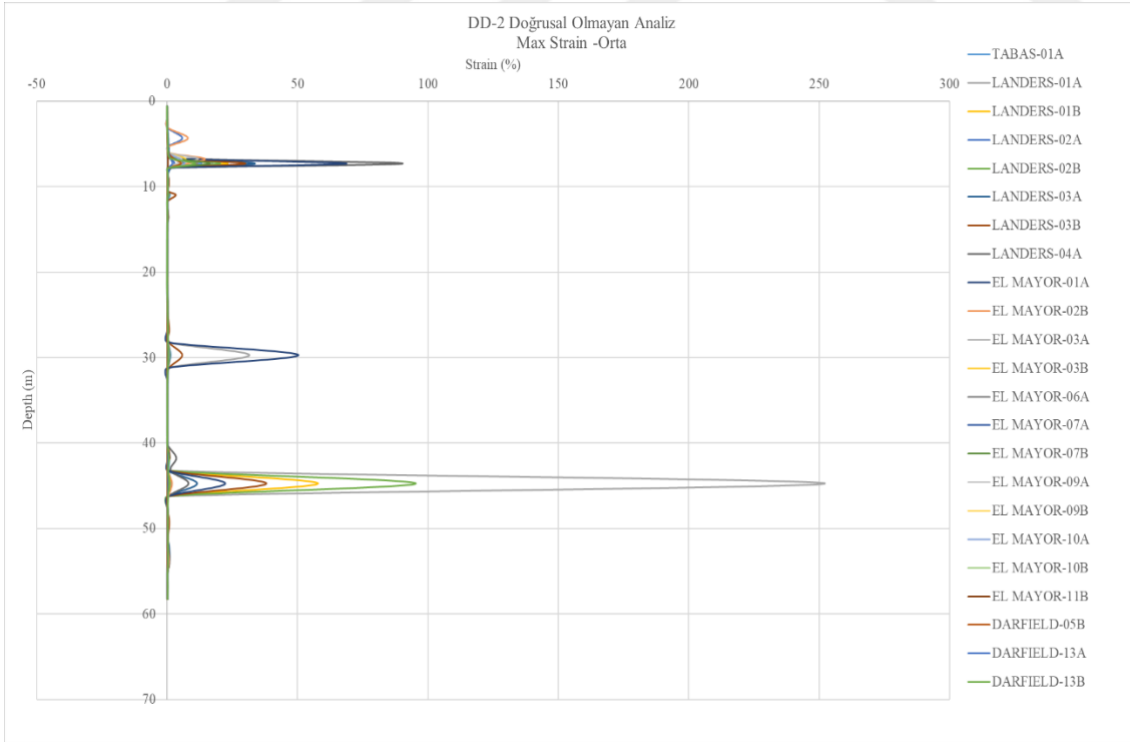


Şekil 4.23. DD-1 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA > 0.87 g)

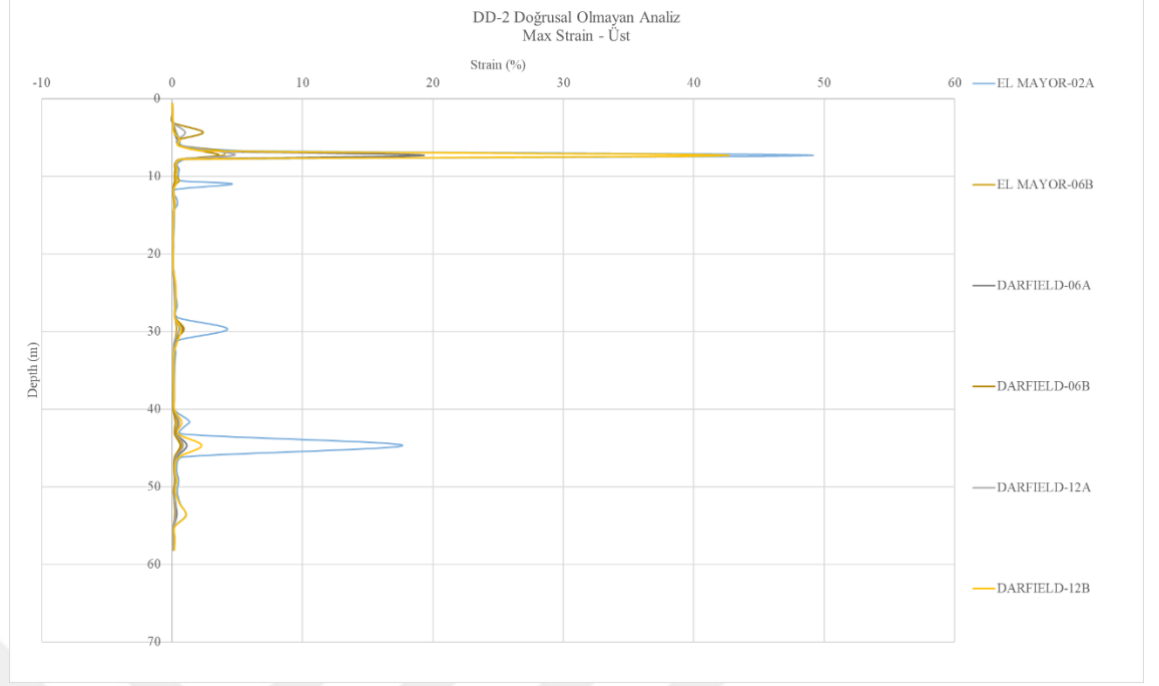
DD-2 deprem seviyesinde doğrusal olmayan analizlerden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonların derinlikle değişimi incelendiğinde, 0.38g altındaki PGA için bazı kayıtlarda % 3500'e varan deformasyon seviyeleri elde edilmiş (Şekil 4.24), PGA değerinin artması ile birlikte, bu deformasyonlar, benzer derinliklerde daha makul değerler almaya başlamıştır (Şekil 4.25 ve 4.26)



Şekil 4.24. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA < 0.38 g$)

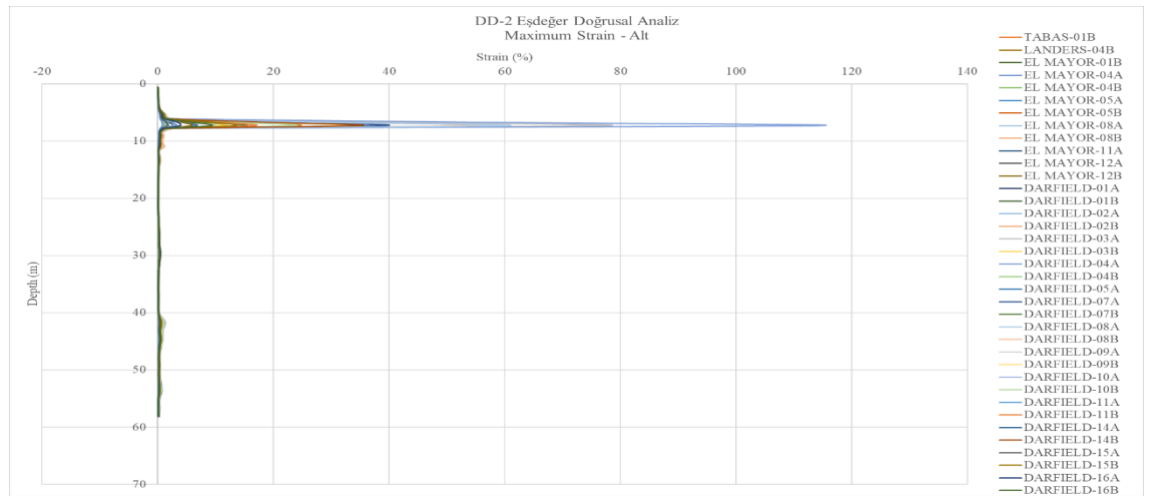


Şekil 4.25. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 g < PGA < 0.52 g$)

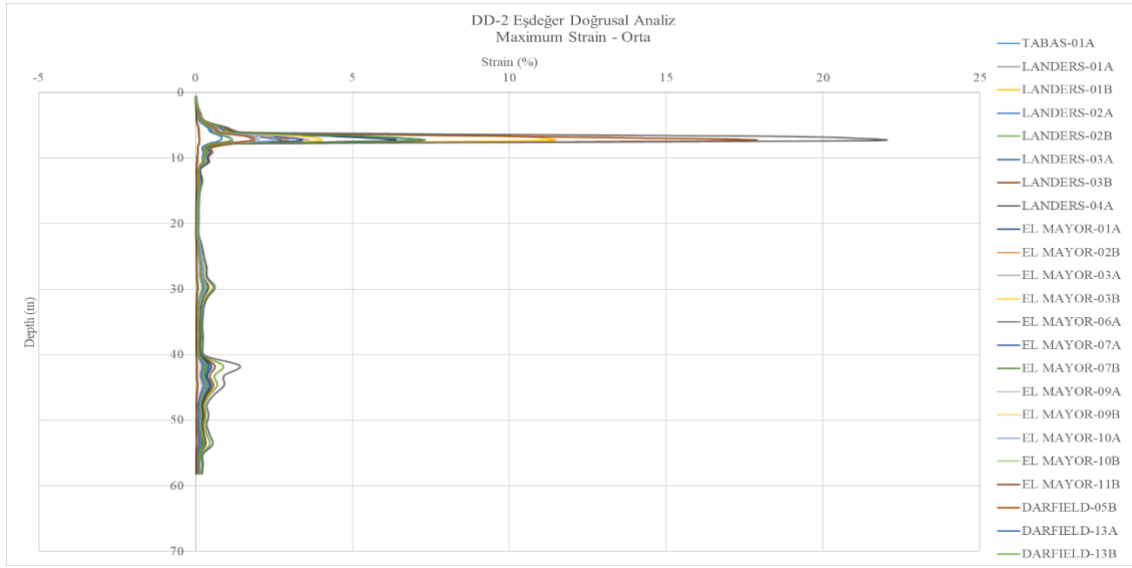


Şekil 4.26. DD-2 için doğrusal olmayan modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA > 0.52 g)

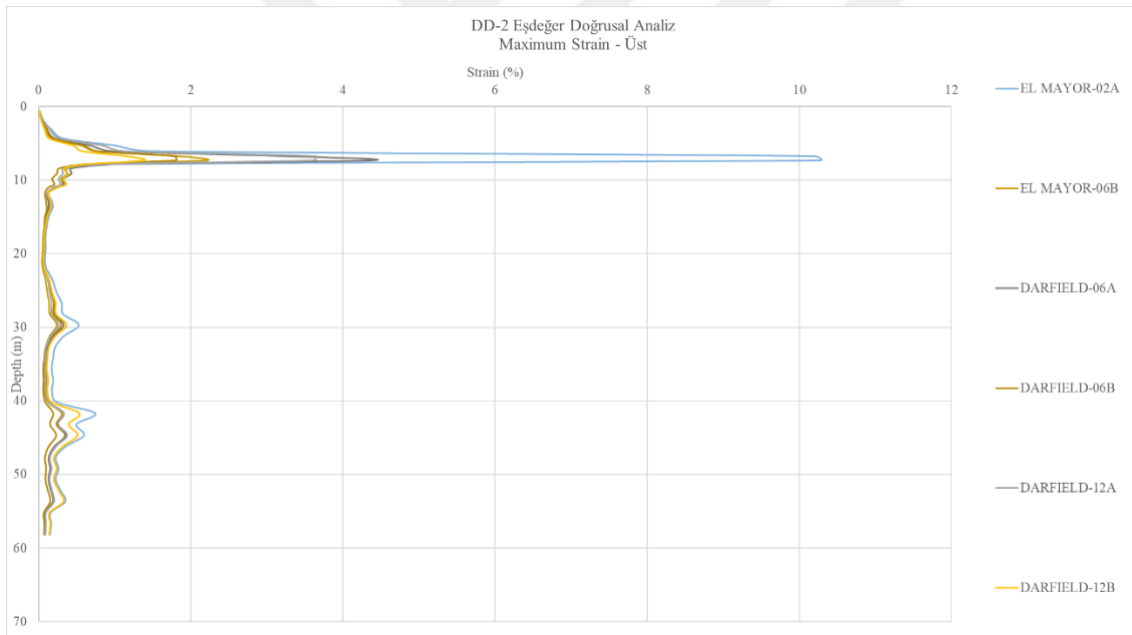
DD-2 deprem seviyesinde eşdeğer doğrusal analizlerden elde edilen maksimum kayma birim deformasyonların derinlikle değişimi incelendiğinde, 0.38g altındaki PGA için bazı kayıtlarda % 120'ye varan deformasyon seviyeleri elde edilmiş (Şekil 4.27), PGA değerinin artması ile birlikte, bu deformasyonlar, benzer derinliklerde %10-20 arasında değerler almaya başlamıştır (Şekil 4.28 ve 4.29)



Şekil 4.27. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA < 0.38 g)



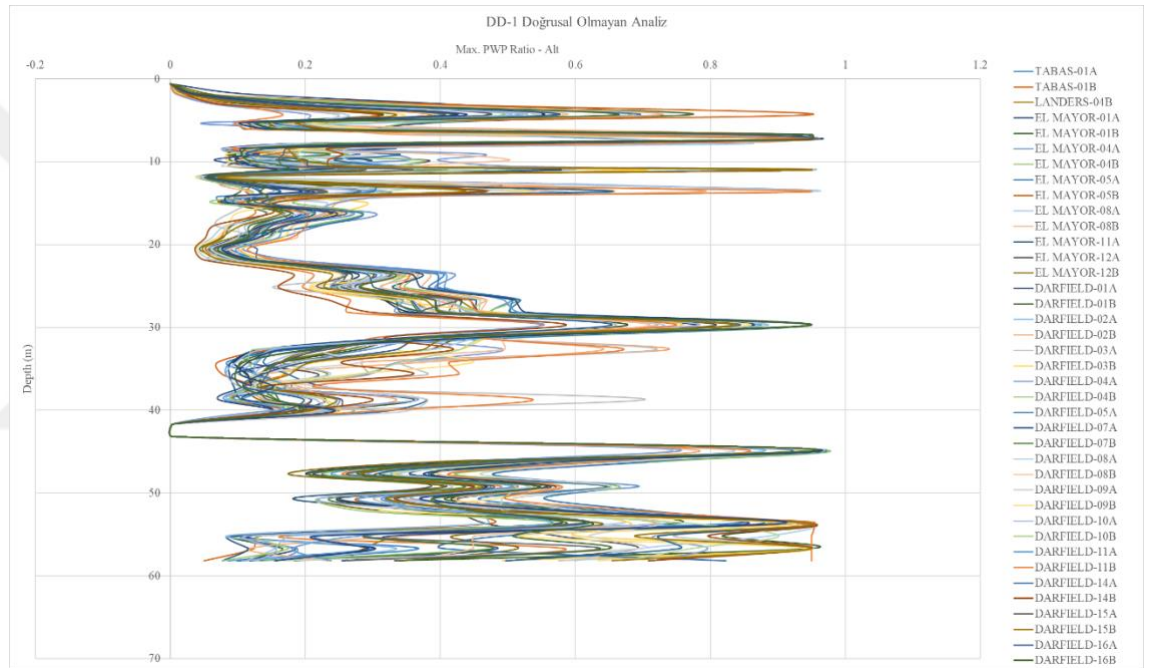
Şekil 4.28. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 \text{ g} < \text{PGA} < 0.52 \text{ g}$)



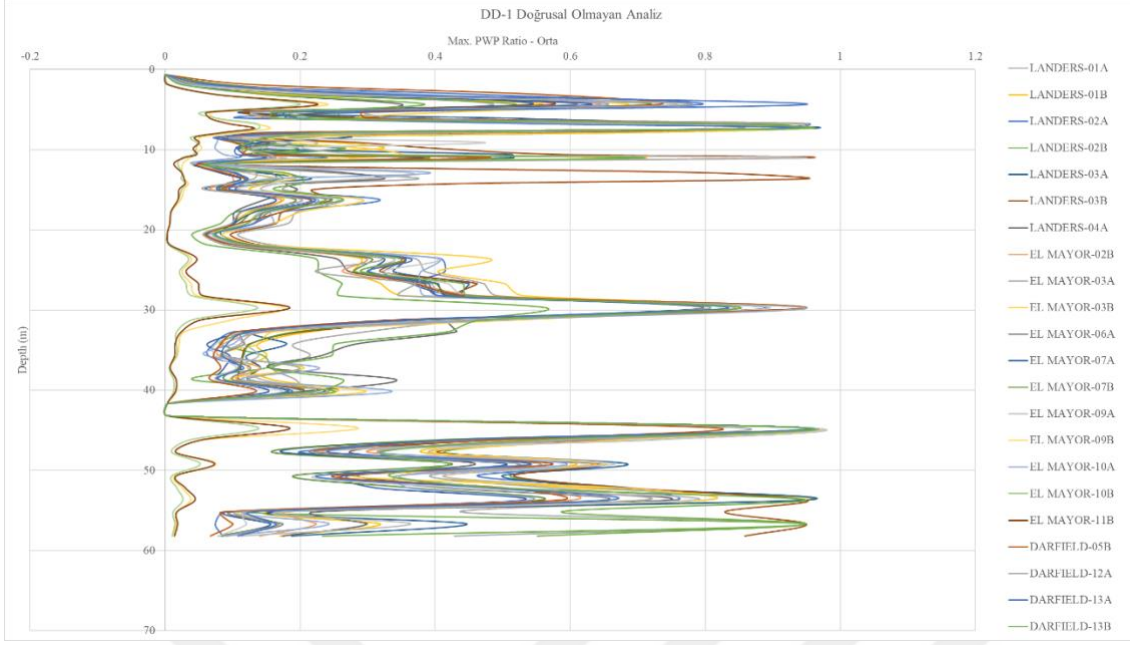
Şekil 4.29. DD-2 için eşdeğer doğrusal modellerde bulunan maksimum kayma birim deformasyonları ile profil derinliğinin ilişkisi ($\text{PGA} > 0.52 \text{ g}$)

4.7 Doğrusal olmayan analiz ile eşdeğer doğrusal analizlerden bulunan maksimum boşluk suyu basıncı oranının derinlikle değişiminin karşılaştırılması

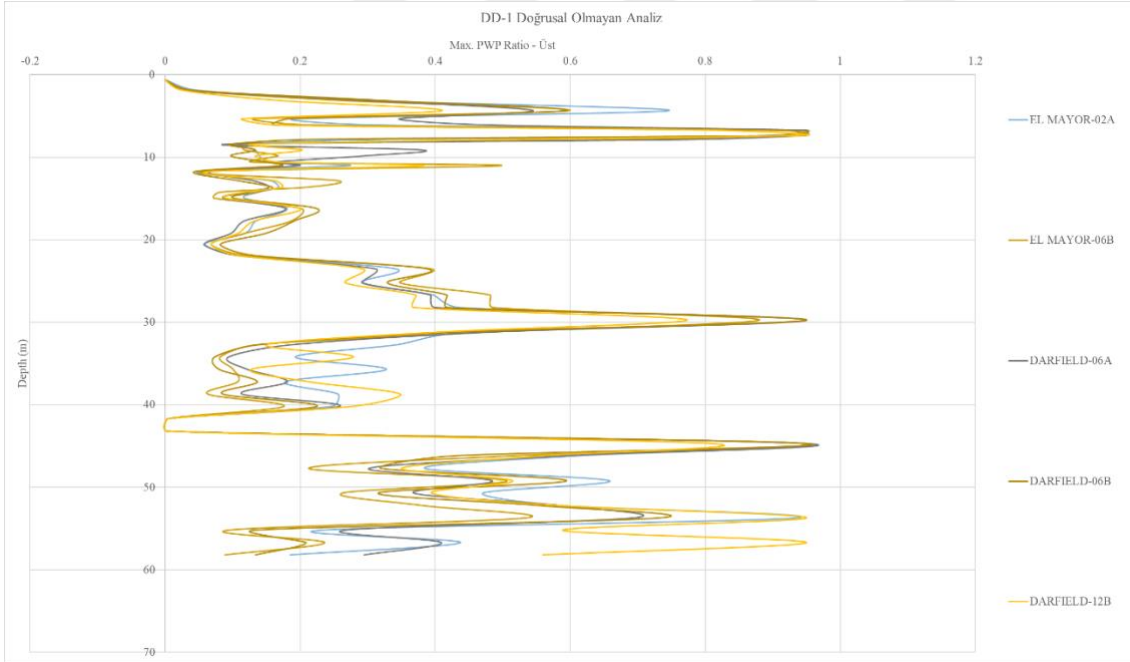
DD-1 deprem seviyesinde doğrusal olmayan analizlerin sonucunda elde edilen boşluk suyu basıncının derinlikle değişimi incelendiğinde, değişen seviyelerde 1'e yaklaşan değerler gözlenmiştir. 0.63g'den daha küçük PGA'larda dahi 8 noktada 0.9'u aşan boşluk suyu oranı değerleri, sıvılaşma oluşacağı göstermektedir. Artan ivme değerleri ile aynı noktalarda 1'e biraz daha yaklaşan değerler gözlenmiştir. (Şekil 4.30 , Şekil 4.31 ve Şekil 4.32)



Şekil 4.30. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA<0.63g)



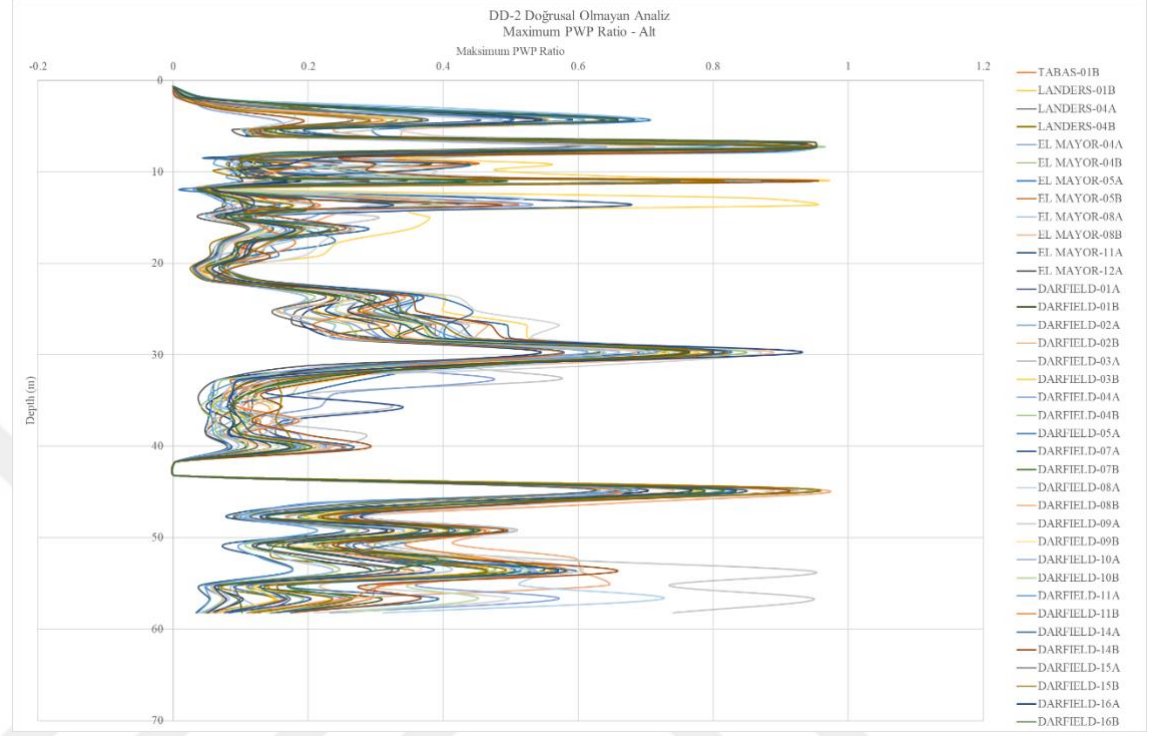
Şekil 4.31. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.63 g < PGA < 0.87 g$)



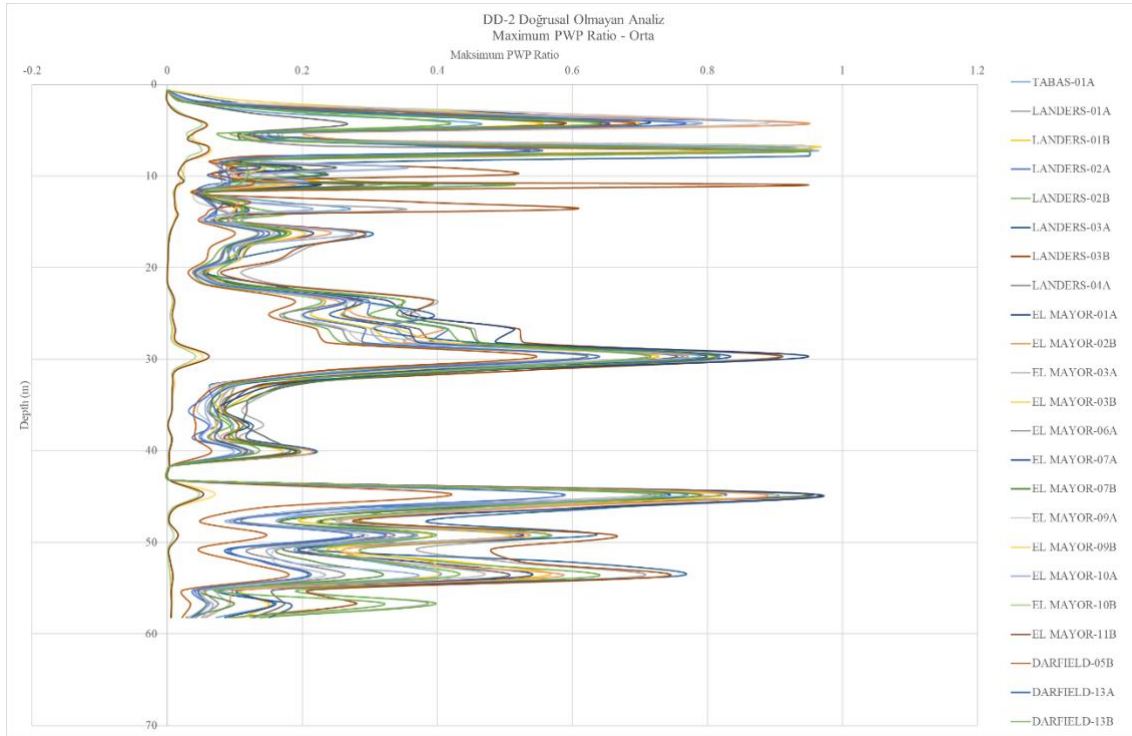
Şekil 4.32. DD-1 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.87 g$)

DD-2 deprem seviyesinde doğrusal olmayan analizlerin sonucunda elde edilen boşluk suyu basıncının derinlikle değişimi incelendiğinde, değişen seviyelerde 1'e yaklaşan değerler gözlenmiştir. $0.38g$ 'den daha küçük PGA 'larda

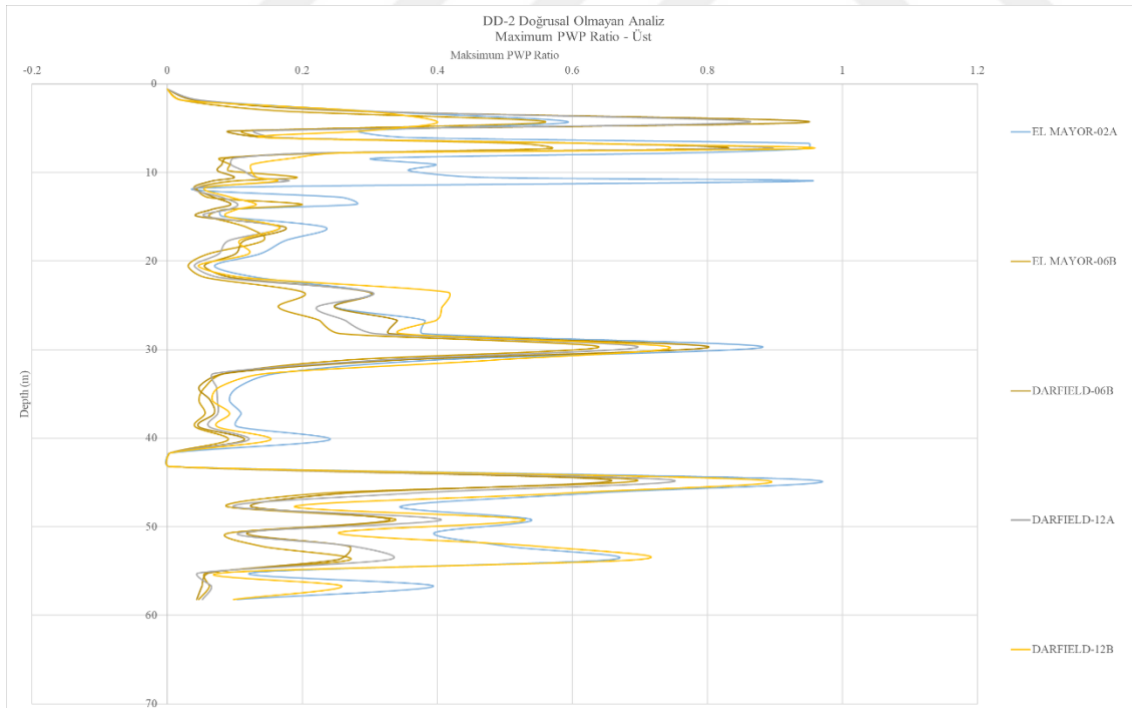
dahi 5 noktada 0.9'u aşan boşluk suyu oranı değerleri, sıvılaşma oluşacağı göstermektedir. Artan ivme değerleri ile aynı noktalarda 1'e biraz daha yaklaşan değerler gözlenmiştir. (Şekil 4.33 , Şekil 4.34 ve Şekil 4.35)



Şekil 4.33. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi (PGA<0.38 g)



Şekil 4.34. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($0.38 g < PGA < 0.52 g$)



Şekil 4.35. DD-2 için doğrusal olmayan analiz modellerde bulunan maksimum boşluk suyu basıncı ile profil derinliğinin ilişkisi ($PGA > 0.52 g$)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre ZF olarak değerlendirilen yerel zemin sınıfına sahip, İzmir ili Bayraklı ilçesi Manavkuyu mahallesinde bir parselde yapılan zemin etüdünden elde edilen veriler kullanılarak bir boyutlu zemin tepkisi analizleri yapılmıştır. Analizlerde eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan modeller kullanılmış sonuçlar karşılaştırılmalı olarak ele alınmıştır. Sondaj lokasyonunda yeraltısu seviyesi 2.5 metrede bulunmaktadır.

Doğrusal olmayan yöntemi kullanan analizlerde, iskelet eğrisi GQ/H modeli ile, hysteresis davranışı ise Non-Masing kuralı ile ifade edilmiştir. MKZ'in aksine, GQ/H modelinde kayma dayanımının derinlikle değişiminin kontrolünü mümkün kılmaktadır. Doğrusal olmayan analizlerde aşırı boşluk suyu basıncı gelişimin için Vucetic-Dobry Modeli seçilmiştir.

Literatürde, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan tekniklerin sonuçlarını karşılaştırırken frekans indeksi (FI), yalancı kayma birim deformasyonu indeksi (I_y), gibi bazı özel indekslerden yararlanılmaktadır. Bu indekslerin içerisinden literatüre göre I_y iki yöntem arasındaki farkı açıkça ortaya koyan indekslerden biridir. Literatüre göre aktif kabuk ve stabil levhaların bulunduğu bölgelerde yapılmış olan çalışmalara göre I_y 'nın küçük değerleri için (<0.04 %) eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin benzer sonuçları verdiği, öte yandan yüksek kayma birim deformasyonu seviyelerinde ise iki analiz tipinin gözle görülür farklılıklar sergilediği ivme tepki spektrumlarında, özellikle 0.3 Hz den yüksek olan frekanslarda görülmüştür. Tez çalışması kapsamında, ele alınan zemin profili için eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin yüzey ivme spektrumlarında oluşturdukları benzerlikleri ve farklılıkları hem period ve hem de kayma birim deformasyonu indeksinin değişimleri dikkate alınarak bir yorum yapma çabasına girilmiştir.

En genel hali ile ifade edilirse, doğrusal olmayan analizlerden elde edilen kayma birim deformasyonu düzeyleri beklenildiği üzere, eşdeğer doğrusal analizlerden elde edilenlere göre çok daha yüksektir. Öte yandan yüzey spectral

ivmeleri açısından durum incelendiğinde, aşağı yukarı tüm periyotlarda eşdeğer doğrusal model doğrusal olmayan modelden daha yüksek spectral ivme değeri sergilemiştir. Bazı spesifik periyotlarda bazı kayma birim deformasyonu düzeylerine karşılık gelen spectral ivmeler, yorumlama yapılırken hem eşdeğer doğrusal modelin hem de doğrusal olmayan modelin birlikte yorumlanması gerektiğini göstermektedir. Daha net bir sonuca varabilmek için aynı zemin sınıfından farklı zemin profilleri ve daha farklı özelliklere sahip olan depremlerle aynı analizler gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, daha düşük magnitude sahip depremler de devreye sokularak daha düşük seviyelerdeki kayma birim deformasyonlarındaki doğrusal olmayan davranış ta incelenmelidir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- AFAD**, 2022, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları İnteraktif Web Uygulamaları, 11 Aralık 2022, <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Akdoğan, P.**, 2019, Dynamic Soil Amplification In Saturated Soil Profiles Using Effective Stress Based Nonlinear Methods, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Assimaki, D., Kausel, E. and Whittle, A.**, 2000, Model for dynamic shear modulus and damping for granular soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(10), 859-869.
- Bolisetti, C., Whittaker, A. S., Mason, H. B., Almufti, I. and Willford, M.**, 2014, Equivalent linear and nonlinear site response analysis for design and risk assessment of safety-related nuclear structures. *Nuclear Engineering and Design*, 275, 107-121.
- Bolt, B.A.**, 1999, Earthquakes. 4.Baskı, W.H. Freeman and Company, USA, 1-421.
- Carlton, B. and Tokimatsu, K.**, 2016, Comparison of equivalent linear and nonlinear site response analysis results and model to estimate maximum shear strain. *Earthquake Spectra*, 32(3), 1867-1887.
- Darendeli, M. B.**, 2001, *Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves*. The university of Texas at Austin.
- Das, B. M.**, 1993, Principles of soil dynamics, PWS-KENT Publ. Comp., Boston.
- Dickenson, S. E.**, 1994, *Dynamic response of soft and deep cohesive soils during the Loma Prieta earthquake of October 17, 1989*. University of California, Berkeley.
- Elnashai, A. S. and Di Sarno, L.**, 2015, *Fundamentals of earthquake engineering: from source to fragility*. John Wiley & Sons.
- Erdoğan, B. ve Gungor, T.**, 1992, Stratigraphy and tectonic evolution of the Northern edge of the Menderes massif (Abstracts). *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 28, 37-38.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Groholski, D.R., Hashash, Y. M., Kim, B., Musgrove, M., Harmon, J., and Stewart, J. P.**, 2016, "Simplified model for small strain nonlinearity and strength in 1D seismic site response analysis," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 142, no. 9, Article ID 04016042.
- Guéguen P., Bonilla F., Douglas J.**, 2018. Comparison of soil non-linearity (in situ stress-strain relation and G/G_{max} reduction) observed in strong-motion databases and modelled in ground motion prediction equations, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.109, No.1.
- Hasançebi, O.**, 2007, Optimization of truss bridges within a specified design domain using evolution strategies. *Engineering Optimization*, 39(6), 737-756.
- Hashash, Y. M. and Park, D.**, 2001, Non-linear one-dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi embayment. *Engineering Geology*, 62(1-3), 185-206.
- Hashash, Y. M., Phillips, C. and Groholski, D. R.**, 2010, Recent advances in non-linear site response analysis. In *5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics* (No. 4).
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C. and Park, D.**, 2016, Deepsoil User Manual.
- Hashash, Y.M., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., et al.**, 2017, Deepsoil 7.0, User Manual, University of Illinois at Urbana-Champaign, Springfield, IL, USA.
- Hatanaka, M. and Uchida, A.**, 1996, Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. *Soils and Foundations*, 36(4), 1-9.
- Hosseini, S. M. M. M., Pajouh, M. A. and Hosseini, F. M. M.**, 2010, The limitations of equivalent linear site response analysis considering soil nonlinearity properties. In *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics* (Vol. 14, pp. 1-11).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İyisan, R., ve Haşal, M. E.,** 2011, Ova Kenarındaki Anakaya Eğiminin Dinamik Davranışa Etkisi: Dinar Ovası Modeli. *Teknik Dergi*, 22(108), 5559-5578.
- Kayan, İ. ve Ertuğ, Ö.,** 2015, Sedimentolojik Paleontolojik Verilerle Gediz Deltası Ovasında (İzmir) Alüvyal Jeomorfoloji Araştırmaları, *Ege Coğrafya Dergisi*, 24(2), 1-27.
- Kılıç, H.,** 2017, “Geoteknik Deprem Mühendisliği Notları”, <http://imoistanbul.org/imoarsiv/geoteknik-kurs-notlari-2017/23%20aralik/havvanur-kilic-2.pdf> (Erişim tarihi: 10 Kasım 2022)
- Kiku, H.,** 2001, In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. In *Proc. 15th ICSMGE TC4 Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, August 25, 2001, Istanbul, Turkey* (pp. 259-265).
- Kim, D., and Yoon, J.,**2006, Development of new site classification system for the regions of shallow bedrock in Korea. *Journal of Earthquake Engineering*, 10-3, 331-358.
- Kim, B., Hashash, Y.M.A., Stewart, J.P., Rathje, E.M., Harmon, J.A., Musgrove, M.I., Campbell, K.W., Silva, W.J.,** 2016, Relative differences between nonlinear and equivalent linear 1-D site response analysis, *Earthquake Spectra*,
- Kramer, S. L.,** 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall Upper Saddle River. New Jersey, 07458.
- Kramer, S. L.,** 2003, *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Kulhawy, F. H. and Mayne, P. W.,** 1990, Manual on estimating soil properties for foundation design (No. EPRI-EL-6800). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (USA); Cornell Univ., Ithaca, NY (USA). Geotechnical Engineering Group.
- Matasović, N. and Vucetic, M.,** 1993, Cyclic characterization of liquefiable sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(11), 1805-1822.
- Naeim, F., Bhatia, H., & Lobo, R. M.,** 2001, Performance Based Seismic Engineering. In *The Seismic Design Handbook* (pp. 757-792). Springer, Boston, MA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Oztoprak, S., Oser, C., Sargin, S., Bozbey, I., Aysal, N., Ozcep, F. and Almasraf, M.,** 2019, Evaluation Of System Response And Liquefaction Damage Assessment Tools Applied To Adapazari Cases in Kocaeli 1999 Earthquake. In *Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions* (pp. 705-716). CRC Press.
- Pruiksma, J. P.,** 2016, Nonlinear and Equivalent Linear Site response analysis for the Groningen area. *TNO Report, TNO, R10460.*
- Sanglerat, G., Gielly, J., Lareal, P. and Chapeau, C.,** 1972, Static penetrometer and compressibility of soil. *Annales de l'Institut Tech du Batiment Travaux Pub, (298).*
- Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M. And Tokimatsu, K.,** 1986, Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *Journal of geotechnical engineering, 112(11), 1016-1032.*
- Selçuk, M.E., Kılıç, H., Özaydın, K.,** 2007, Kalın zemin çökellerinde eşdeğer-lineer ve non-lineer analiz sonuçlarının karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 187-198.*
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E.,** 2007, Türkiyede spt-n değeri ile ince daneli zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler. *Teknik Dergi, 18(89), 4229-4246.*
- Sorensen, K. K., & Okkels, N.,** 2013, Correlation between drained shear strength and plasticity index of undisturbed overconsolidated clays. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris (Vol. 1, pp. 423-428).*
- Sowers, N. R.,** 1979, *Geologic factors affecting the geohydrology of the Tongue River Valley, Sheridan County, Wyoming.* University of Wyoming.
- Stroud, M. A.,** 1974, The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks. In *Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing (Vol. 2, No. 2, pp. 367-375).*

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sugito, M., Goda, H. and Masuda, T.**, 1994, Frequency dependent equi-linearized technique for seismic response analysis of multi-layered ground. *Doboku Gakkai Ronbunshu*, 1994(493), 49-58.
- Sun, J. I., Golesorkhi, R. and Seed, H. B.**, 1988, *Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils*. Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- TBDY**, 2018, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, AFAD, Ankara.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G.**, 1996, *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley and Sons.
- Tüysüz, O., Uğur, K., Philip, W., Ferhat, Ö. ve Cevdet, Y.A.**, 2019, “Deprem Parametreleri”, <http://debis.deu.edu.tr/DEUWeb/Icerik/Icerik.php?KOD=2068> (Erişim tarihi: 05.11.2022).
- Vucetic, M. and Dobry, R.**, 1988, Degradation of marine clays under cyclic loading. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114(2), 133-149.
- Wair, B. R., Dejong, J. T. and Shantz, T.**, 2012, *Guidelines for estimation of shear wave velocity profiles*. California: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J.**, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.
- Wolff, T. F.**, 1989, Pile capacity prediction using parameter functions. In *Predicted and observed axial behavior of piles: results of a pile prediction symposium* (pp. 96-106). ASCE.
- Yıldız, H.**, 2008, *İstanbul’da Sondaj Kuyularında PS Logging Yöntemi ile Ölçülen Kayma Dalgası Hızının SPT-N ile Değişimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez sürecim boyunca bilgisi, deneyimi ve yol göstericiliği ile her zaman yanımda olan, çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Alper SEZER' e, bilgi ve deneyimlerini tez sürecim boyunca esirgemeyen çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Devrim Şüfa ERDOĞAN'a, tez jürimde yer almayı kabul eden ve çalışmama değerli katkılar sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Cem KINCAL' a, tez sürecimde beni her zaman destekleyen arkadaşım Sibel YILDIRIM'a, meslek hayatım boyunca bana yol gösteren ve tez sürecimde de katkısını esirgemeyen eniştem İnş. Müh. Özkan ŞAHAN'a, hayatımın her döneminde yanımda olan, desteklerini her zaman gösteren annem Nazan DOKUZLU, babam Çetin DOKUZLU, abim Hüseyin DOKUZLU' ya, hayatımın her anında yanımda olduğu gibi yüksek lisans sürecimde de sabrı, sevgisi ve enerjisi ile daima yanımda olan, bana her zaman inanan ve bu süreçte her yorulduğumda psikolojik anlamda bana güç veren, hayatımın aşkı güzel eşim Uzm. Klinik Psikolog İrem ÖZGÜNER DOKUZLU' ya çok teşekkür ederim.

.../ ... / 2023

Etkü Dokuzlu

ÖZGEÇMİŞ

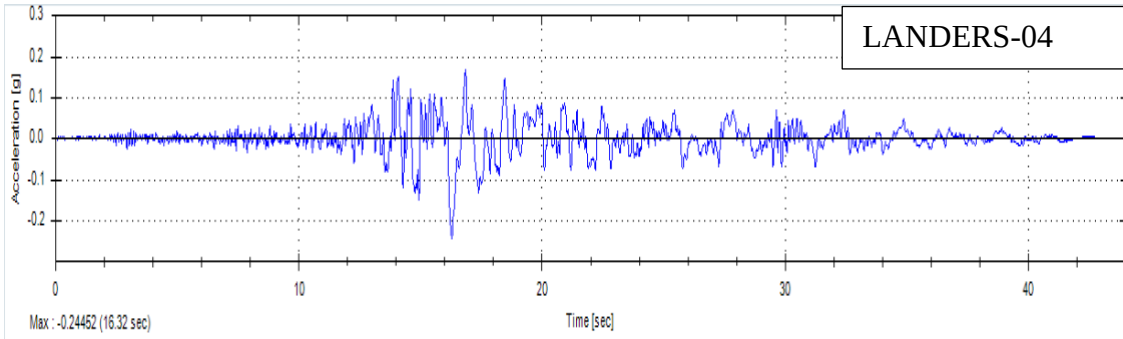
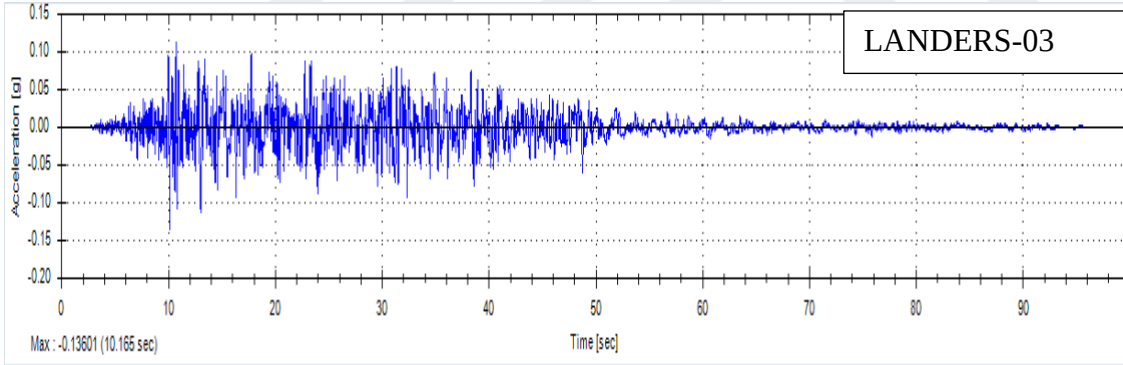
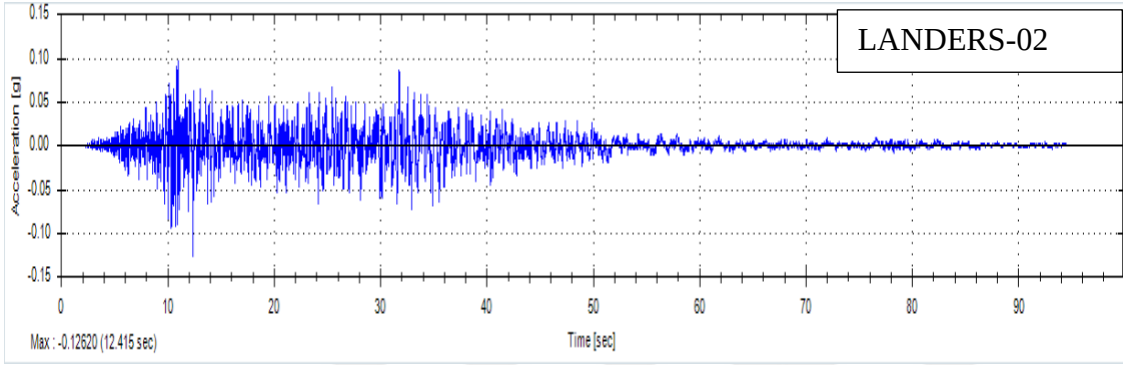
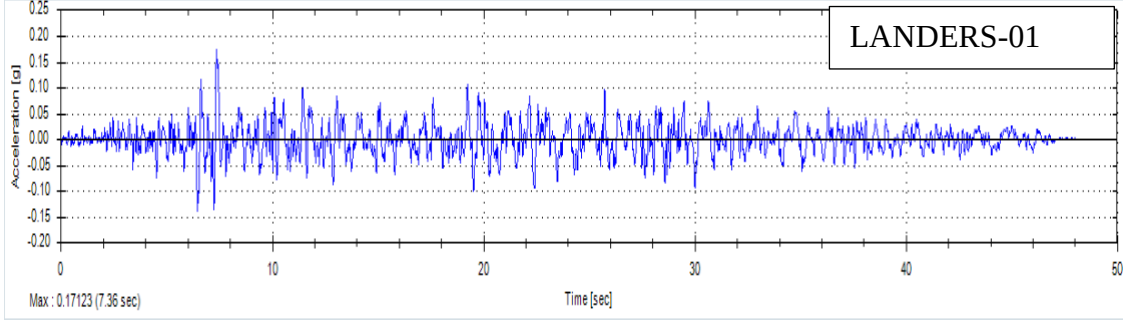
Etka DOKUZLU, ilk ve ortaokul eğitimini Yedieylül İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Aydın Lisesinde tamamlamıştır. 2013 yılında İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başlamıştır. Daha sonra, 2015 yılında yatay geçişle Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne kabul almıştır. Lisans eğitimini 2018 yılında tamamlamıştır. 2018-2019 akademik yılının bahar yarıyılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.



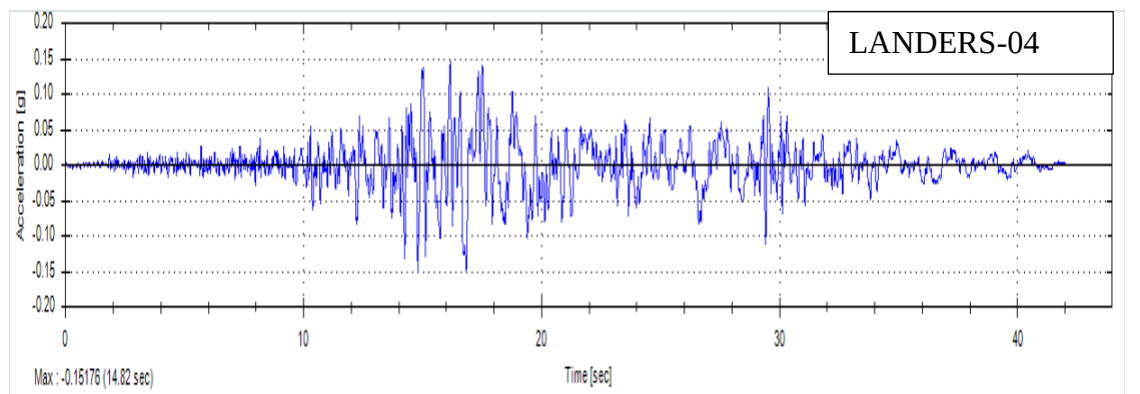
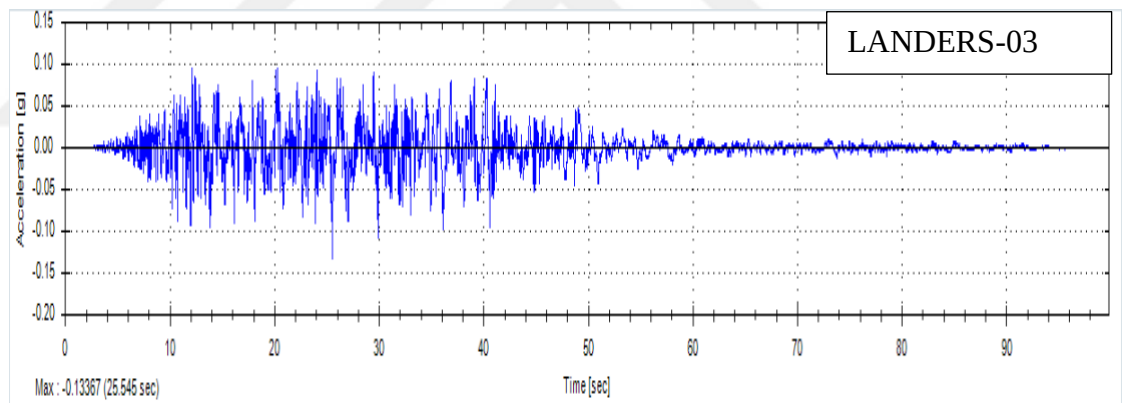
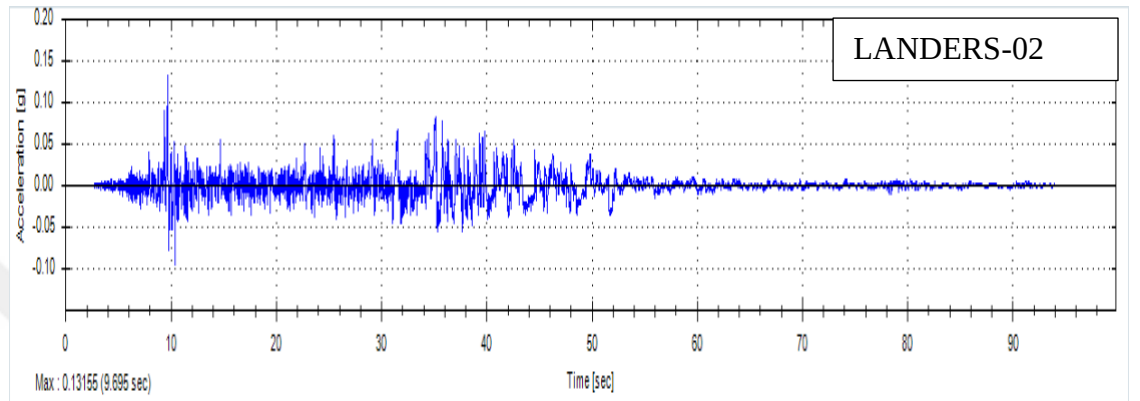
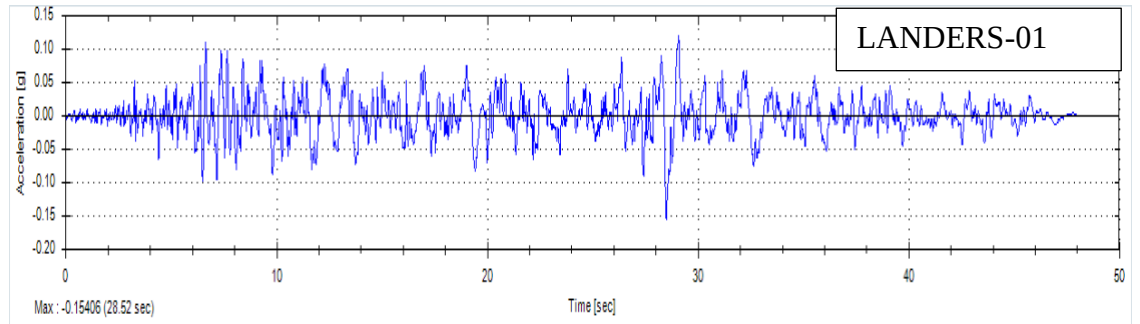
EKLER



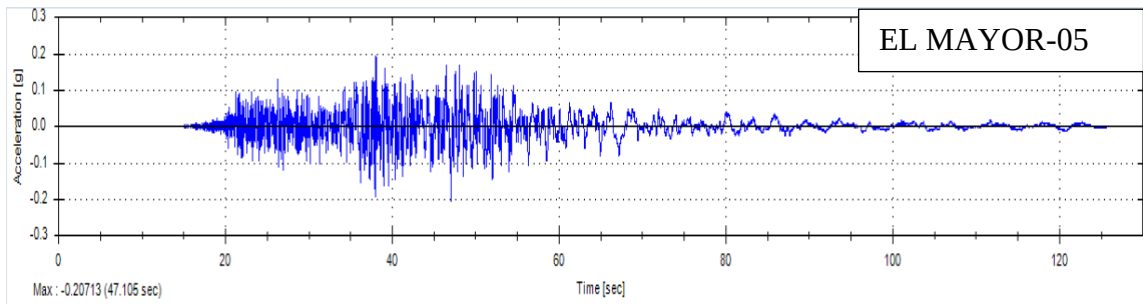
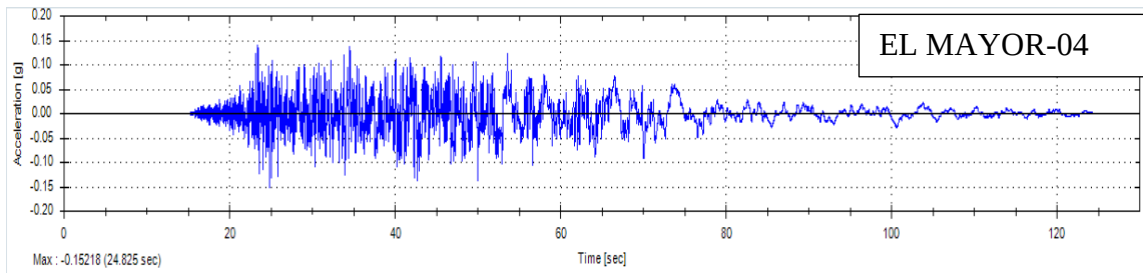
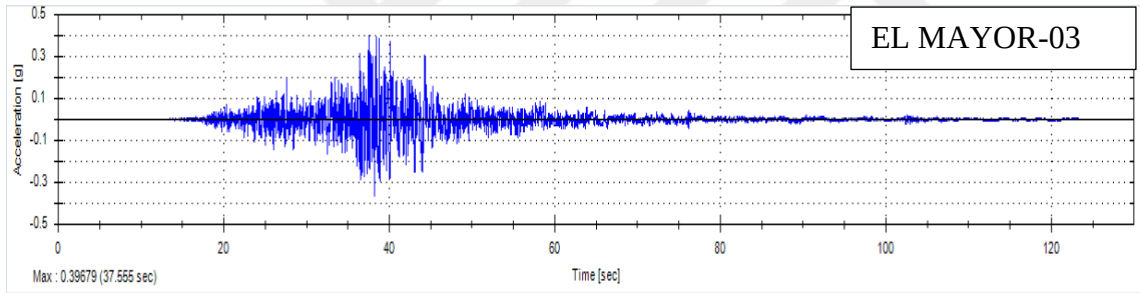
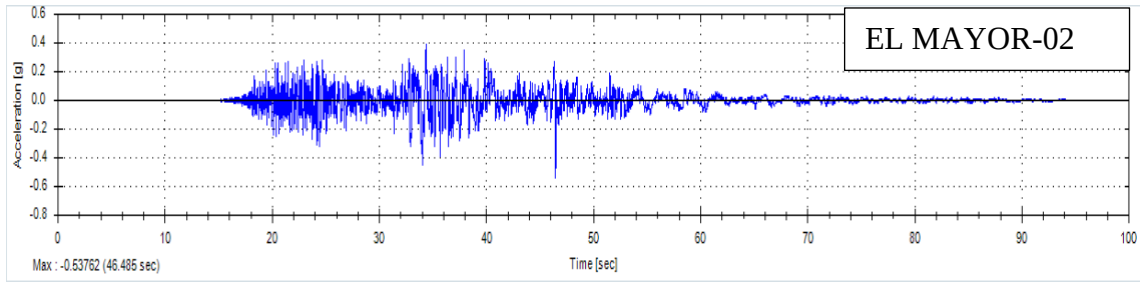
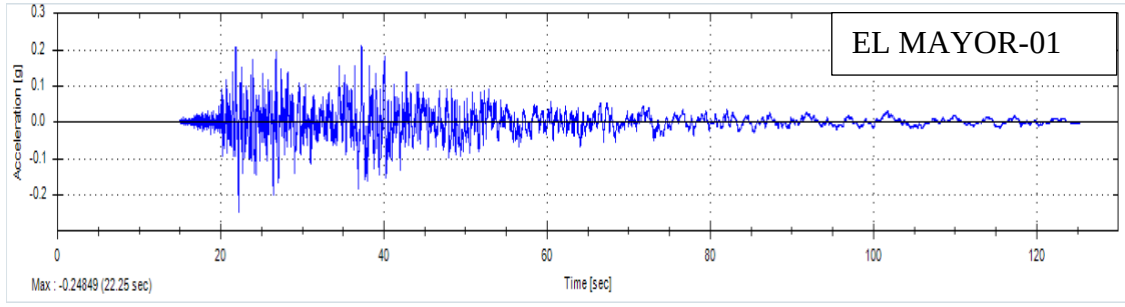
EK_1. Landers depreminin 4 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş birinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafikleri

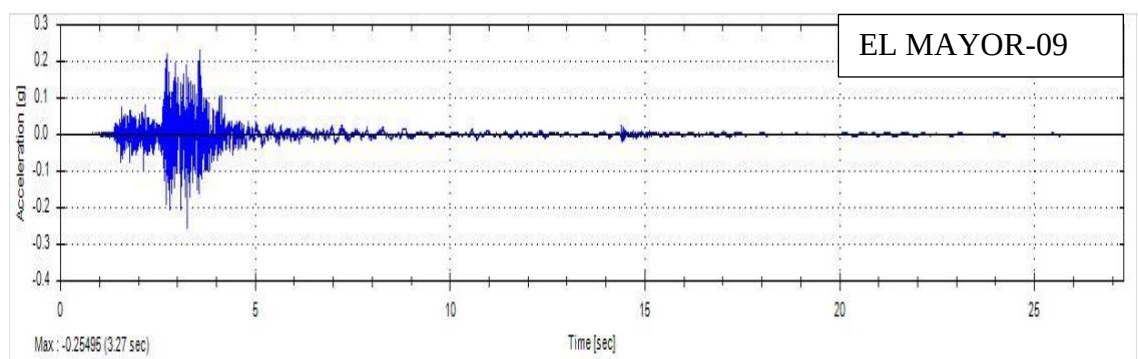
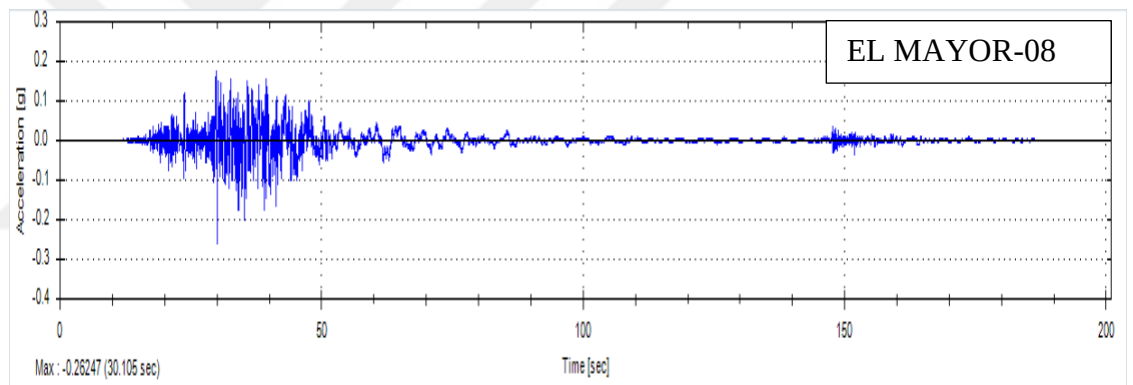
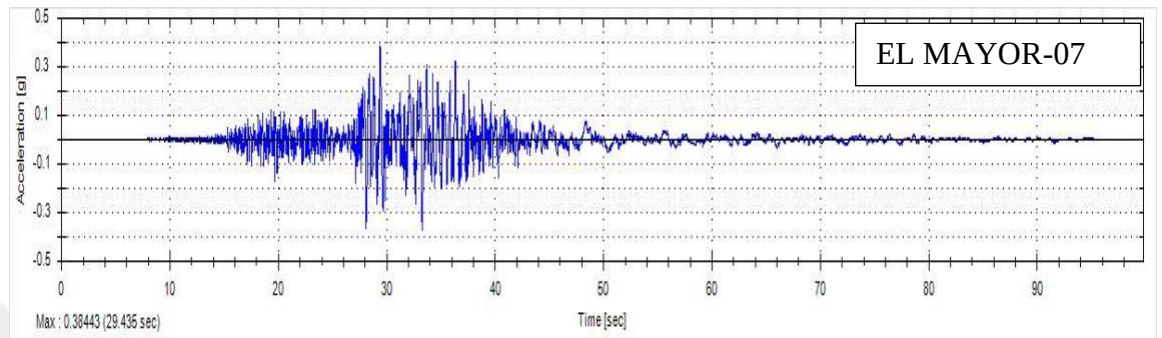
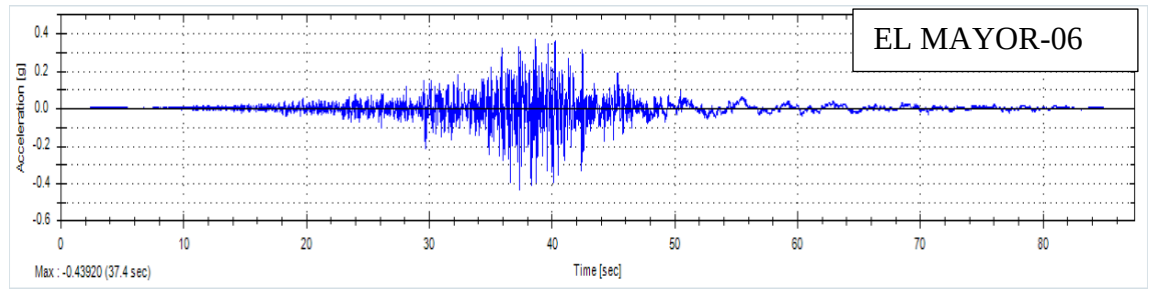


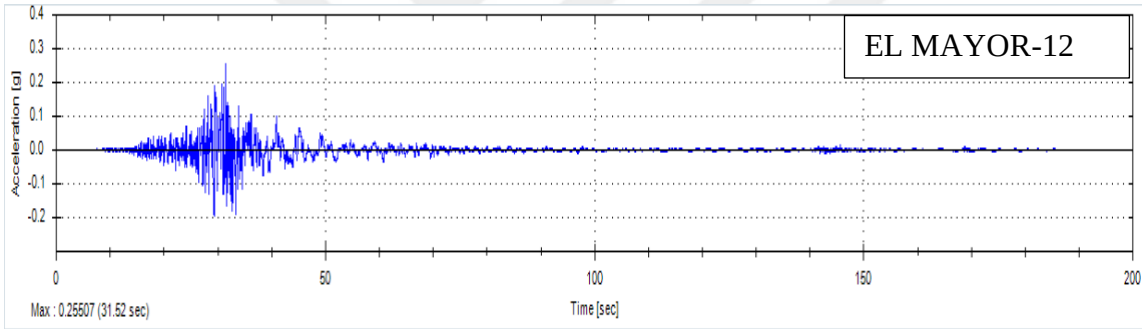
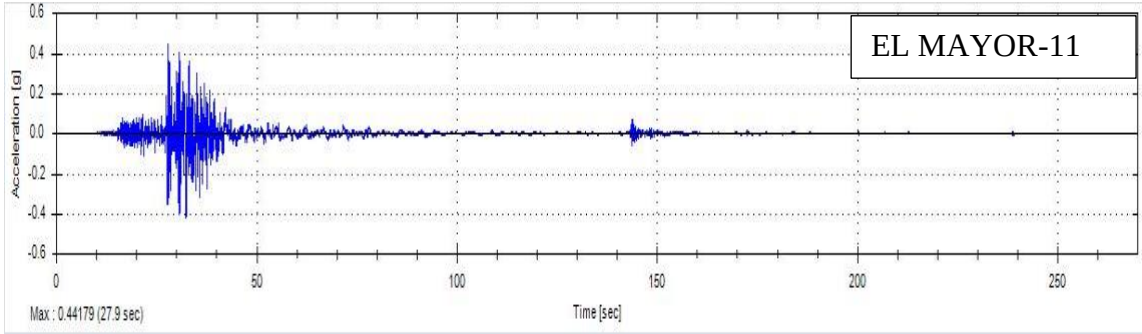
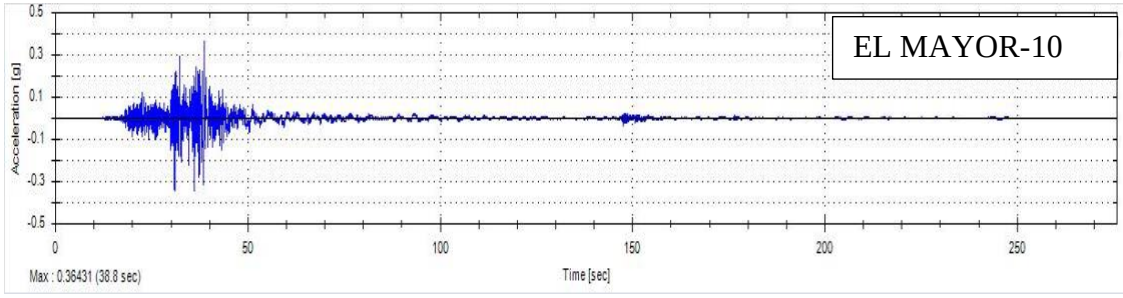
EK_2. Landers depreminin 4 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafikleri



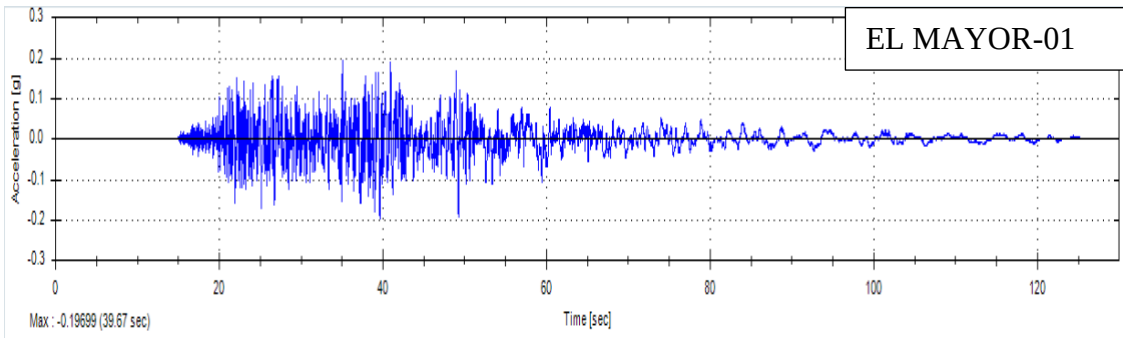
EK_3. El Mayor depreminin 12 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş birinci yatay bileşenin ivme-zaman grafikleri

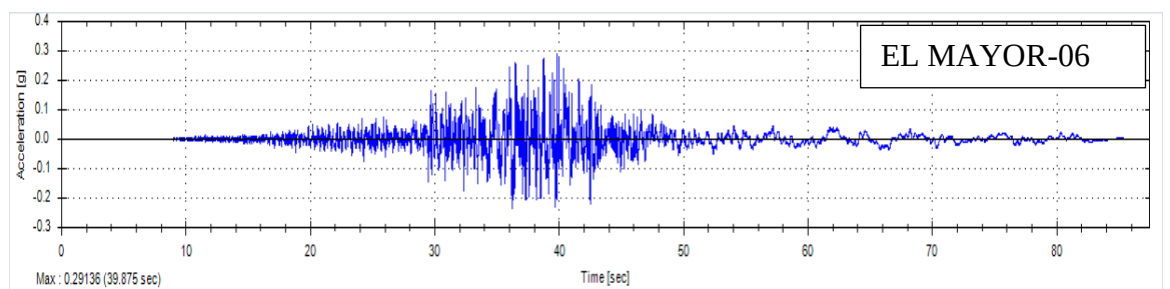
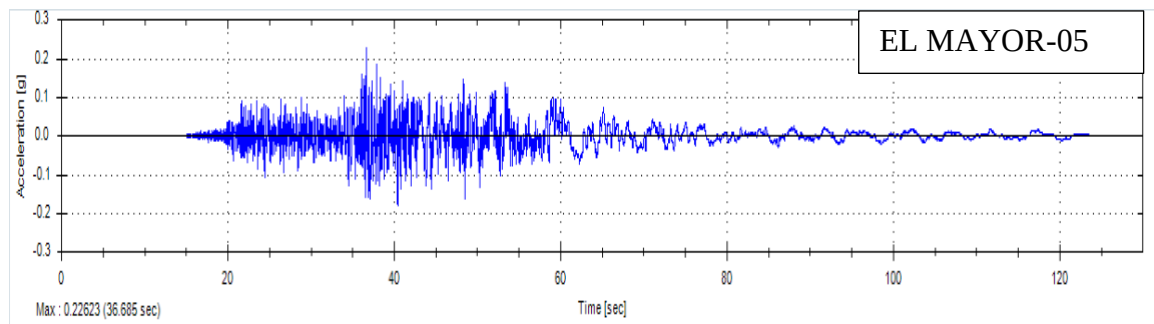
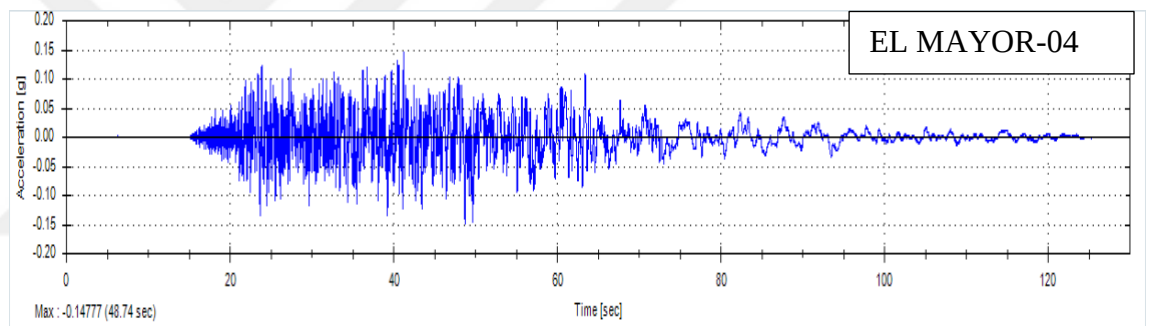
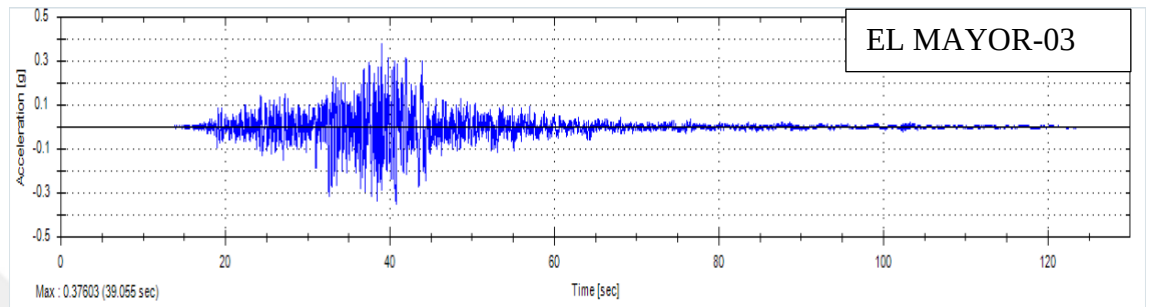
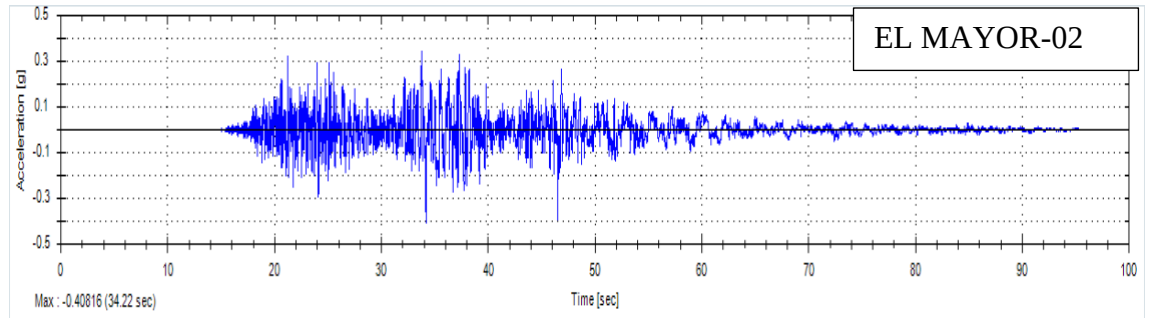


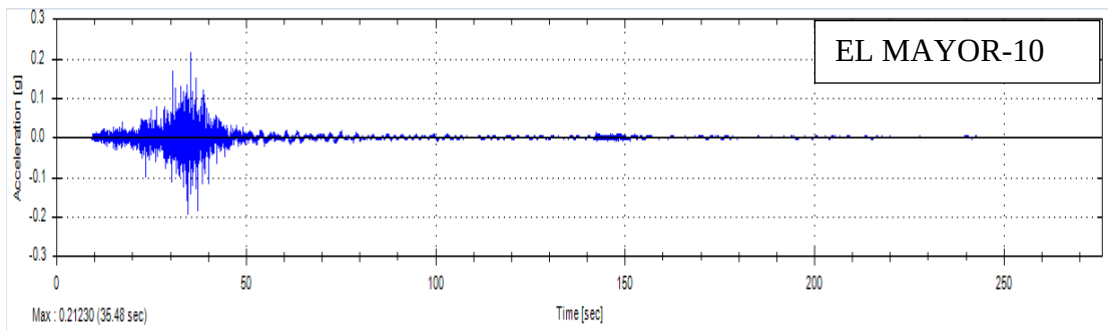
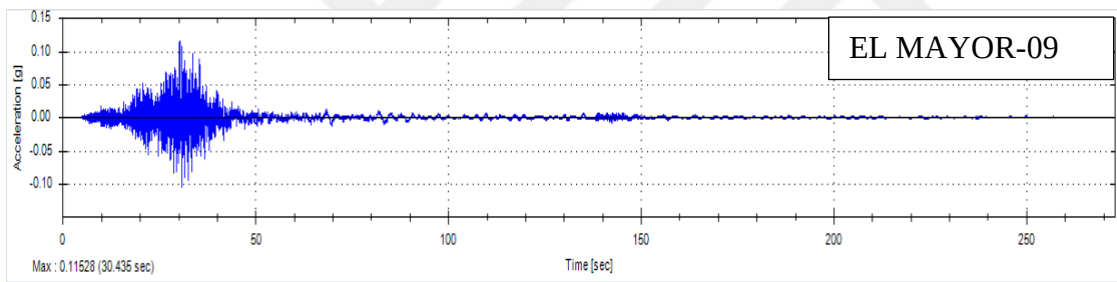
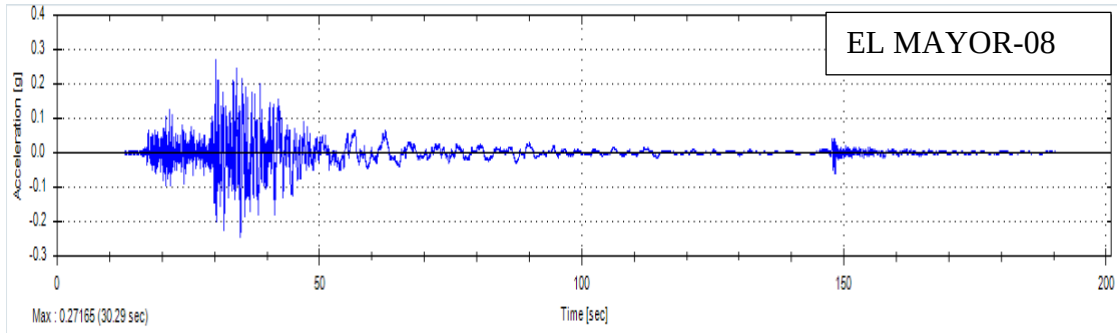
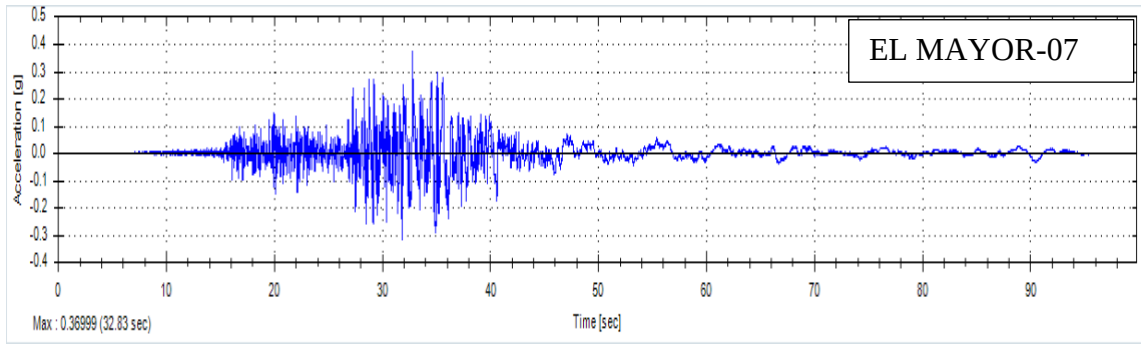


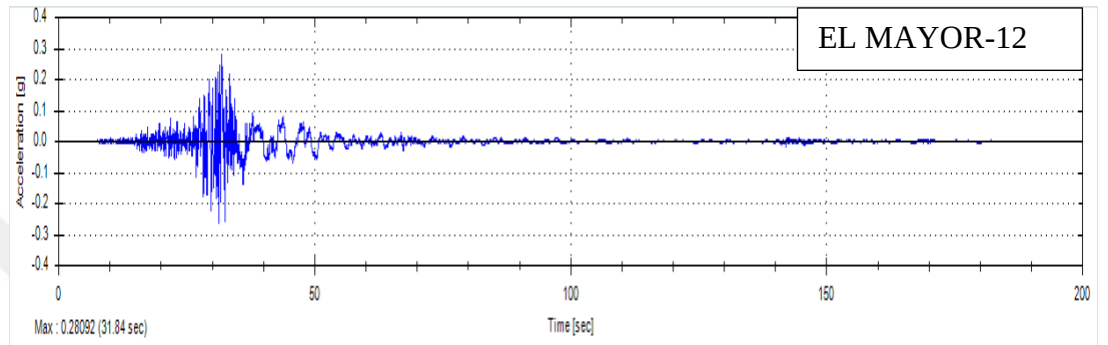
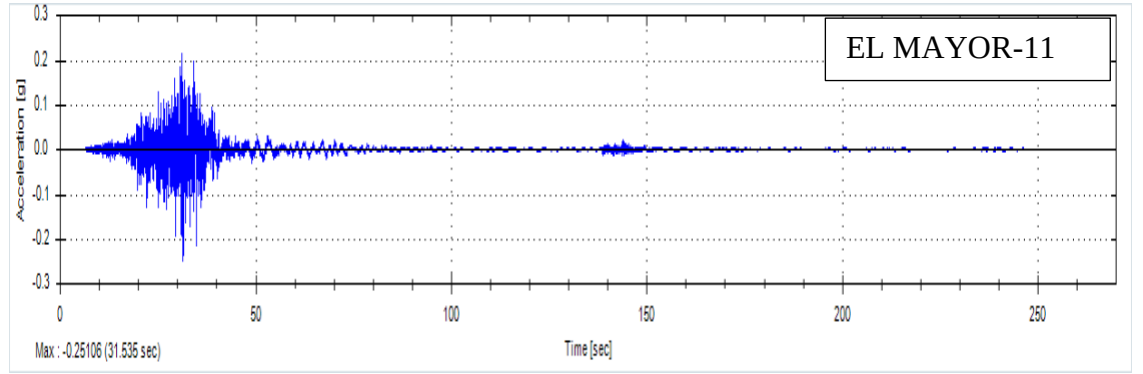


EK_4. El Mayor depreminin 12 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş ikinci yatay bileşenin ivme-zaman grafikleri

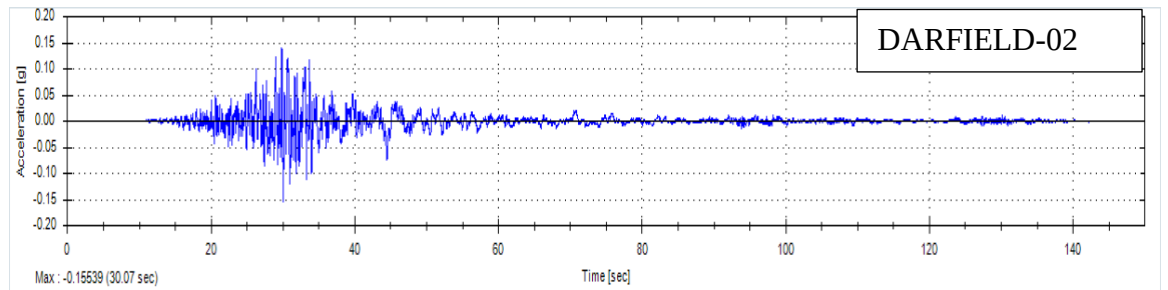
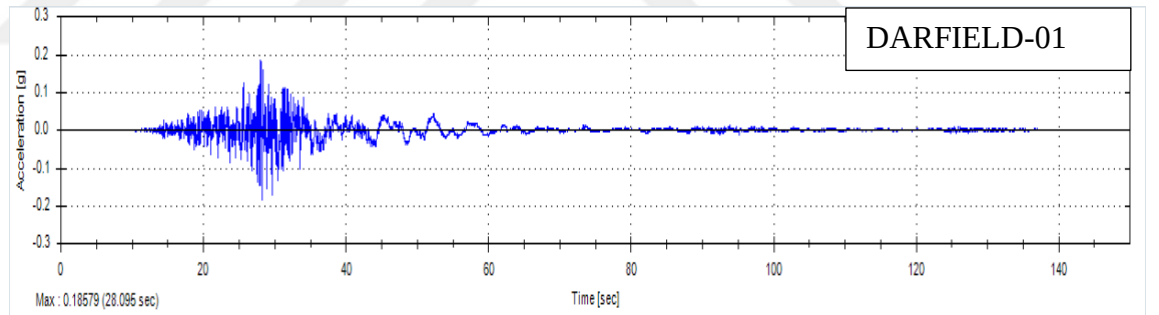


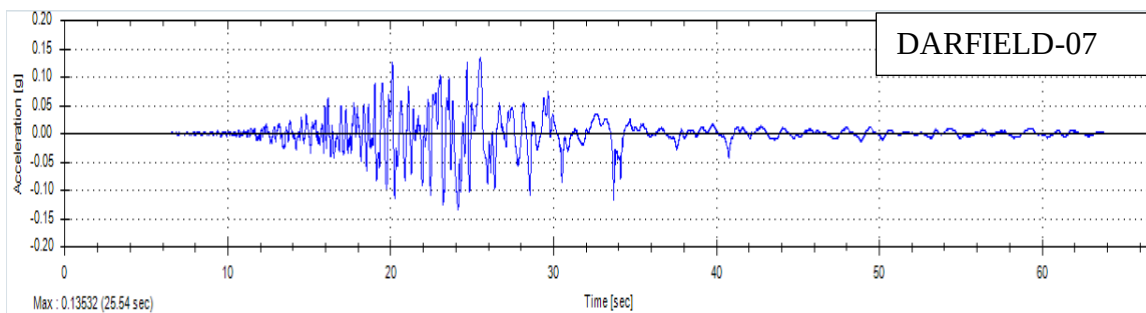
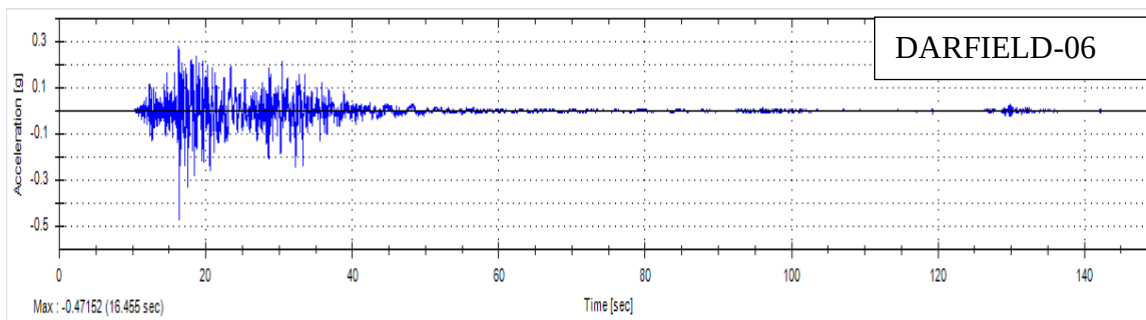
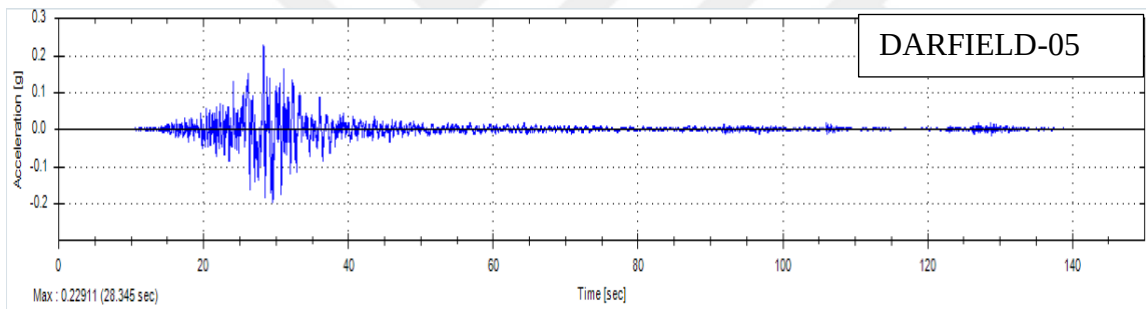
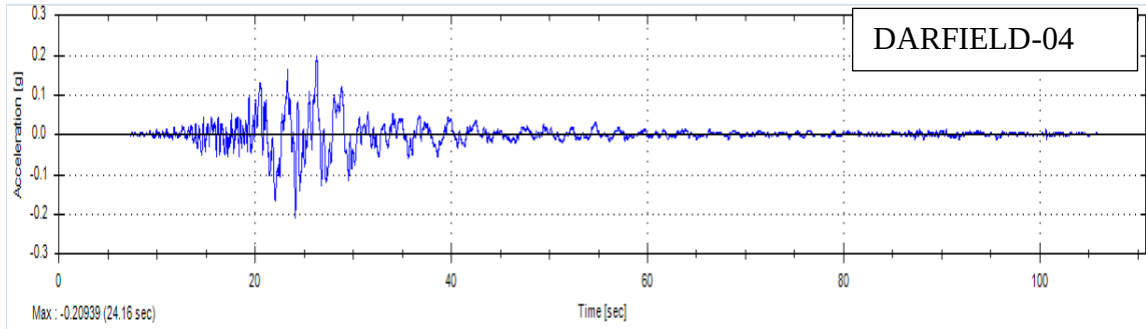
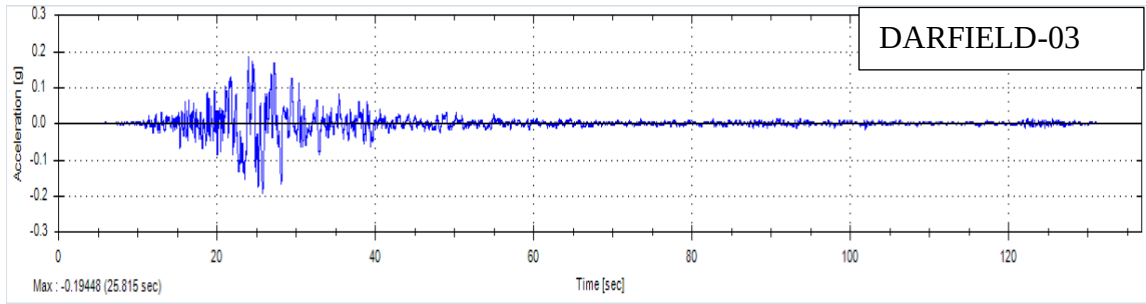


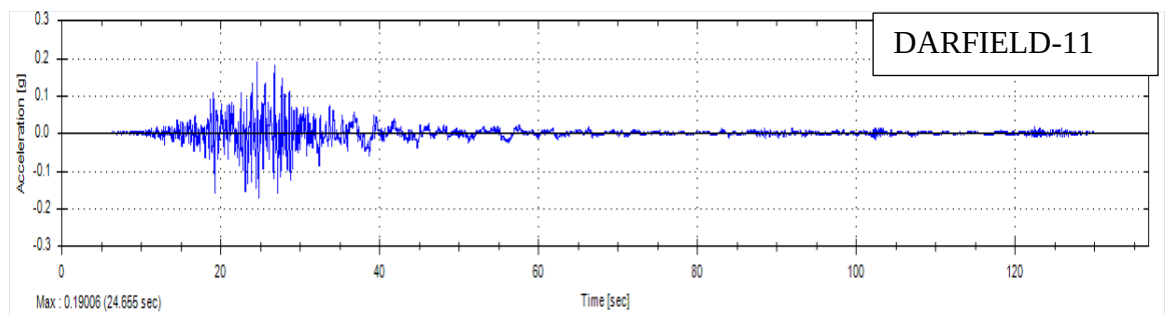
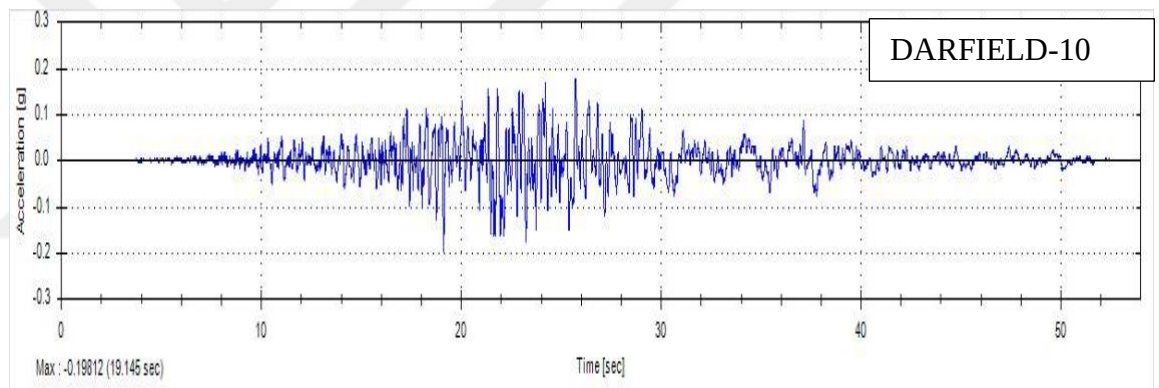
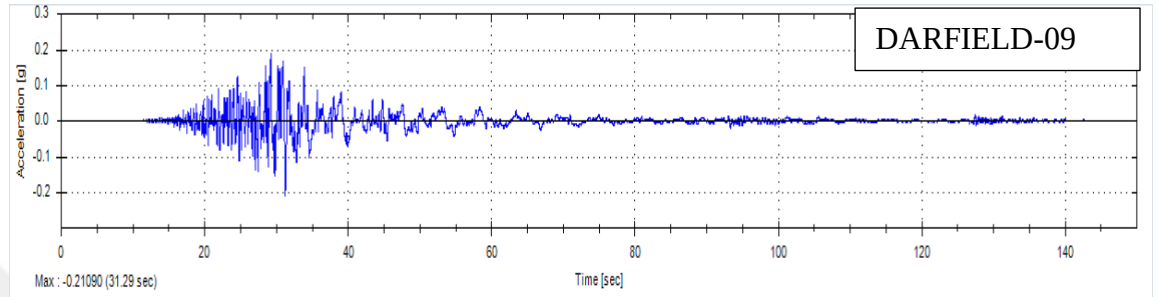
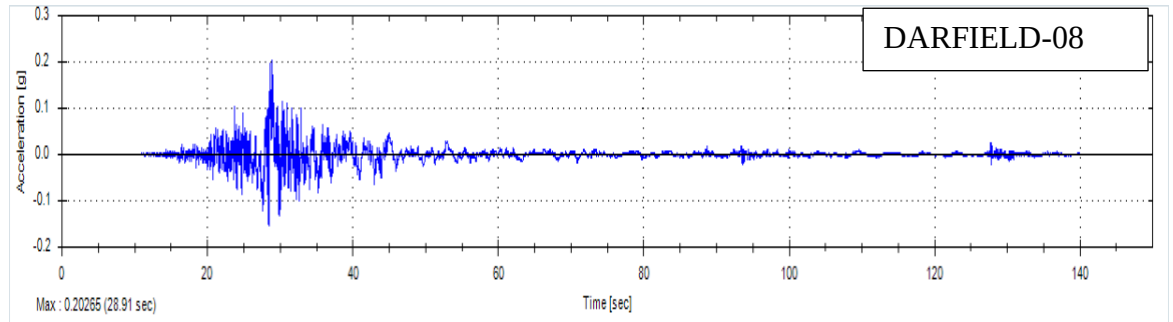


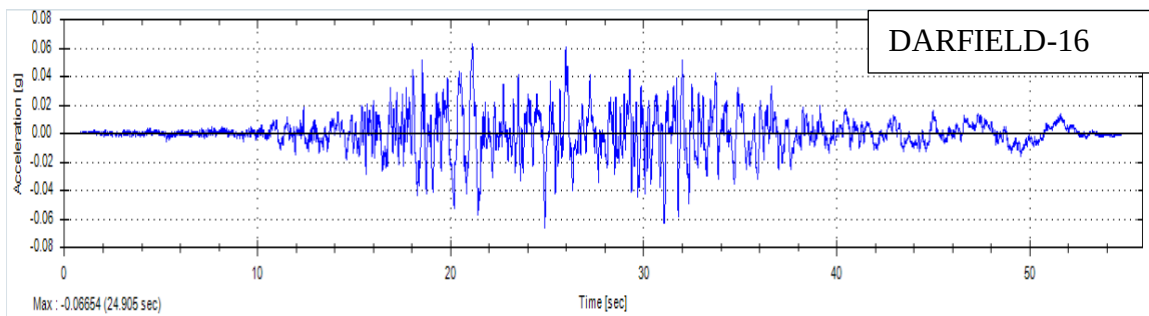
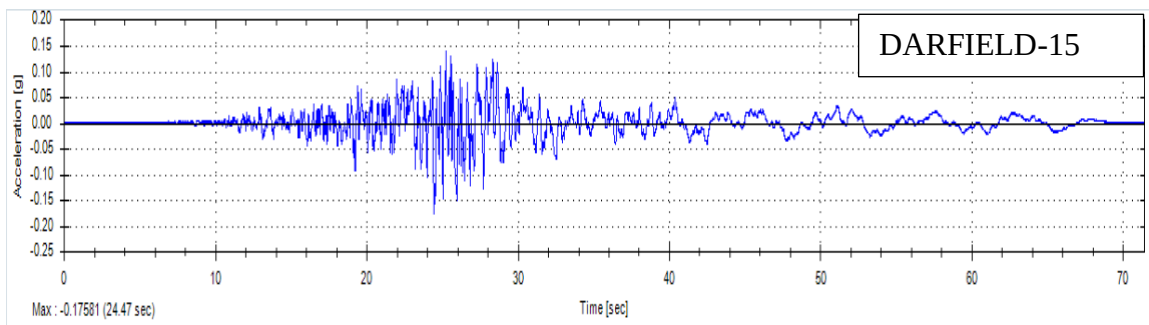
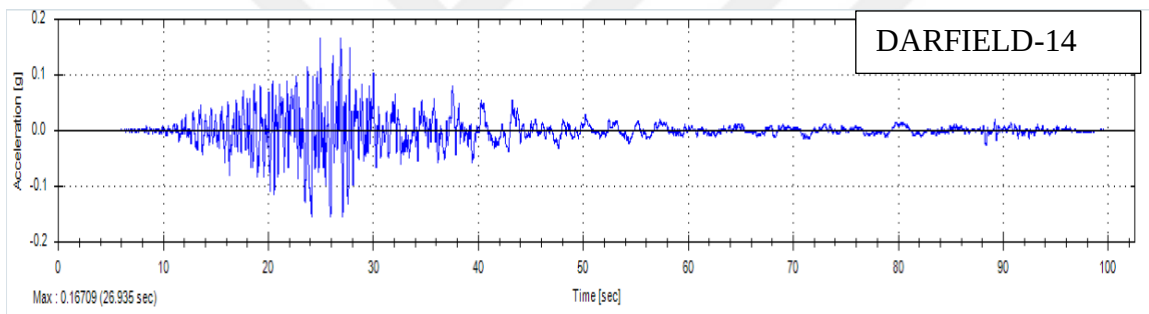
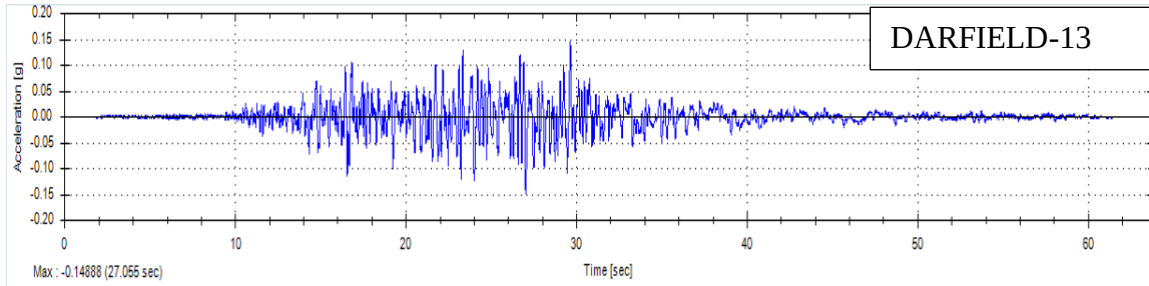
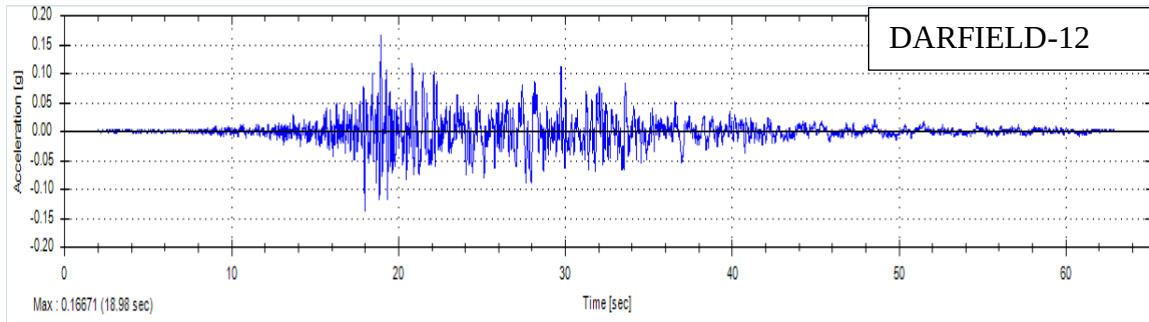


EK_5. Darfield depreminin 16 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş birinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafikleri









EK_6. Darfield depreminin 16 farklı istasyondaki ölçeklendirilmemiş ikinci yatay bileşeninin ivme-zaman grafikleri

