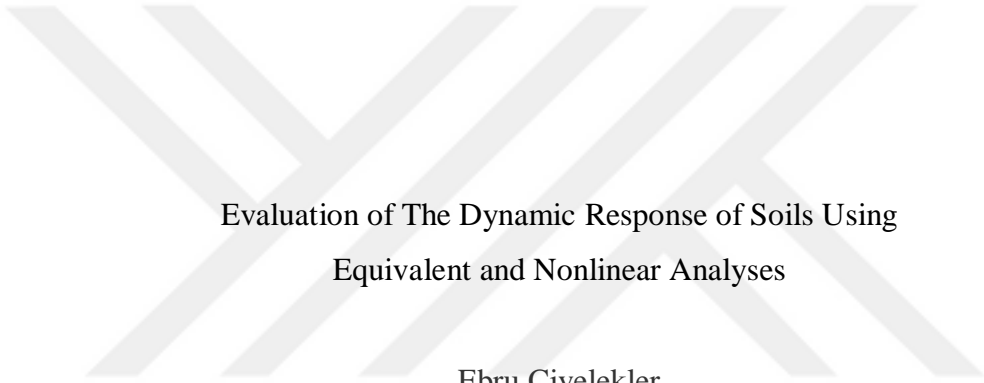


Eşdeğer ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile Zeminlerin Dinamik
Davranışının Belirlenmesi

Ebru Civelekler
DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2020



Evaluation of The Dynamic Response of Soils Using
Equivalent and Nonlinear Analyses

Ebru Civelekler

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Civil Engineering

August 2020

Eşdeğer ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile Zeminlerin Dinamik Davranışının
Belirlenmesi

Ebru Civelekler

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalında

DOKTORA TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Derviş Volkan OKUR

Ağustos, 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna göre, Prof. Dr. D. Volkan Okur danışmanlığında hazırlamış olduğum **“Eşdeğer ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile Zeminlerin Dinamik Davranışının Belirlenmesi”** başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 26/08/2020

Ebru Civelekler

İmza

ÖZET

Depremler sırasında meydana gelen hasarlar yapı özelliklerinin yanı sıra depremin odak derinliğine, büyüklüğüne, deprem dalgalarının geçtikleri zemin tabakalarına ve arazi koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımlarında bölgesel sismisite, yer hareketi ve yerel zemin koşullarının davranışı çok önemlidir.

Ülkemizde 2016'da taslak olarak yayınlanan 2018'de güncelleştirilen 01.01.2019 tarihinden itibaren yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) Bölüm 16'da tasarlanacak yeni binalar ve deprem performansı değerlendirilecek mevcut binalar için yapılacak zemin araştırmalarının kapsamı genişletilmiştir. Özellikle sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zemin sınıflarında, zeminin dinamik davranışının belirlenmesi ve bu özelliklere bağlı olarak tasarımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kentleşme ve sanayileşmenin her geçen gün arttığı Eskişehir, Türkiye'nin ekonomik anlamda önemli şehirlerindedir. Bu çalışmada Eskişehir şehir merkezi için olası bir deprem sonucunda zemin tabakalarının davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada zemin koşulları ve deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi için, TBDY 2018'de önerilen bir boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analiz yöntemleri kullanılmıştır. Analizler Deep Soil 6.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir sondaj logu için, TBDY 2018'de önerildiği gibi 11 farklı ivme kaydı kullanılarak, zeminin spektral parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen spektral parametreler uluslararası yapı kodlarının spektrum zarflarına göre karşılaştırılmış, TBDY (2018) spektrum zarfının düz kısmı olan S_{DS} 'nin verilere daha iyi uyum sağlayabilmesi için biraz yukarı kaydırılması önerilmiştir. Ayrıca analizlerden elde edilen veriler kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında bir veri tabanı oluşturulmuştur. İnceleme alanının temel zeminine ait dinamik özellikler, jeostatistiksel analizler kullanılarak haritalanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Davranış Analizi, Yerel Zemin Koşulları, Eşdeğer Doğrusal Analiz, Doğrusal Olmayan Analiz, Eskişehir.

SUMMARY

The damages during the earthquakes depends on the depth of focus of the earthquake, it's intensity, the ground layers that the seismic waves goes through and soil conditions alongside the structural features. Therefore, regional seismicity, ground motion and soil conditions are very important when it comes to the earthquake resistance design.

A draft about Turkey Building Earthquake Code (TEC 2018) was published in 2016, updated in 2018 and on January 1st 2019 it entered into force, in section 16, coverage area of 'examination of soil' is enlarged for the new buildings that are going to be designed and the current buildings that are going to be tested. Especially on the specific research and assessment requiring site specific response should be designed according to the dynamic behaviour of the soil.

Eskişehir is one of the Turkey's important cities in terms of economy and urbanization, industrialization is growing day to day. It is aimed in this study, evaluation of the soil behaviour on a possible earthquake in Eskişehir's city center. On this study for the detection of soil conditions and response of soil layers under the seismic effect, TEC 2018 recommendation used. The method of analysis was 'one dimensional linear and non linear soil behaviour'. Analyses are conducted by using Deep Soil 6.1 software. For the each and every one borehole log, like the recommendation of TEC in 2018, eleven different acceleration record are used and ground spectral parameters are evaluated. Spectral parameter's are compared to the international structure code's spectrum envelopes', TEC 2018 recommend envelopes' flat side (S_{DS}) should be raised a bit up just to ensure that data's are matching. Also a data base created as a Geographic Information Systems with the data's from the analyses. Dynamic properties that belongs to the subsoil of the area of investigation, mapped by using geostatistical analysis.

Keywords: Soil Behavior Analysis, Local Soil Conditions, Equivalent Linear Analysis, Nonlinear Analysis, Eskişehir.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak yetişmemde önemli katkıları olan, tez çalışmam esnasında değerli zamanını ayırarak danışmanlık görevimi üstlenip yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. D. Volkan OKUR'a,

Tez çalışmamın tüm aşamalarında karşılaştığım sorunları her zaman danışabildiğim, bütün samimiyetiyle bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, bu çalışmanın tamamlanması için büyük emeğe sahip olan hocam Dr. Öğr. Üyesi Kamil B. AFACAN'a,

Bu aşamaya gelmemde Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümündeki yüksek lisans tez çalışmamın destekçisi, aynı zamanda araştırmacı olarak görev aldığım Anadolu Üniversitesi 080240 No'lu projenin yürütücüsü olan ve projedeki verileri tezimde kullanmama olanak sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Yücel GÜNEY'e ve projede beraber çalıştığım tüm hocalarım ve arkadaşlarıma,

Eskişehir zeminine ait sismik verileri benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Muammer Tün ve Araş. Gör. Sunay Mutlu'ya,

Hem eğitimim hem de hayatım boyunca benden sevgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli annem Şennur Akdeniz ve kıymetli babam Hikmet Akdeniz'e; tez çalışma sürecinde sabır ve hoşgörüsüyle yanımda olan Ayşe annem, Nihat babam ve İclal ablama

Doktora çalışma sürecinde bana her açıdan destek olan, sevgisini her daim yanımda hissettiğim değerli eşim Av. İsmail Hakkı CİVELEKLER'e ve doktora eğitim döneminde bana annelik unvanını kazandıran en kıymetli varlığım canım kızım Ayşe Melek CİVELEKLER'e vermiş oldukları desteklerinden dolayı minnettarlığımı belirterek, çalışmamın ülkem ve insanlığın yararına olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ	12
3.1. Coğrafi Konumu ve Yüzey Şekilleri.....	12
3.2. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Stratigrafisi	15
3.3. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri	18
3.4. Çalışma Alanı Paleotektonik Dönem	20
3.5. Çalışma Alanı Tektonik Durumu ve Depremselliği	21
3.6. Çalışma Alanı Zemininin Geoteknik Özellikleri	24
4. KURAMSAL TEMELLER	29
4.1. Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri	29
4.1.1. Genlik parametreleri	29
4.1.1.1. <u>Pik ivme</u>	30
4.1.2. Frekans içeriği	31
4.1.2.1. <u>Fourier spektrumları</u>	31
4.1.2.2. <u>Tepki spektrumları</u>	31
4.1.3. Kuvvetli yer hareketi süresi	31
4.2. Zemin Davranış Analizlerinde Kullanılan Parametreler	33
4.2.1. Zeminin kayma modülü (G)- sönüm oranı (D)	34
4.2.2. Eskişehir için zeminin kayma dalgası hızının belirlenmesi	40

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.Zemin Davranış Analizleri	42
4.3.1.Bir boyutlu (1-B) analizler	42
4.3.1.1.Bir boyutlu eşdeğer doğrusal (eşdeğer lineer) yaklaşım	45
4.3.1.2.Bir boyutlu doğrusal olmayan (non-linear) yaklaşım	48
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
5.1.Deepsoil Programı ile Eşdeğer Doğrusal Analiz	50
5.1.1.Sahaya özel yerel zemin koşullarının belirlenmesi.....	54
5.1.2.Deprem yer hareketi spektrumu.....	59
5.1.2.1. Zaman tanım alanında deprem yer hareketinin tanımlanması... ..	59
5.1.2.2.Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi	62
5.1.2.3.Çalışma alanında yer alan sondajların bölgelere ayrılması	65
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
6.1.Eşdeğer Doğrusal Analiz Çalışmaları Sonuçları	71
6.1.1.Sahaya özel zemin yüzeyinde oluşan ivme değerleri.....	71
6.1.2.Sahaya özel zeminin tepki spektrumu	84
6.1.3.Sahaya özel zeminin büyütme değerleri (amplifikasyon faktörü)	91
6.2.Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz Çalışmaları Sonuçları.....	97
6.2.1.Sahaya özel zemin yüzeyinde oluşan ivme değerleri.....	98
6.2.2.Sahaya özel zeminin tepki spektrumu	109
6.2.3.Sahaya özel zeminin büyütme değerleri (amplifikasyon faktörü)	115
6.3.Uluslararası Yapı Kodlarına Göre Spektral Parametrelerin Karşılaştırılması.....	120
6.4. Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarının Doğrusal Olmayan Analizler ile Karşılaştırılması.....	127
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	147
EK AÇIKLAMALAR	157
ÖZGEÇMİŞ.....	223

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.....	12
3.2. Çalışma alanı ve sayısal yükseklik modelini (SYM) gösteren harita.....	14
3.3. Eskişehir ve çevresinin ayrıntılı stratigrafik kesiti.....	15
3.4. Çalışma alanı jeoloji haritası.....	17
3.5. Çalışma alanı yeraltı suyu seviyesi haritası.....	19
3.6. Eskişehir ve çevresi paleotektonik dönem evreleri.....	21
3.7. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası.....	22
3.8. Eskişehir bölgesinin sismik haritası.....	23
3.9.a. Çalışma alanına ait SPT N değerleri değişiminin 3 boyutlu katı modeli.....	25
3.9.b. Çalışma alanına ait 3 boyutlu SPT N katı modelinden istenilen koordinatlarda alınan kesitler.....	25
3.9.c. 3 boyutlu SPT N katı modelinden Doğu- Batı doğrultusunda alınan kesit örneği ve Yeni Alüvyon-Eski Alüvyon sınırının belirlenmesi.....	26
3.9.d. 3 boyutlu SPT N katı modelinden Kuzey Batı- Güney Doğu doğrultusunda alınan kesit örneği ve Yeni Alüvyon-Eski Alüvyon sınırının belirlenmesi.....	26
3.10 a. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerinin 3 boyutlu modeli.....	27
3.10 b. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden istenilen koordinatlarda kesitler alınabilmesi.....	27
3.10.c. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden Doğu- Batı doğrultusunda alınan kesit örneği.....	28
3.10. d. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden Kuzey Doğu- Güney Batı doğrultusunda alınan kesit örneği.....	28
4.1. Çalışmada kullanılan Imperial Valley 1 kuvvetli yer hareketi parametreleri örneği.....	29
4.2. Denali 2002 (M=7.9) ve Darfield New Zeland 2010 (M=7) deprem kayıtlarına ait ivmeler.....	30
4.3. Anakayadan başlayan kuvvetli yer hareketinin yüzeyde farklılaşması örneği.....	31
4.4. Tek serbestlik dereceli sistemde tepki spektrumu.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5. Tanjant ve sekant kayma modülleri	34
4.6. a) Maksimum kayma modülü, sekant kayma modülü b) Histeris gerilme- deformasyon eğrisi ve sönümlenme oranı	35
4.7. Eşdeğer doğrusal modelde kayma modülü oranı- sönümlenme oranının kayma deformasyonu arasındaki ilişki.....	36
4.8. Vucetic ve Dobry, 1991'e göre kayma modülü azalım eğrisi.....	37
4.9. Vucetic ve Dobry, 1991 ve Sun vd., 1988'e göre sönüm oranı eğrisi.....	37
4.10. Idriss (1990)'in deneysel çalışmasına dayanan modül azaltma ve sönümlenme eğrileri.....	38
4.11. Darendeli (2001) modelinde modül azalım ve sönümlenme oranında çevre basıncı ve PI etkisi.....	39
4.12. Tez çalışmasında Deepsoil 6.1 yazılımında kullanılan kumlu zeminlerde Seed ve Idriss 1991 eğrilerinin kullanımına bir örnek.....	40
4.13. Tez çalışmasında kullanılan sismik kırılma ve yansıma verilerinin toplanması ve elde edilmesi örneği.....	41
4.14. Sazova mahallesi sismik kırılma hattı hız kesiti örneği.....	41
4.15. Arifiye mahallesi sismik kırılma hattı hız kesiti örneği.....	41
4.16. Dinamik yükler altında yerel zemin koşullarının etkisine örnek.....	42
4.17. Faydaki hareket sonucu sismik dalgaların zemin içinde yayılımı.....	43
4.18. Yer tepkisi terminolojisi.....	43
4. 19. Zeminin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	48
5.1. Deepsoil programı çalışma şeması.....	51
5.2. Eşdeğer doğrusal yaklaşım prensibinin şematik olarak gösterimi.....	53
5.3. Deepsoil yazılımında eşdeğer doğrusal analiz çalışmaları için tanımlanan örnek sondaj verisi.....	54
5.4. TDY 2007'ye göre zemin grupları ve yerel zemin sınıfları tablosu.....	55
5.5. Çalışma alanı TDY 2007 yerel zemin sınıfı haritası.....	56
5.6. TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfları tablosu.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Çalışma alanı TBDY 2018 yerel zemin sınıfı haritası.....	58
5.8. LGSK80 ve LOGSK82 nolu sondajların kesit örneği.....	59
5.9. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması.....	60
5.10. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan (nonlinear) analizlerde kullanılan PGA=0.3 g olarak ölçeklendirilmiş deprem verileri.....	64
5.11. Çalışma alanının bölgelere ayrılması.....	65
5.12. Zemin davranış analiz çalışmaları için çalışma alanının hücrelere ayrılması.....	66
6.1. Bölge 1 için Erzincan 1992 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	72
6.2. Bölge 1 için Kocaeli (Yarımca) 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	73
6.3. Bölge 1 için Düzce 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	74
6.4. Bölge 1 için Coyote Lake 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	75
6.5. Bölge 1 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	76
6.6. Bölge 1 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	77
6.7. Bölge 1 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	78
6.8. Bölge 1 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	79
6.9. Bölge 1 için Parkfield 1966 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	80
6.10. Bölge 1 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.11. Bölge 1 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	82
6.12. Bölge 1 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	87
6.13. Bölge 2 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	88
6.14. Bölge 2 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	89
6.15. Bölge 4 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	90
6.16. Bölge 1 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	93
6.17. Bölge 2 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	94
6.18. Bölge 3 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	95
6.19. Bölge 4 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	96
6.20. Deepsoil yazılımında doğrusal olmayan analiz çalışmaları için tanımlanan örnek sondaj verisi.....	97
6.21. Bölge 1 için Erzincan 1992 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	98
6.22. Bölge 1 için Kocaeli- Yarımca 1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	99
6.23. Bölge 1 için Düzce1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	100
6.24. Bölge 1 için Coyote 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.25. Bölge 1 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	102
6.26. Bölge 1 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	103
6.27. Bölge 1 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	104
6.28. Bölge 1 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	105
6.29. Bölge 1 için Parkfield 1966 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	106
6.30. Bölge 1 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	107
6.31. Bölge 1 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	108
6.32. Bölge 1 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	111
6.33. Bölge 2 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	112
6.34. Bölge 3 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	113
6.35. Bölge 4 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri.....	114
6.36. Bölge 1 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	116
6.37. Bölge 2 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	117
6.38. Bölge 3 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.39. Bölge 3 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri.....	119
6.40. ZB yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	122
6.41. ZB yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	122
6.42. ZC yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	123
6.43. ZC yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	123
6.44. ZD yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	124
6.45. ZD yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	124
6.46. ZE yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	125
6.47. ZE yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması.	125
6.48. ZF yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri.....	126
6.49. ZF yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri.....	126
6.50. T=0.01 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması.....	128
6.51. T=0.1 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması.....	129
6.52 T=1 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması.....	130
6.53. T=0.01 saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması.....	131
6.54 T=0.1 saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması.....	132
6.55. T=1 saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması.....	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.56. Çalışma alanı Max PSA (g) haritası.....	134
6.57. Çalışma alanı Ortalama PSA (g) haritası.....	136
6.58. Çalışma alanı Max Amplifikasyon Oranı haritası.....	138
6.59. Çalışma alanı Ortalama Amplifikasyon Oranı haritası.....	140



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. G/G_{max} ve Sönümlenme oranının (D), bazı parametreler ile artan ve azalan ilişkisi ((Dobry ve Vecutic (1987) ve Akın (2009)).....	38
4.2. Hareketin oluştuğu zeminin litolojik durumuna göre tanımlanması.....	43
4.3. Zemin davranış analizleri için kullanılan yazılımlar.....	45
4.4. Tabakalanma koşullarına bağlı olarak önerilen transfer fonksiyonlar.....	46
5.1. İnceleme alanı sınırları içerisinde yer alan mahallelere ait AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan belirlenen deprem karakteristikleri.....	61
5.2. Çalışmada kullanılan yer hareketi verileri.....	63
5.3. Çalışma alanı 1. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri.....	67
5.4. Çalışma alanı 2. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri.....	68
5.5. Çalışma alanı 3. Bölge Birleştirilmiş Zemin sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri.....	69
5.6. Çalışma alanı 4. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre belirlenmiş zemin sınıfı özellikleri.....	70
6.1. EC8 ve IBC ASCE'ye göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesi.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
S _s :	kısa periyot dönemi için spektral ivme
S ₁ :	1 saniye periyot için spektral ivme
S _{DS} :	yatay elastik tasarım spektrumu
PGA:	pik yer ivmesi
PGV:	pik yer hızı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
LI	sıvılaşma indeksi
1D	bir boyutlu
IDW	Inverse Distance Weighting
Metre	m
Kilometre	km
Saniye	sn
Max	maksimum
Min	minimum

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Türkiye, dünyanın aktif deprem kuşaklarından birinde yer almakta olup, son 20 yılda 17 Ağustos 1999 Kocaeli, 12 Kasım 1999 Düzce, 23 Ekim 2011 Van ve 24 Ocak 2020 Elazığ olmak üzere orta-büyük şiddette depremlere maruz kalmış ve bu depremler neticesinde büyük maddi hasar ve can kayıpları yaşamıştır. Özellikle 1999 Kocaeli depremi ($M_w:7.4$), Marmara bölgesinin büyük bir kısmını etkileyerek sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. Çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir şehir merkezi, 1999 Kocaeli depreminin etkilediği bölgeler arasındadır. Bunun yanı sıra Eskişehir merkezli kaydedilen 20 Şubat 1956 depremi de bölgede can ve mal kaybına neden olmuştur.

Deprem sırası ve sonrasında oluşabilecek etkileri belirleyerek depreme dayanıklı yapıların tasarımını amaçlayan disiplin olan deprem mühendisliği çalışmalarında, dinamik yük etkisi altında zemin davranışının belirlenmesi ve özellikle zemin-yapı etkileşimine bağlı olarak üst yapı tasarımı önem taşımaktadır. Yerel zemin özelliklerinin farklılaşması, deprem sırasında oluşan tekrarlı yükleme özelliklerini değiştirebilmektedir. Ayrıca yerel zemin özelliklerinin yanı sıra deprem sırasında yapılara etkiyen yer ivmesi genlikleri, frekans içerikleri ve buna bağlı olarak oluşan tepki kuvvetleri yapı davranışını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle ilgili çalışmalarda, temel zeminini oluşturan tabakaların olası bir deprem sırasında ve sonrasında davranışının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizdeki mevcut Bina Deprem Yönetmeliklerinde yerel zemin koşullarının belirlenerek binaların depreme dayanıklı olarak tasarlanması çalışmaları ilk olarak 1975 yönetmeliği ile başlamıştır. Ancak 1998 ve 2007 yönetmeliklerinde bu konuda pek bir değişiklik yapılmamış; geoteknik deprem mühendisliği alanında artan bilgi birikimi ve çalışmalar sonucunda günümüz Bina Deprem Yönetmeliğine konu dâhil edilmiştir.

2019'dan itibaren güncel olarak kullanılan son yayınlanan TBDY (2018)'de ise önceki yönetmeliklere göre özellikle sahaya özgü yerel zemin sınıflarının belirlenmesi kısmı genişletilmiş; deprem yer hareketi spektrumlarının yapının bulunduğu konuma, faya uzaklığına ve zemin özelliklerine göre hesaplanması önerilmiştir. TBDY (2018)'in 16.5.1.3. bölümünde yer alan yerel zemin sınıfları tablosunda ZF zemin sınıfı olarak tanımlanan zeminlerin, yüzeydeki deprem yer hareketini belirlemek amacıyla sahaya özel zemin

davranış analizlerinin yapılması zorunludur ibaresi yer almaktadır (TBDY 2018). Ayrıca bu tür analizler gerekli görülürse diğer sınıflardaki zeminler için de yapılması önerilmektedir. Bu tez çalışmasında Eskişehir şehir merkezi için bir boyutlu zemin davranış analizleri yapılarak, bölgenin dinamik özellikleri detaylı olarak belirlenmiş ve bu konuda çalışan araştırmacılar (deprem etkisi altında tasarımı yapılacak yeni binalar ile deprem performansı değerlendirilecek veya güçlendirilecek mevcut binalar) için kullanılabilir bir veri ortaya konmuştur.

Günümüzde oluşturulan imar planlarında bilgi teknolojilerinden yararlanılmakta ve buna bağlı olarak riskli alanlar ortaya konulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Eskişehir şehir merkezinin bir bölümünü oluşturan alüvyon zemin tabakasının davranışının eşdeğer doğrusal ile doğrusal olmayan analizlerle belirlenmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılarak bir değerlendirmenin yapılmasıdır. Çalışma sahası yaklaşık 30 km²'lik bir alandan oluşmaktadır. Çalışmada 30 metre derinlikte 42 adet sondajdan elde edilen temel zeminin fiziksel, mekanik özellikleri ve sondajlarla aynı noktalarda gerçekleştirilmiş olan sismik arazi deney (sismik kırılma ve sismik yansıma) verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile mikro ve makro ölçeklerde değerlendirilmiştir.

Çalışma beş ana aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada, arazide sondaj çalışmaları ile yerinde sismik yöntemler kullanılarak belirlenmiş zeminin mühendislik özellikleri değerlendirilmiştir. İkinci aşamada zemin özelliklerini belirlemek ve alansal olarak kendi içinde değerlendirmek amacıyla çalışma alanı bölgelere ayrılmış ve bu bölgelerdeki sondaj çalışmaları ve arazi deney sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında her bir sondaj için zeminin profili, tabaka kalınlıkları, malzeme parametreleri tanımlanarak bir boyutlu analiz prensibine dayanan eşdeğer doğrusal analizler gerçekleştirilmiştir. Dördüncü aşamada ise aynı saha ve zemin tabakaları için doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve her iki yöntem karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemden elde edilen veriler, her bir bölge için kendi aralarında değerlendirilmiştir. Çalışmanın beşinci aşamasında TDY (2007) ve TBDY (2018)'a göre çalışma alanını temsil eden yerel zemin sınıfı haritaları oluşturulmuş, yapılan eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen tepki spektrumu ve büyütme değerleri de haritalanmıştır ve karşılaştırması yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın literatür özeti iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Eskişehir ili ile ilgili yapılmış olan deprensellik çalışmaları, ikinci bölümde ise eşdeğer doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz ile ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Eskişehir zemini için geçmişte yapılan jeolojik, hidrojeolojik, tektonik ve geoteknik çalışmalar 1970'li yıllara kadar dayanmaktadır. Bu kapsamda değerlendirilebilecek ilk çalışma Esen vd. (1976) tarafından gerçekleştirilen ve Eskişehir'e içme/kullanma suyunu temin edebilmeyi amaçlayan, Eskişehir ve İnönü ovalarında hidrojeolojik etüt araştırmaları kapsamında hazırlanmış haritalarıdır. Eskişehir genel jeolojisi ile ilgili olarak ilk çalışmalar Gözler vd. (1984, 1985) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bölgenin jeolojik yapısının en altında Jura öncesinde oluşmuş ofiyolitik-metamorfik- metadetritik birliği ve bu birimler üzerine Paleosen, Eosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı çökellerin bulunduğu ayrıca çalışma alanının kuzey ve güneyinden geçen fay sistemlerinden bahsedilmektedir. Benzer şekilde Gözler vd. (1996), Eskişehir il sınırlarının da içinde bulunan "Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi" başlıklı araştırmalarında, bölgenin jeolojik özelliklerini inceleyen çalışmaları derleyerek bölgenin jeolojisini içeren geniş kapsamlı bir değerlendirme yapmışlardır. Bölgede bulunan Gelinkaya Formasyonu ile onların kuzey metamorfiteilerinin (formasyonun detritikleri), jeolojik yaşı Jura olarak tanımlanan spilitik ve diyabazların sahada bulunan ofiyolitlerin Karkın Formasyonunun üyeleri olduğunu belirlemişlerdir.

Bölgeye ait tektonik araştırmaların başında ise Altunel ve Barka (1998) tarafından, Eskişehir Fay Zonu fay segmentlerinin incelendiği çalışma gelmektedir. Çalışmada Pleyistosen ve Holosen yaşlı birimler detaylı incelenerek, birimlerde görülen depolanma sırasına ve sonrasına ait faylardan yola çıkarak, Eskişehir Fay Zonu'nun en az Pleyistosen'den bu yana aktif olduğu öne sürülmüştür. Çalışmada çamur dayklarının Pleyistosen yaşlı birimler içerisinde görülmesi ve fay yüzeyleri önünde Holosen birimlerin kesintiye uğramasının, Eskişehir fay zonunu oluşturan segmentlerin bu bölgede aktif olduklarını ve son 10.000 yılda birkaç defa büyüklüğü 6'nın üzerinde deprem oluşturabildiği ifade edilmiştir.

1999 Kocaeli depremi sonrası meydana gelen yapısal hasarlara zemin davranışının etkisini belirlemek amacıyla Yılmaz ve Özsoy (2002), jeoloji, zemin özellikleri ve hasar görmüş yapıları ilişkilendirmişlerdir. Tün (2003), çalışmasında Eskişehir yerleşim yeri için belirlediği çalışma alanında olası bir depremin etkilerini ele alarak, zemin koşulları ile kayma dalgası (v_s) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Elde edilen v_s değerlerini kullanarak NEHRP'e göre zemin sınıflaması yapmış ve zeminin doğal titreşim periyodunu yorumlamıştır.

Bölgede CBS tabanlı ilk uygulamalardan bir tanesi Beliceli (2006) çalışmasıdır. Araştırmada SPT-N darbe sayısı ve SCPT deneyinden elde ettiği uç direnç (q_c) gibi zeminlerin rijitliğini ifade eden parametreler ile kayma dalga hızına bağlı olarak ampirik yaklaşımlarla yerel zemin koşullarındaki değişimin büyütme üzerine etkisini incelenmiş ve zemin büyütme parametrelerinin bölgedeki değişimini CBS tekniklerini kullanılarak modellemiştir. Benzer bir uygulama Orhan (2009) tarafından Eskişehir il merkezi önemli bir bölümünü oluşturan alanda jeolojik değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bu çalışmada da bir öncekine benzer, arazi ve laboratuvar verileri aracılığı ile yerleşim alanındaki temel zemininin mühendislik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen özelliklere bağlı olarak CBS tabanlı imar planı modeli ortaya konmuştur. Akdeniz (2012), literatürde tüm zeminler için SPT-N'e bağlı verilmiş olan ampirik yaklaşımları, CBS ve istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda literatürde SPT-N'e bağlı verilmiş olan yaklaşımlardan Eskişehir zeminini için en yakın olanı belirlemiştir. Mutlu (2012), inceleme alanı olan Eskişehir'de arazide sismik kırılma ve mikrotremör ölçümleri ile bölgeye ait sismik dalga hızı değerlerini belirlemiştir. Çalışmasında şehir merkezini temsil eden 30 m derinlik için literatürde önerilen ampirik yaklaşımları kullanarak ortalama kayma dalga hızı, zemin büyütmesi ve zemin hâkim periyotu değerlerini hesaplamıştır. Yerel zemin koşullarının etkisini belirlemek amacıyla bir diğer çalışmada Tün (2013), mikrotremör ölçüm yöntemlerinden yararlanmıştır. H/V spektral oran ve Uzaysal Özilişki (SPAC) yöntemlerini de kullanarak, hâkim frekans, anakaya derinliği ve kayma dalga hız yapısını belirlemiştir. Toplanan verileri kullanarak çalışma alanı için zemin hâkim frekans haritası oluşturmuştur.

Pekkan vd. (2015) çalışmalarında Eskişehir için sınıvlaşma ve amplifikasyon faktörü değerleri üzerine çalışmıştır. Sınıvlaşma değerlerini Iwasaki vd. (1978, 1982) 'nın önerdiği

sondaj çalışmalarından LI (sıvılaşma indeks) değerlerini hesaplayarak belirlemişlerdir. Çalışma alanı için Borcherdt vd. (1991)'nin önerdiği sondaj verileri ve sismik kırılma değerlerini kullanarak kayma hızları ile hesaplanan amplifikasyon faktörü değerlerini elde etmişlerdir. Elde edilen iki parametreyi basit ağırlıklandırma yöntemi (IDW)' ni kullanarak haritalamışlardır.

Tün vd. (2016) Eskişehir havzasının anakaya derinliğini belirleyerek arazinin derinlik-anakaya oranını haritalamışlardır. Çalışmalarında Eskişehir havzasının geometrisinin yarı graben olduğunu, anakaya derinliğinin 1000 m olduğunu öne sürmektedirler.

Özmen (2018), Eskişehir ili ve çevresinde 1900-2018 yılları arasında meydana gelmiş ve büyüklükleri 4.5 ve 4.5'ten büyük deprem verilerini kullanarak sismik tehlike analizleri yapmış ve CBS tabanlı sismik tehlike haritaları oluşturmuştur.

Dinamik yükler altında zemin davranışı, zemin tepki analizleri kapsamında son 30 yıldır farklı boyutlarıyla ele alınmıştır. (Bard,1994; Kudo, 1995; Pitilakis ve Anastasiadis, 1998; Bard, 1999; Mulas, 2002; Kawase, 2003; Pitilakis, vd., 2004.).

Zemin sıvılaşma analizinde Shiomi vd. (2000) eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerini karşılaştırmıştır. Ramberg- Osgood'un gerilme- şekil değiştirme ilişkisi ile doğrudan entegre olan bir yöntemle doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer doğrusal analiz yönteminin kalıcı deformasyon hesaplarında, doğrusal olmayan analiz yöntemine göre yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Hashash ve Park (2001), doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yer hareketi yayılımını Mississippi nehri bölgesi için değerlendirmiştir. 100, 500 ve 1000 m kalınlıklarındaki üç ayrı zemin tabakaları için yer hareketini belirlemede azalım katsayısı belirleyerek yeni bir model geliştirmişlerdir.

Türkiye coğrafi sınırları içerisinde eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bir tanesi Yağcı (2005) tarafından, Balıkesir ili sınırlarında bulunan bazı mahalleler için mikrobölgeleme çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada olası bir yer hareketi için kaynak, yol ve yerel zemin koşullarının etkisini belirlemek amacıyla jeolojik, jeofizik ve geoteknik veriler

birleştirilerek, yer hareketi parametrelerindeki değişim incelemiş, inceleme sahasındaki her bir zemin grubu ve zemin davranışı ayrı ayrı tanımlanmış, temsili zemin profilleri modellenmiştir. Olasılıksal yöntem kullanılarak hesaplanan tasarım depremi için farklı azalım ilişkileri kullanılarak, referans zemin yüzeyi için eş tehlike spektrumları belirlemiş ve spektrumlar ile uyumlu sentetik yer hareketi kayıtları üretilmiştir. Benzer bir çalışma İnce (2005) tarafından, İstanbul (Fatih ve Eminönü ilçeleri) bölgesi için gerçekleştirilmiştir. Çalışma yerel zemin koşullarının etkisini belirlemek amacıyla; zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma tehlikesi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Veriler CBS ortama aktarılarak inceleme alanının yer sarsıntısı, sıvılaşma tehlikesi ve heyelan tehlikesi haritaları hazırlanmış ve bölgede geçmişte meydana gelmiş depremler sonucu oluşan hasarlar kapsamında değerlendirme yapılmıştır. Geçmiş depremlerde oluşan hasarların yer sarsıntısı haritaları ile uyumlu olduğu, bazı bölgelerdeki hasarlarda zemin sıvılaşmasının katkısının olabileceği gözlenmiştir. Yine İstanbul ili için Küçükçekmece-Sefaköy bölgesinde, Alim (2006) tarafından zemin davranışını incelemek amacıyla güney-kuzey ve batı-doğu doğrultusunda alınmış kesitler üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında zeminin dinamik davranışının, yerel zemin koşulları ve arazi topografyası ile farklılaştığı gözlenmiştir. Kale (2008), İstanbul ili Zeytinburnu ilçesi için, deprem sırasında oluşacak yüzey hareketlerinin değişimini bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri ile belirlemiştir. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizlerde EERA yazılımı, doğrusal olmayan analizler için ise Deepsoil yazılımı kullanılmıştır. İki boyutlu analizlerde kullanılan Plaxis yazılımında kullanılan viskoz sönüm parametreleri, Deepsoil yazılımından elde edilmiştir. Çalışma sonucunda zemin yüzeyi yer hareketi özelliklerinin değişen yerel zemin koşulları ve arazi topografyası ile farklılaştığını görülmüştür. Benzer bir uygulama İstanbul Bakırköy ilçesi için Karasu (2009) tarafından mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yapılmıştır. Çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından 50 m x 50 m seçilen 131 adet noktada yapılan, derinlikleri 30 m ile 40 m arasında değişen sondajlar ve sismik kırılma deneylerinden yararlanılmıştır. Bölgedeki farklı zemin koşullarını temsil eden üç hücre için, Deepsoil yazılımı ile eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik davranış analizleri yaparak, sonuçları EERA'dan elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Sismik tehlikenin yüksek olduğu Ege bölgesinde Eskişar (2008), sondaj verilerinden geoteknik veri tabanı oluşturarak, inceleme alanının deprem etkisi altındaki davranışını

belirlemek amacıyla bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapmıştır. Bunun için, inceleme alanına yakın mesafede yer alan 1977 İzmir Depremi (M=5,3), 2003 Urla Depremi (M=5.6) ve 2005 Urla Depremi (M=5.9)'nin ivme-zaman kayıtlarını kullanmıştır. Çalışmada kullanılan üç depremin frekans içeriği sabit tutularak, büyüklüğü 6.5 olacak şekilde düzenlemiş ve elde edilen üç adet senaryo deprem için analizler yapmıştır. Analizler sonucunda elde ettiği dinamik zemin özelliklerinden afet risk durumunun (sıvılaşma, oturma vb.) sahadaki değişimini haritalamıştır. Aynı zamanda saha içinde mikrotremör ölçümler yapılarak zemin hâkim periyodu ve zemin büyütmesi değerlerini belirlemiştir.

Tönük (2009), zemin davranış analizi üzerine kullanılan yöntemleri incelemiştir. Çalışma kapsamında; girdi ivme zaman kayıtlarının, uygulanan numerik yöntemin, gerilme ve frekans bağımlı doğrusal olmayan zemin davranışının analiz üzerindeki etkilerini incelemiş, vaka analizlerine dayalı yöntemler önermiştir. Tabakalı zemin profillerinin davranışları, eşdeğer doğrusal ve modifiye eşdeğer doğrusal yöntemler ile analiz edilmiştir.

Haşal (2009), çalışmasında gerçek ve hipotetik iki boyutlu modeller kullanarak, farklı zemin koşullarında ve farklı frekans içerikli kuvvetli yer hareketleri altında zemin tabakalarının bir ve iki boyutlu dinamik davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, yüzey ve yüzey altı topoğrafyasında ani değişikliklerin bulunduğu tepe ve ova-vadi kenarı gibi bölgelerde bir boyutlu dinamik analizlerin her zaman yeterli olmadığını, buna bağlı olarak ikinci boyut etkisinin dikkate alınması gerektiği öne sürülmektedir.

Üsküloğlu (2010), 1999 Marmara depremini kayıt eden 12 farklı istasyondan aldığı verileri EXSIM (Motazedian ve Atkinson (2005)) programı ile modellemiştir. Çalışma sonucunda Yalova, Çiftlikköy ve Çınarcık ilçeleri için anakaya ve alüvyon üzerinde yüzey ortalama ivme değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca Yalova çevresi için en büyük spektral ivme değerinin yaklaşık 0.2 ile 0.4 sn aralığındaki periyotlarda olduğunu belirlemiştir.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri üzerine Hashash vd. (2010), zemin davranış analizlerinde koşullara bağlı parametre seçimini incelemişler ve mühendislik uygulamalarında dinamik özelliklerin pratik olarak belirlenmesine etkin bir yaklaşımda bulunmuşlardır.

Mohammad Hosseini vd. (2010), deprem sırasında zemin davranışını belirlemek amacıyla, bir boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerini sahaya uygulayarak elde ettiği sonuçları değerlendirmiştir. Çalışmada EERA programından elde edilen sonuçlar arasındaki benzer ve farklı yönleri belirlemiştir. Kuvvetli yer hareketi etkisi altında zeminin doğrusal davranmaması durumunda bir boyutlu (1D) eşdeğer doğrusal olarak modellenmesinin, amplifikasyonlarda büyük farklılıklara neden olduğu, bu sebeple amplifikasyon seviyesi, rezonans frekansları ve histerik gerilme-şekil değiştirme davranışının doğru hesaplanmadığını gözlemiştir. Ayrıca sahaya özel zemin davranış analiz çalışmalarında, zemin özelliklerinin detaylı değerlendirilerek buna göre uygun yöntemin seçimini tavsiye etmektedir.

Çokar (2012), bir boyutlu zemin davranış analizlerinde eşdeğer doğrusal analiz yöntemi için SHAKE2000 yazılımını kullanmıştır. Çalışmada yüzeydeki zemin davranışlarını ortaya koymak için, aynı deprem kaydının anakaya ve zemin yüzeyi sonuçlarını değerlendirmiş ve çalışma alanında mevcut zemin tabakalarının deprem etkisini yüzeyde yaklaşık üç kat büyüttüğünü gözlemlemiştir. Erdil (2013), kum ve kil zeminler için Van deprem kayıtları, zemin koşulları ile kayma dalgası hızlarını (v_s) kullanarak zemin yüzeyindeki ivme-periyot, hız-periyot, deplasman-periyot ilişkilerini araştırmıştır. Çalışmasında üç farklı anakaya kayma dalgası hızı değerlerini kullanmıştır. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler için EERA yazılımını kullanarak, kayma dalgası hızlarından zemin hâkim periyot değerlerini elde etmiştir. Spektral ivme-periyot, hız-periyot, deplasman-periyot değişimlerini karşılaştırılmış ve risk tahminleri yapmıştır.

Afacan vd. (2019) çalışmasında santrifüj deneyleri sonucunda geliştirdikleri model ile yumuşak kil tabakalarında bir boyutlu yer tepki özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında hız düzeltmeli drenajsız kesme dayanımını kullanarak yaptıkları eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarından elde ettikleri PGA değerlerinde doğrusal olmayan analiz sonuçlarından belirlediklerine göre neredeyse 2 kat artış olduğunu görmüşler, bu nedenle büyük gerilme koşullarında eşdeğer doğrusal yöntemin üzerine doğrusal olmayan modellemeyi önermişlerdir.

Adampira vd. (2014) sivilaşma riski olan İran Assaluyeh bölgesi LNG liman proje sahası için bölgeye yakın olan fayda üretilmiş bir depremi kullanarak eşdeğer doğrusal ve

doğrusal olmayan yöntemleri Deepsoil v5 yazılımını kullanarak karşılaştırmıştır. Faya yakın bölgeler için eşdeğer doğrusal analiz yönteminin doğru sonuçlar verebildiğini, ancak sıvılaştırılabilir zeminler için eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle birlikte doğrusal olmayan analiz yönteminin de yapılarak sonuçlarının karşılaştırılmasını önermişlerdir.

Khanbabazadeh (2014), farklı anakaya eğimine, zemin cinsine ve jeolojik düzensizliklere sahip ovalarda zemin davranışının etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada tek ve tabakalı zeminlerden oluşan alüvyon ovaların farklı özelliklere sahip anakaya hareketi etkisi altında gösterdikleri davranışın, maksimum zemin büyütmesi ve rezonans periyodu açısından birbirinden farklı olduklarını görmüştür.

Aksu (2014), çalışmasında Erzurum şehir merkezinde, kuzey-güney doğrultulu bir hat boyunca yer alan yapı stoğunu, zemin ve yapı periyodu açısından değerlendirmiştir. Bu amaçla, çalışma alanının zemin özellikleri ve dinamik zemin davranışını incelemiş; sondaj verileri ile jeofizik çalışmalardan elde edilen verileri kullanarak bölgenin zemin sınıflaması, zemin büyütmesi, zemin hâkim periyodunu belirlemiştir. Çalışmada iki farklı büyüklükte deprem verisini kullanarak, bu depremlerin oluşturduğu deprem periyodunun etki ettiği zeminin ve yapının; zemin hâkim periyodu ve yapı hâkim periyodu arasındaki ilişkiyi değerlendirilmiş ve olası riskleri ortaya koymuştur.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemiyle saha davranışının detaylı analizi Afacan (2014) tarafından, yumuşak kil tabakaları için geniş bir gerilme aralığında laboratuvarında santrifüj deneylerde farklı deprem kayıtlarının uygulanması sonucu ortaya konmuştur. Çalışmada, Pasifik Deprem Araştırma Merkezi (PEER)'nden elde ettiği deprem kayıtlarının ölçekli sürümlerini içeren bir dizi yer hareketi kullanmış ve tek boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 saniyenin altındaki periyotlar için doğrusal olmayan davranışın daha etkili olduğu, ancak uzun periyotlarda doğrusal davranışın etkisinin daha büyük olduğunu belirlemiştir.

Mirshakari ve Ghayoomi (2015) çalışmalarında kısmi doygun zeminlerin doğrusal olmayan davranış analizinde yer alan zorlukları belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında Northridge deprem hareketini ölçeklendirerek doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında incelenen kısmi doygun zemin gruplarında

eşdeğer doğrusal analizden elde ettikleri büyütme değerlerinin doğrusal olmayan analiz sonucundan elde ettiklerine göre önemli ölçüde yüksek olduğunu gözlemişlerdir.

Aslan (2015) tarafından yapılan çalışmada, 13 Mart 1992 Erzincan depremi sırasında alınan deprem ivme kaydını kullanarak yerel zemin koşullarının büyütme etkisini incelemiştir. Çalışmada eşdeğer doğrusal analizler SHAKE yazılımı ile yapılmıştır. Anakaya seviyesi için hesaplanan ivme-zaman değerlerini kullanarak diğer tüm zemin profillerinin davranışlarını incelemiştir. Aynı bölge için Dönmezçelik (2015), Erzincan ilinde bir boyutlu zemin büyütme analizleri yapmıştır. Erzincan'da; 1960-1980 yılları arasında farklı tarihlerde Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından açılan 275 m derinliklere varan sondaj kuyusu verilerinden, kuyu derinliğince elde edilen zemin tabakaları için, bir boyutlu analizler yapmıştır. Çalışmasında sonuç olarak; taban hareketleri ve elde edilen yüzey hareketleri, ivme-zaman ve ortalama PSA (pseudo spektral ivme) grafikleri oluşturarak karşılaştırmalar yapmış, belirli periyotlar için büyütme oranlarını hesaplamışlardır.

Akın vd. (2016) Tokat- Erbaa ilçesi için bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle zeminin dinamik özelliklerini belirlemişlerdir. Bunun için çalışma alanını 500×500m'lik gridler halinde ayırarak her bir grid alanı için zemin davranış analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Carlton ve Tokimatsu (2016) eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemleri karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda eşdeğer doğrusal yöntemle oluşturulan spektral ivmelerin 0.1 sn'den daha düşük periyotlar ve 0.2 sn ile 2.0 sn arasında olan periyotlar için doğrusal olmayan yöntemlerden daha yüksek sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Benzer bir çalışma Pruiksma (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle elde edilen sonuçlarda spektral ivmenin 0.01 sn aralığında önemli ölçüde arttığını vurgulamışlardır.

Türkiye sınırları içinde diğer bir çalışma Beyhan vd. (2017) tarafından İstanbul Marmaray projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında elde ettikleri davranış spektrumlarını ve parametrelerini Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde öne sürülen değerler ile karşılaştırmışlardır. Bazı yerlerde elde ettikleri değerlerden yola çıkarak, yönetmeliğe göre Z3 olan zemin sınıfının Z4 olmasının daha uygun olduğunu belirlemişlerdir.

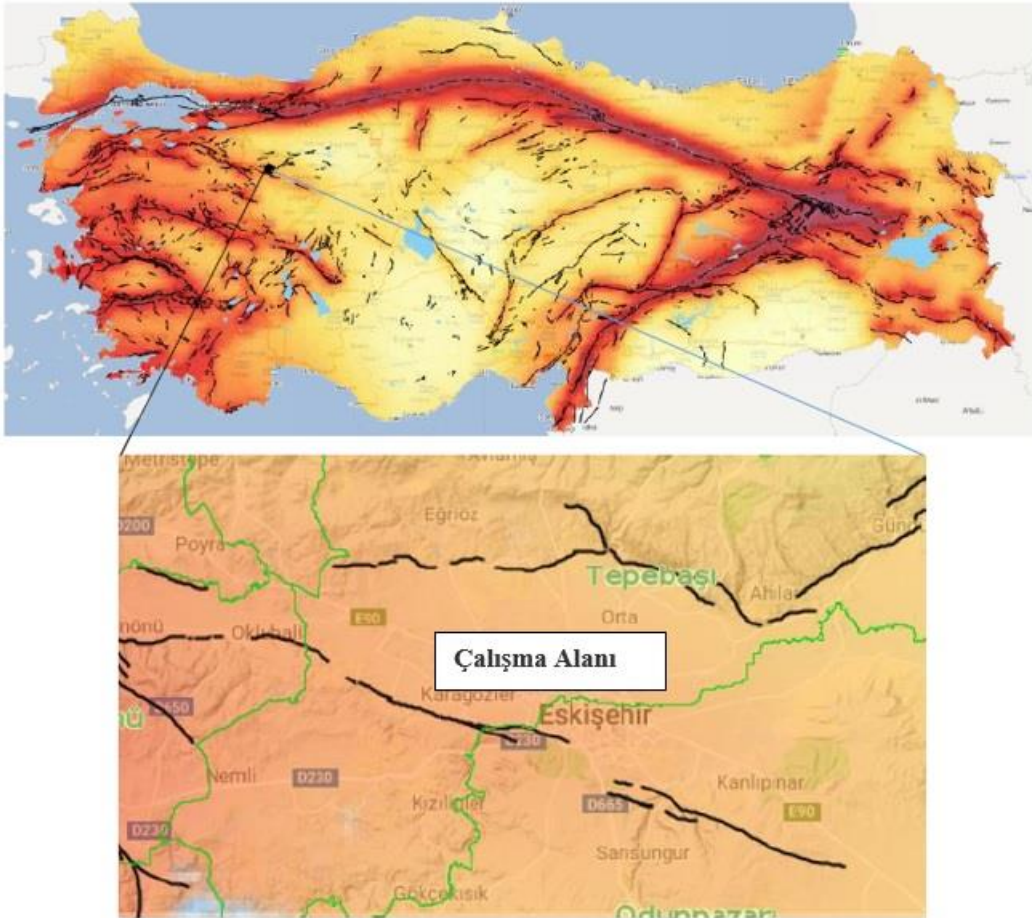
Edinçliler ve Tunçay (2018) Bodrum bölgesi için Kos ve Gökçeada depremlerini kullanarak Deepsoil yazılımında iki analiz yöntemini karşılaştırmışlar ve farklı periyotlarda, farklı PGA değerleri elde etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda doğrusal olmayan analizde, eşdeğer doğrusal analizlere kıyasla daha düşük PGA seviyelerinin görüldüğünü belirlemişlerdir. Edinçliler ve Çalıkoğlu (2018), çalışmasında İzmir şehrinde Karşıyaka, Mavişehir ve Bornova'nın üç bölgesi için değerlendirmeler yapmışlardır. Bir boyutlu dinamik analiz yöntemlerinden doğrusal olmayan analiz yöntemini Gökçeada ve Bodrum deprem verilerini kullanarak yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda İzmir ili "Çiğli İlçesi" ve "Karşıyaka İlçesi" nin zemininin sınıflandırılabilir olduğu alanlarda saha tepkilerini iki farklı deprem kaydını kullanmışlar ve her bir bölge için spektral ivme deperlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda deprem özellikleri ve zemin profillerinin değişimine bağlı olarak, yüzey ivmeleri ve tepki spektrumlarında farklılıklar bulunduğunu belirtmişlerdir.

Koçer vd. (2018), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve 2018'de yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'de tanımlanan spektral ivme ve zemin hakim periyotu değerlerinin Kocaeli, Eskişehir, Kayseri ve Konya olarak belirlenen iller için Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) kurumunun internet sitesinde yer alan merkez koordinatlarını dikkate alarak tüm yerel zemin grupları için karşılaştırmasını yapmışlardır. Kocaeli ili hariç, diğer illerde en büyük spektral ivme değerinin en kötü zemin grubunu temsil eden ZE 'de meydana geldiğini, Kocaeli ilinde ZC zemin grubunda en büyük spektral ivmenin elde edildiğini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre TBDY 2018'in TDY 2007'ye göre daha güvenli tarafta kaldığını öne sürmektedirler.

3. ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Coğrafi Konumu ve Yüzey Şekilleri

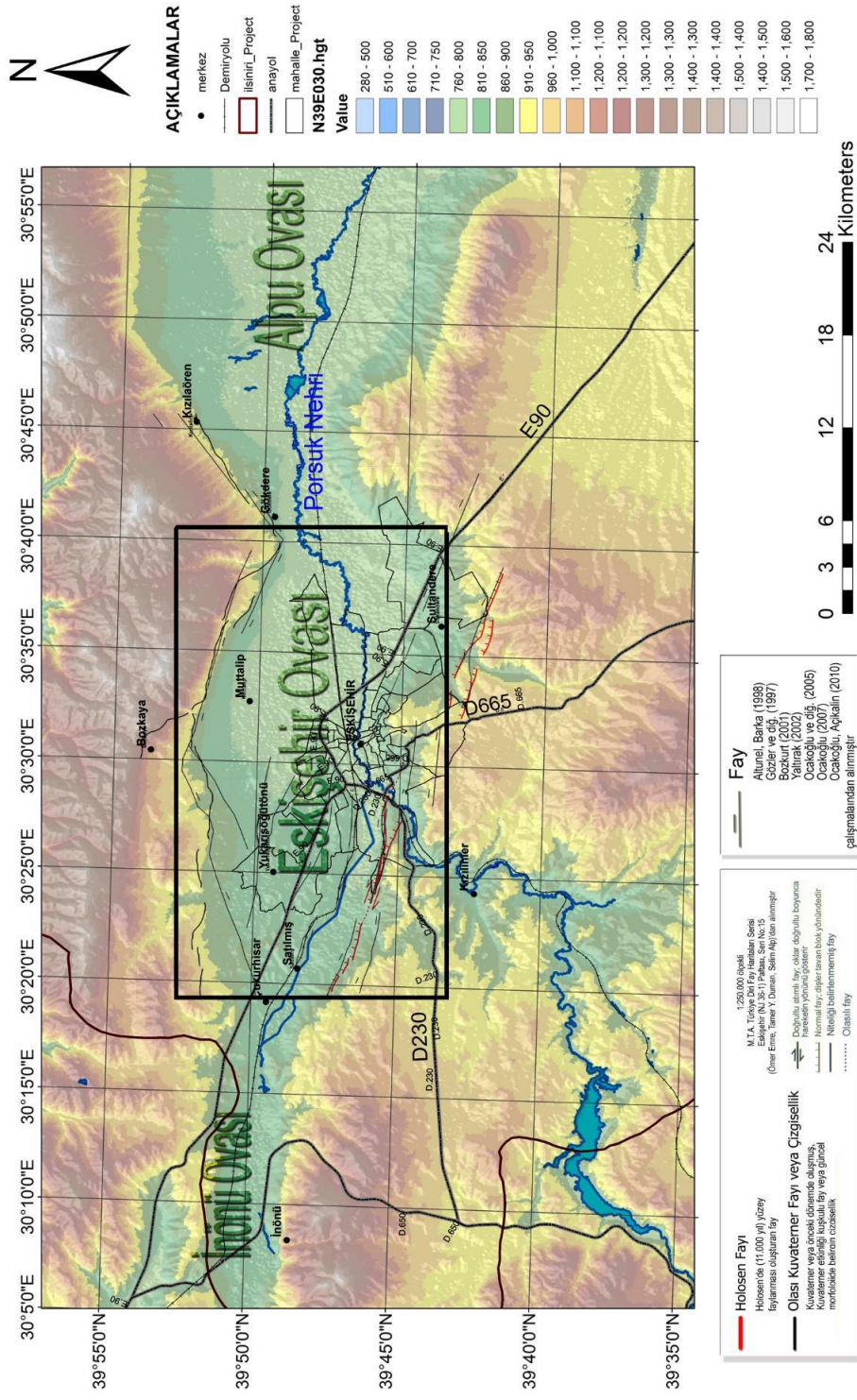
Çalışma alanı olan Eskişehir, İç Anadolu bölgesinin kuzeybatısında yer almaktadır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli i25a4 pafta içerisinde yer almakta olup, yaklaşık 283.200-290.700 doğu boylamları ile 4.402.300-4.406.300 kuzey enlemleri (UTM Zon 36, ED50) arasında bulunan yaklaşık 30 km² lik bir alanı kaplamaktadır. Bölgede Eskişehir iline güneybatıdan giren ve şehrin merkezinden geçerek doğusundan çıkan Porsuk Nehri bulunmaktadır. Şehir 790 ile 1.010 m arasında değişen bir yüksekliğe sahiptir. (Şekil 3.1). Eskişehir havzasının topoğrafik yapısını Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlardan oluşturmaktadır.



Şekil 3.1 Çalışma alanı lokasyon haritası

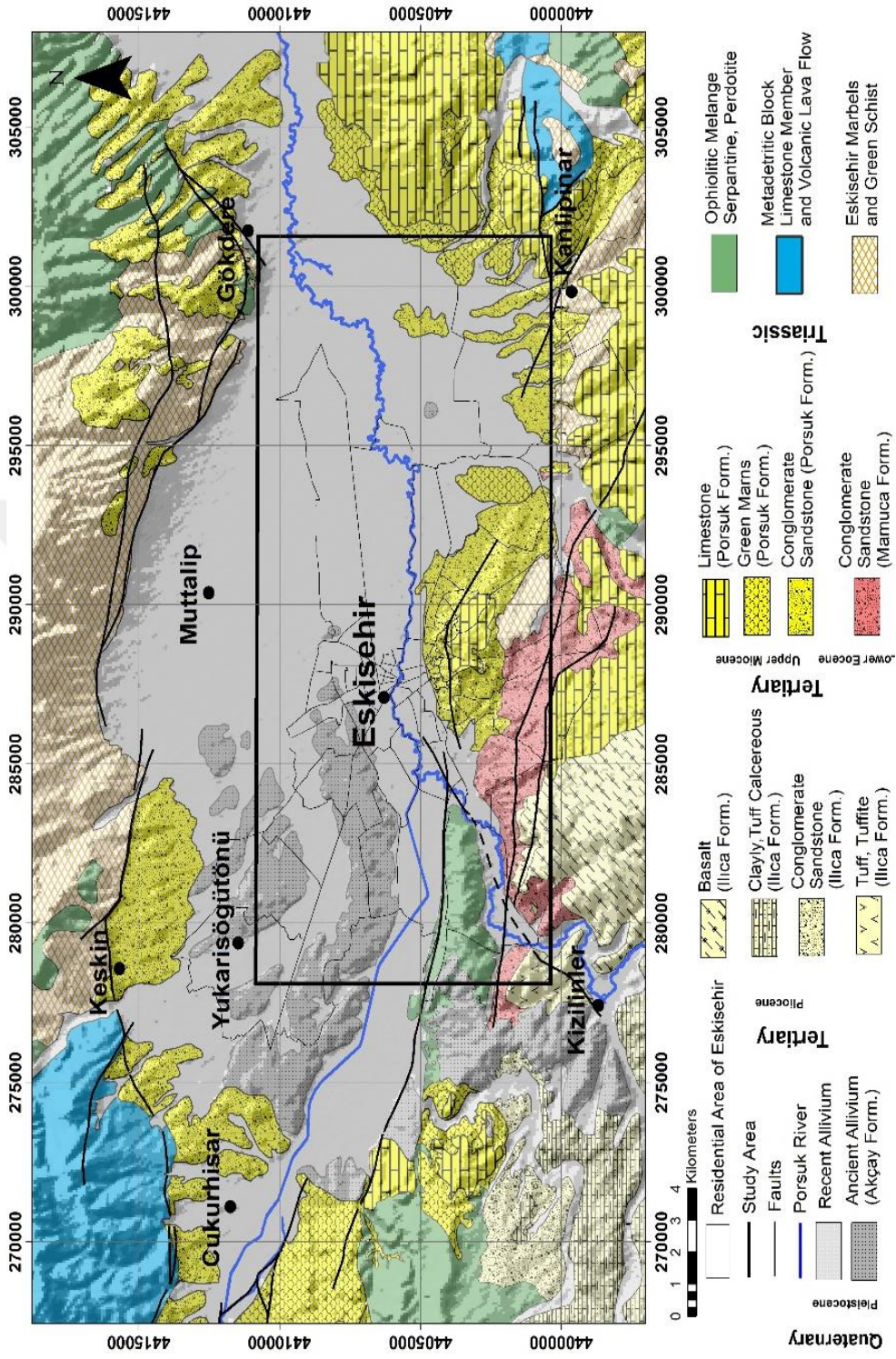
İnceleme alanının en büyük akarsuyu Porsuk Nehri'dir. Bu nehir çalışma alanına güney-batıdan girerek, doğudan çıkmaktadır. İnceleme alanının diğer önemli akarsuyu ise Porsuk Çayı'nın yan kolu olan Sarısu Nehri'dir. Günümüzdeki morfolojisini Neotektonik dönemde kazanan Eskişehir, bölgenin morfolojik gelişimi ve tektonik yapısı tarafından kontrol edilmektedir. Bölgede doğu-batı gidişli fayların etkisiyle, aynı yönde uzanan doruklar ve çöküntü ovaları oluşmuştur. Eskişehir ve İnönü ovaları bunun en tipik örnekleridir (Ölmez ve Yücel, 1985). İnceleme alanı genel olarak alüvyon üzerinde olduğundan, düşük eğimli topoğrafyaya sahiptir, ancak güneyinde önemli yükseltilerde bulunmaktadır (Şekil 3.2).

Mevcut nüfusu günümüzde yaklaşık 860000 olan Eskişehir, sanayileşme ve kentleşmenin gün geçtikçe ilerlediği Türkiye'nin önemli şehirlerden bir tanesidir. Ancak yaşanan bu kentleşme sürecinde yeni yerleşim alanlarının genellikle yeni alüvyon zemin olarak tanımlanmış bölgede yoğunlaştığı görülmektedir (Avdan vd., 2006 a; Akdeniz vd., 2011, Tün, 2013, Civelekler vd., 2020).



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve sayısal yükseklik modelini (SYM) gösteren harita (Tün, 2013)

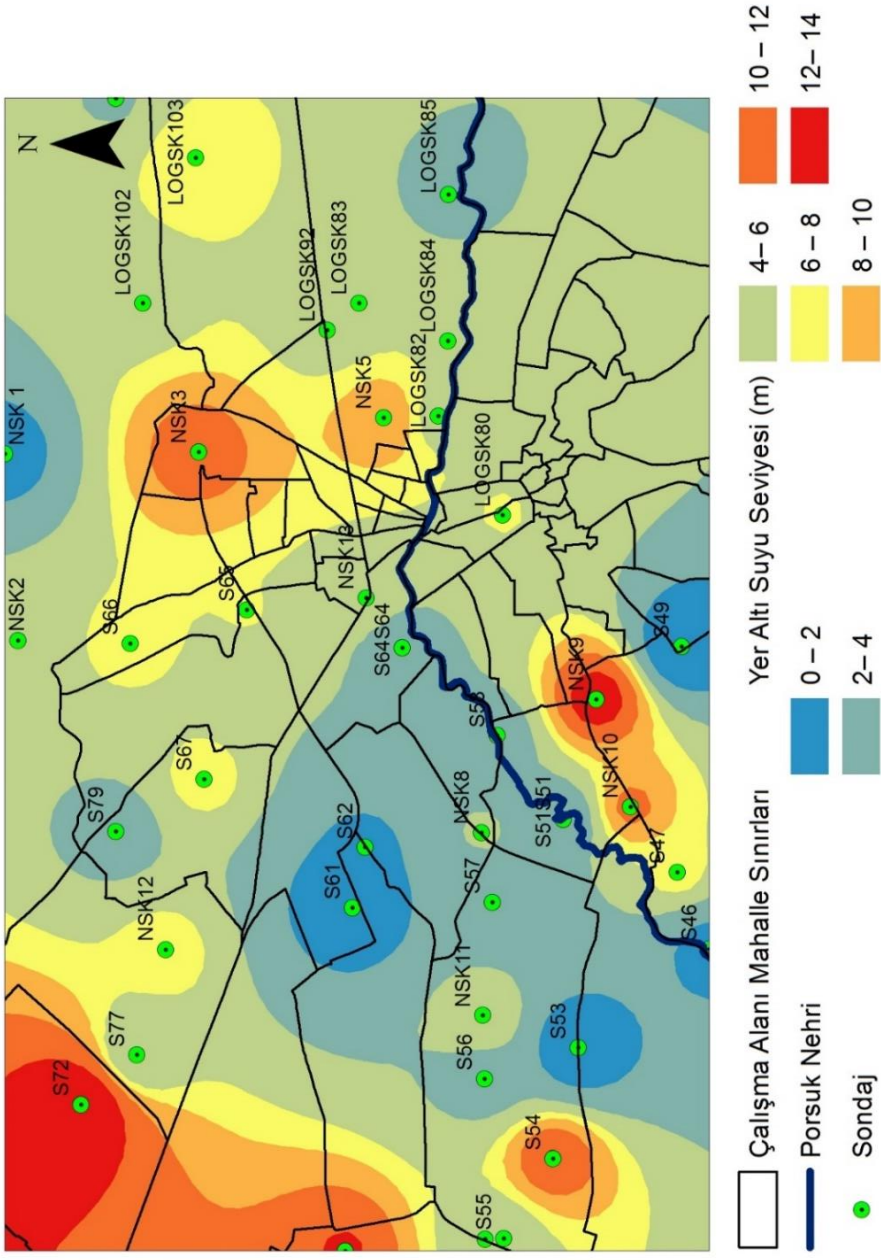
Çalışma alanını temsil eden bu formasyonlar yaşlıdan gence doğru özetlendiğinde, Karkın Formasyonunda Altkarbonifer-Üst Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları ve metadetritikler, Mamuca Formasyonunda Eosen yaşlı Kireçtaşı, kil- marn aralanmaları, konglomera ve kumtaşı tabakaları, Porsuk Formasyonunda, Pliyosen yaşlı Ilıca Formasyonuna ait killi ve tüflü kalkerli seviyeler, Ilıca Formasyonunda Pliyosen yaşlı Kireçtaşı, man-kil, bazalt- andezit, tuf-tüfit, aglomera, konglomera ve kumtaşı seviyeleri, Porsuk Formasyonunda Üst Miyosen yaşlı konglomera-kumtaşı, marn ve kireçtaşı birimleri ve Akçay Formasyonunda Pleyistosen yaşlı çakıl, kum, silt ve kil seviyelerinden oluşmaktadır. Günümüze kadar Eskişehir'in jeolojisi konusunda yapılmış olan tüm çalışmalar göz önüne alınarak jeoloji haritası da güncellenmiştir (MTA Raporları, Esen vd. 1976, Orhan 2005, Güney vd. 2013) (Tün 2013) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çalışma alanı jeolojisi haritası (MTA Raporları, Esen vd., 1976, Orhan 2005, Güneş vd., 2013, Tün 2013).

3.3. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri

Eskişehir ve çevresinde yer alan en önemli akarsular Sakarya Nehri ve Sakarya Nehri'nin bir kolu olan Porsuk Nehridir. Eskişehir yerleşim sınırları içerisinde olan Porsuk Nehri şehri tam ortadan ikiye bölerek ilerlemektedir (Gözler vd. 1996). Eskişehir Ovası'nda yeraltı suyu seviyesi bölgenin en yağışlı dönemi olan bahar aylarında genel olarak 0.5-7.5 m arasında değişmekte olup, bazı bölgelerde ise 20-30 m derinliklerde de bulunabilmektedir. Yağışın en az olduğu yaz aylarında ise, yeraltı suyu seviyesi şehir merkezinde 2-13 m arasında değişmektedir. İnceleme alanının kuzeybatısında yüzeyleyen Pleyistosen yaşlı Akçay formasyonu içinde yeraltı suyu seviyesi daha derinde iken, alüvyon içerisinde 5-6 m arasında değişmektedir (Tosun ve Orhan, 2007). Ayrıca Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde faylanmalara bağlı olarak çeşitli sıcak su kaynakları da bulunmaktadır. Bu kaynaklar şehir merkezinde genellikle termal kaplıcalar olarak kullanılmaktadır. Akarsu ve sıcak su kaynaklarının yanı sıra çalışma alanı ve çevresinde soğuk su kaynakları da yer almaktadır (Gözler vd., 1996). Eskişehir ovasında genel olarak Porsuk Nehri'nin ve Sarısu Çayı'nın getirmiş oldukları alüvyon çökeller yayılım göstermektedir. Porsuk Nehri ve Sarısu Çayı'nın yakınlarında yeraltı suyu seviyesi yüzeye yaklaşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında inceleme alanına ait yeraltı suyu seviyesi haritası CBS ortamında oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Bu harita detaylı incelendiğinde çalışma alanı yeraltı suyu seviyesi değerlerinin 2-14 m arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

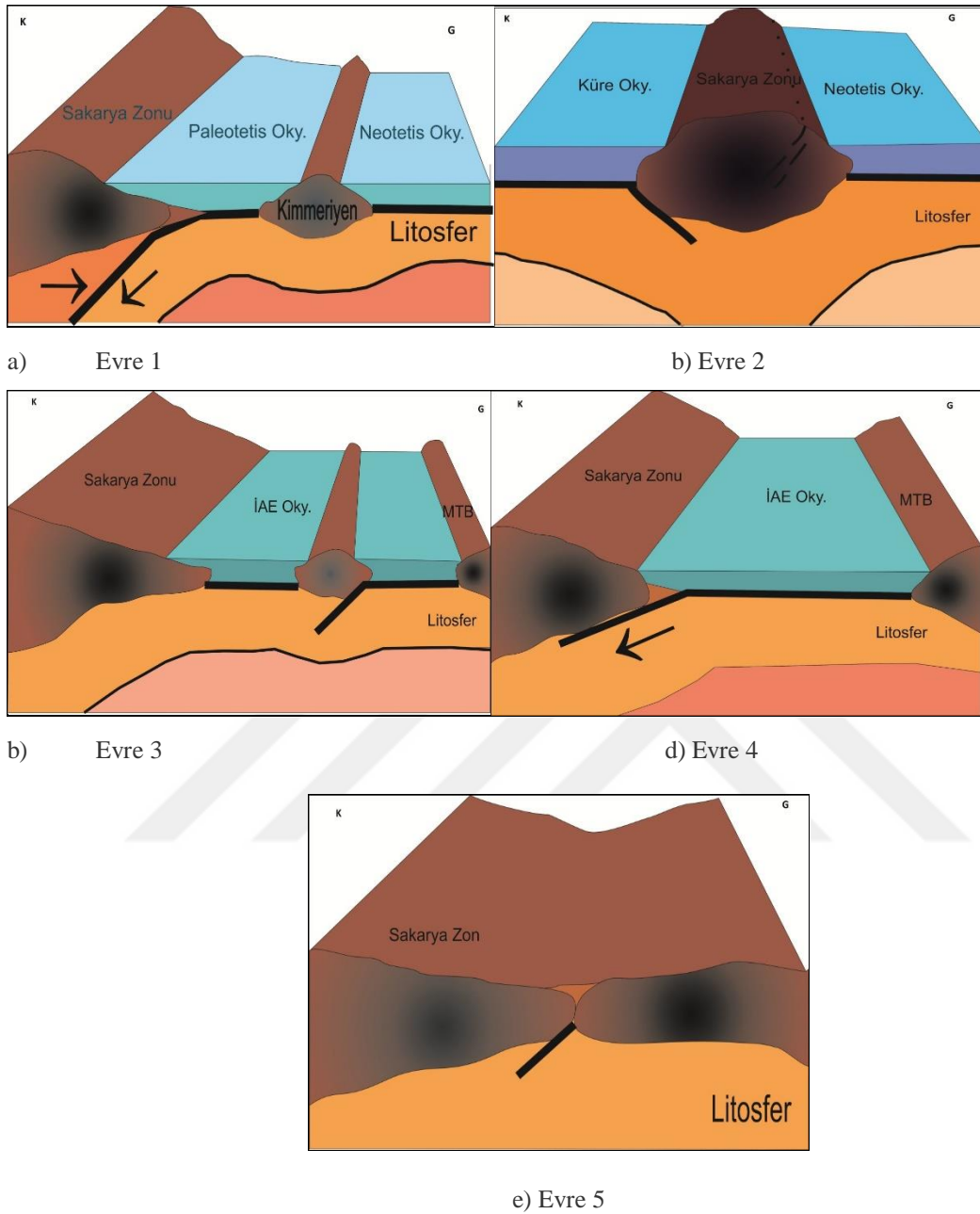


Şekil 3.5. Çalışma alanı yeraltı suyu seviyesi haritası

3.4. Çalışma Alanı Paleotektonik Dönem

Paleotektonik dönemde Türkiye'nin büyük bölümü Rheic okyanusuna kıyısı olan Gondwana süper kıtasına ait bir konumdaydı. Türkiye'nin güney bölgeleri nispeten derin, kuzey bölgeleri ise sığ bir denizle kaplanmıştır. Araştırmacılar, paleotektonik hareketlenmeler sonucu oluşan Tetis okyanusunun gelişiminin devamında Tetis tabanının kuzeyinin Gondwana kıtasının altına dalması sonucu yay adalarının kıtadan kopmasıyla birlikte aralarında Neotetis okyanusları (İntra Pontid, Vardar, İzmir-Ankara-Erzincan ve İç Toros okyanusları) oluştuğu varsayılmaktadır. Yapılan çalışmalar Geç Kretase-Eosen döneminde Neotetis okyanusunun kuzey kısmının Sakarya kıtacığı altına dalarak, Eskişehir bölgesinin temel jeolojisi ve tektoniğini oluşturduğunu, buna bağlı olarak da bugünkü konumunu kazandığını ortaya koymaktadır (Şengör, 1979, Şengör ve Yılmaz,1981).

Çalışma alanı bölgesinde Geç Kretase'de kapanan Neotetis okyanusunun kuzey kolunu temsil eden bölümü, İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı olarak tanımlanmıştır (Bailey ve Mc Callien, 1953; Okay, 1984). İki kıtanın birbirine hareketi sonucu, aralarında bulunan Tetis okyanusunun da içinde bulunduğu Gondwana kıtasının kuzeyinde çarpışma sonucu kıtacıklar (Rodop-Pontid, Sakarya kıtası ve Anatolid) oluşmuştur. Daha sonra iki büyük kıtanın birbirine yakınsaması sonucunda tetis okyanusu kapanmış ve bu kapanma sonucu Alp- Himalaya orojenik kuşağı ve orta bölümüne yerleşen tektonik birimlerden Anadolu plakası oluşmuştur (Kahraman, 2010). Tez çalışması kapsamında Eskişehir ve çevresine ait paleotektonik dönemi tüm evrelerde anlatan modeller Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

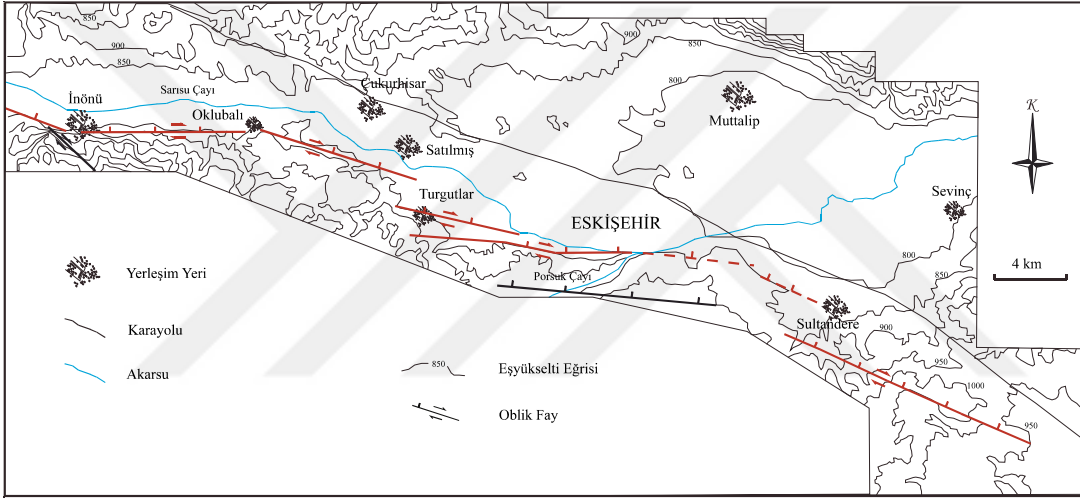


Şekil 3.6. Eskişehir ve çevresi paleotektonik dönem evreleri (Pekkan ve Civelekler tarafından oluşturuldu)

3.5. Çalışma Alanı Tektonik Durumu ve Depremselliği

Günümüze kadar çalışma alanı ve çevresinde yapılan tektonik çalışmalarda Eskişehir Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı fay olduğu belirlenmiştir (McKenzie D. P., 1978, Şengör vd., 1985, Şaroğlu vd., 1987, Barka vd., 1995, Altunel ve Barka, 1998, Tokay ve

Altunel 2005). Eskişehir ve çevresinin aletsel kayıtlara göre son 100 yılda büyük depremler yaşadığı ve bu kayıtlara göre en büyük depremin 20 Şubat 1956 ($M=6.4$)’da olduğu ve bu depremin Eskişehir şehir merkezi ve çevresinde büyük hasarlara neden olduğu bilinmektedir. Altunel ve Barka (1998) çalışmalarında Eskişehir Fay Zonu olarak tanımlanan zonun İnönü-Oklubalı-Turgutlar-Sultandere hattı boyunca birbirini takip eden segmentler halinde olduğunu belirlemiştirler. Bu zonun İnönü’nün batısında KB-GD; İnönü-Oklubalı arasında D-B; Oklubalı-Turgutlar-Eskişehir arasında BKB-DGD; Eskişehir’in güneyinde yaklaşık D-B ve Eskişehir-Sultandere arasında KB-GD doğrultusunda uzandığı düşünülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998)

Günümüze kadar çalışma alanı ve çevresinde yapılan tektonik çalışmalar ve Seyitoğlu vd., (2015) yaptıkları çalışmalarında, inceleme alanının da içerisinde yer aldığı sismik çalışmalar kapsamında son depremlerin Çukurhisar-Sultandere kesimi çevresinde meydana geldiğini, Eskişehir yerleşiminin ana sismik tehlike kaynağının Çukurhisar-Sultandere kesiminin olduğunu belirlemiştirler (Şekil 3.8).

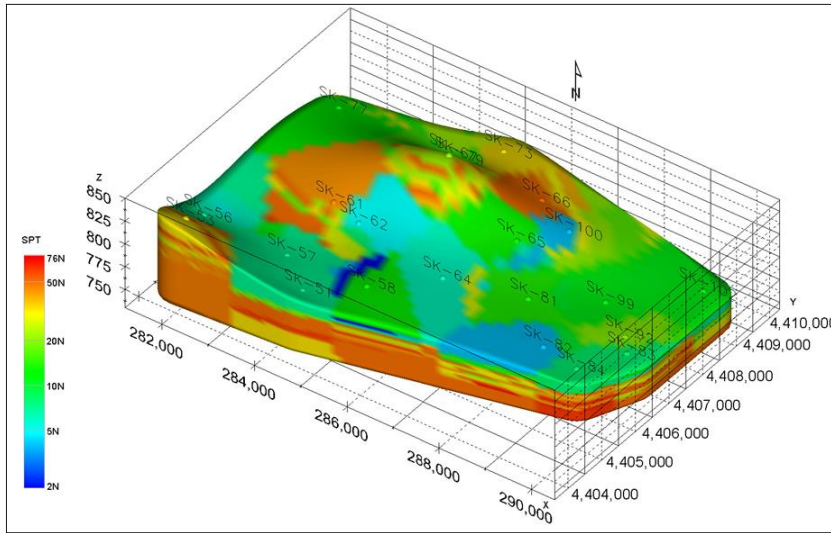
3.6. Çalışma Alanı Zemininin Geoteknik Özellikleri

Eskişehir şehir merkezinin büyük kısmında yayılım gösteren en genç formasyon olan Alüvyon, bazı araştırmacılar tarafından eski alüvyon ve yeni alüvyon olarak ikiye ayrılmaktadır.

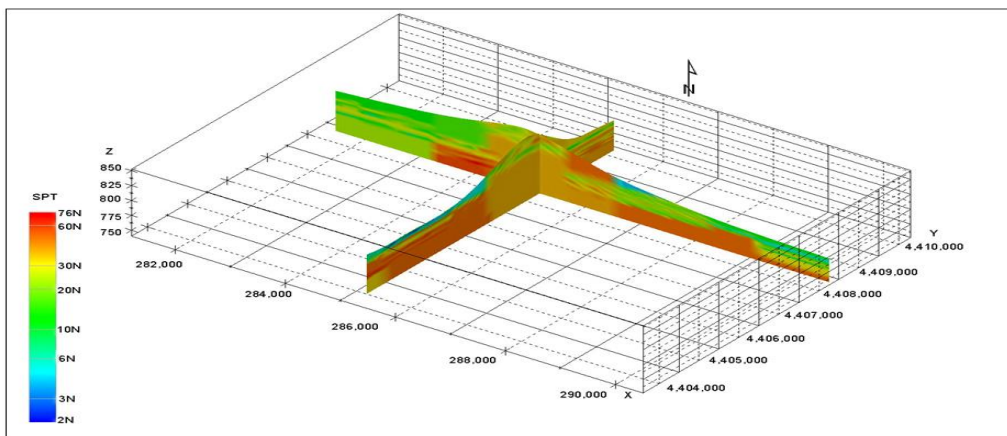
Eski Alüvyon, daha yaşlı formasyonlara ait kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Akçay Formasyonu genellikle “Eski Alüvyon” olarak adlandırılmaktadır (Orhan, 2005).

Yeni Alüvyon ise, Sarısu deresi ve Porsuk Çayı'nın getirdiği sedimanlardan oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı bu Alüvyon içinde kil, silt, kum ve çakıl seviyeleri bulunmaktadır. Tamamen Alüvyon birimiyle örtülmüş halde bulunan çalışma alanında, genel olarak yüzeyden 5-6 m'ye kadar genellikle yüksek plastisiteli kil-silt seviyeleri bulunurken daha alt seviyelerde ise kum ve çakıl seviyeleri aralanmalı olarak görülmektedir (Akdeniz vd. 2011 a). Orhan (2005) çalışmasında Meşelik mevkiindeki killerin yüksek plastisite özelliğine sahip olduğunu, çoğunlukla da kırmızı renklerde görüldüğünü öne sürmüştür. Bu yüksek plastisiteli kil seviyesi Tosun vd. (2001) tarafından Meşelik Kili olarak adlandırılmıştır. Bölgede yeni alüvyon üzerinde yapılan trench çalışmalarında elde edilen numuneler üzerinde C14 yaşlandırması sonucunda, yeni alüvyonda yer alan killi birimin yaklaşık 2540±30 yaşlarında olduğu, trench çalışmaları sonucunda açılan hendeğin alt taban yaşının 8090±40 yıl olduğu belirlenmiştir (Güney vd., 2013). Diğer bir çalışmada Eskişehir yerleşim alanı içinde yapılan 30 m derinlikli sondaj verilerinden SPT N değerlerini kullanarak, CBS tabanlı EVS-MVS yazılımında çalışma alanına özgü 3 boyutlu model oluşturulmuştur (Akdeniz vd., 2011 b) (Şekil 3.9a). Bu katı model ile Eskişehir şehir merkezinde 30 m derinlik için SPT değerlerinin değişimi konumsal olarak ortaya konmuştur. Oluşturulan modelden istenilen konumda kesitler alınarak SPT-N değerleri elde edilebilmektedir (Şekil 3.9 b). Çalışmada öncelikle inceleme alanını temsil eden doğu- batı yönünde alınan kesitler kullanılarak yeni ve eski alüvyon sınırı belirlenmiştir. 3 boyutlu modelden alınan kesitlere göre örneğin X değerlerinin 286.000 ile 290.000 arasında değiştiği alan içinde Z kotunun 770-790 m arasında yaklaşık 20 m'lik bölümünde SPT değerlerinin 6-30 arasında değişen düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. X koordinatı 286.000-285.000 olan bölge içinde ise SPT değerlerinin aniden

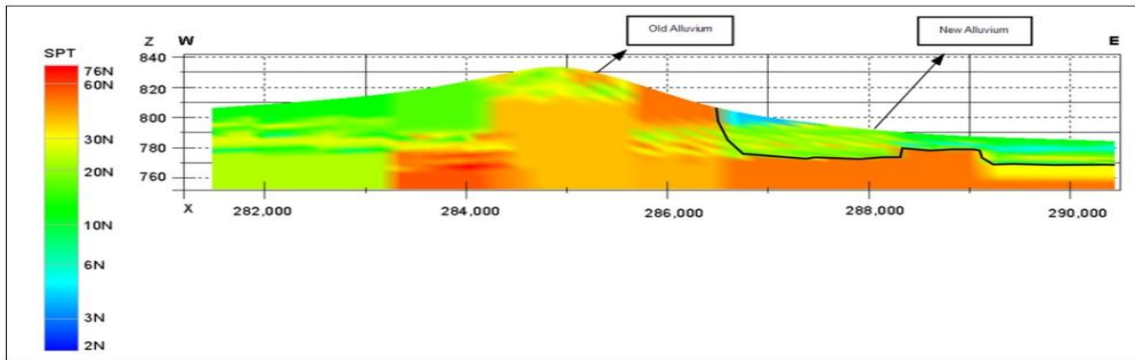
yükseldiği görülmektedir. Değişen bu sınırlara göre SPT değerlerinin düşük olduğu 286.000 ile 290.000 arasındaki zeminin üst kısmının Yeni Alüvyon olarak tanımlandığı, X koordinatı 286,000 olan bölgenin ise Eski Alüvyona ait çökellerden oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 3.9 c). Kuzey güney yönünde çalışma alanını temsil eden kesitlerde Şekil 3.9 d gösterilmiştir.



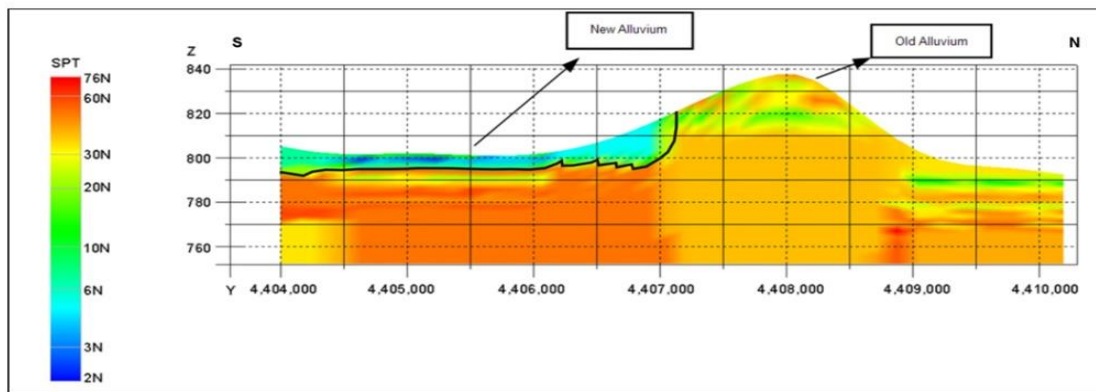
Şekil 3.9.a. Çalışma alanına ait SPT N değerleri değişiminin 3 boyutlu katı modeli (Akdeniz vd., 2011 b).



Şekil 3.9.b. Çalışma alanına ait 3 boyutlu SPT N katı modelinden istenilen koordinatlarda alınan kesitler (Akdeniz vd., 2011 b).

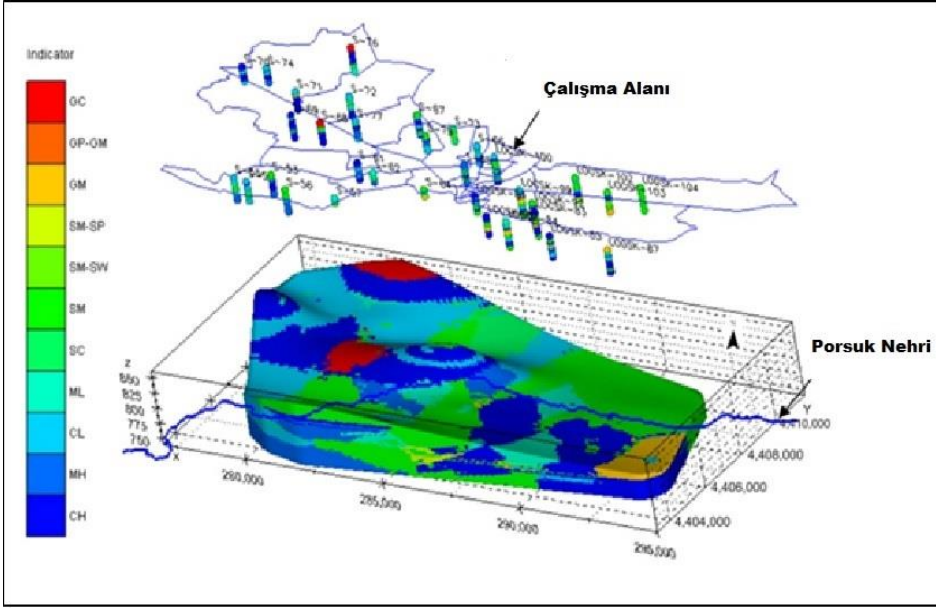


Şekil 3.9.c. 3 boyutlu SPT N katı modelinden Doğu- Batı doğrultusunda alınan kesit örneği ve Yeni Alüvyon-Eski Alüvyon sınırının belirlenmesi (Akdeniz vd., 2011 b)

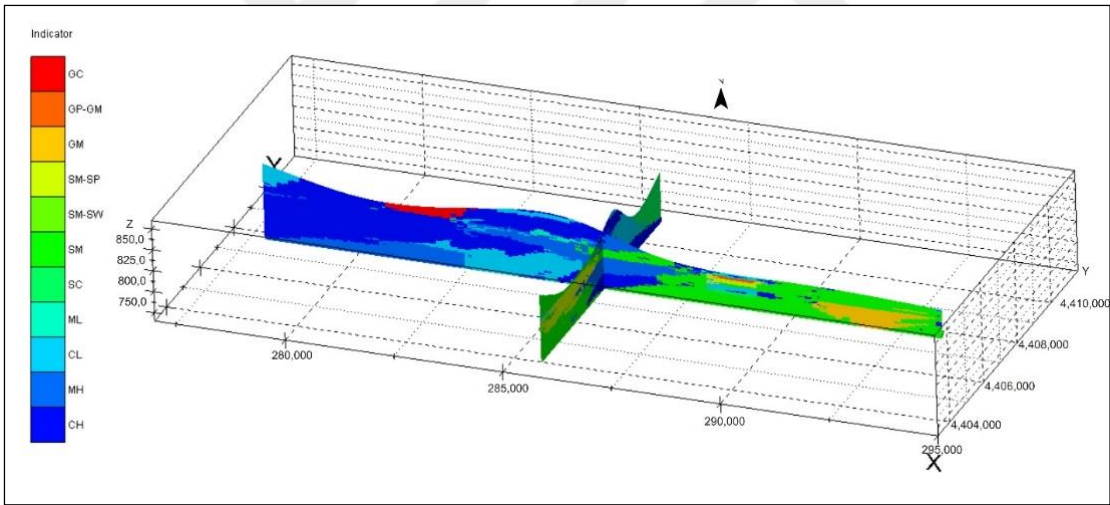


Şekil 3.9.d. 3 boyutlu SPT N katı modelinden Kuzey- Güney doğrultusunda alınan kesit örneği ve Yeni Alüvyon-Eski Alüvyon sınırının belirlenmesi (Akdeniz vd., 2011 b)

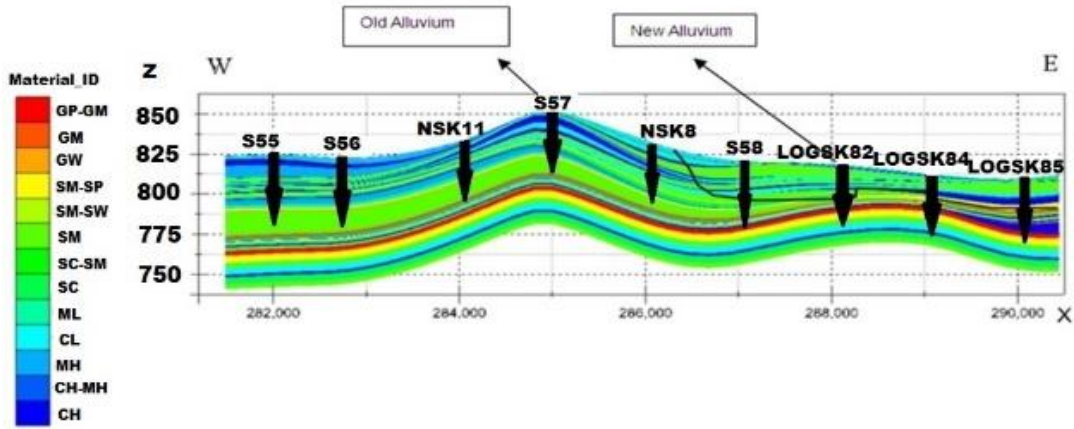
Bu çalışma kapsamında Eskişehir-Tepebaşı bölgesinin geoteknik özellikleri (SPT ve zemin sınıfı) CBS teknikleri ile 3 boyutlu olarak görselleştirilmiştir. Çalışmada oluşturulan 3 boyutlu görseller ışığında Tepebaşı bölgesi zemini için eski alüvyonun, yeni alüvyonun altında yüzeylendiği görülmektedir. Çalışma alanı için oluşturulan 3 boyutlu zemin sınıfı görsellerinde genellikle yüzeye yakın tabakaların kil-silt gibi ince daneli zeminlerden oluştuğunu derinlere gittikçe kum-çakıl gibi iri daneli birimlere geçiş olduğu görülmektedir (Şekil 3.10a, b, c, d) (Civelekler vd. 2020).



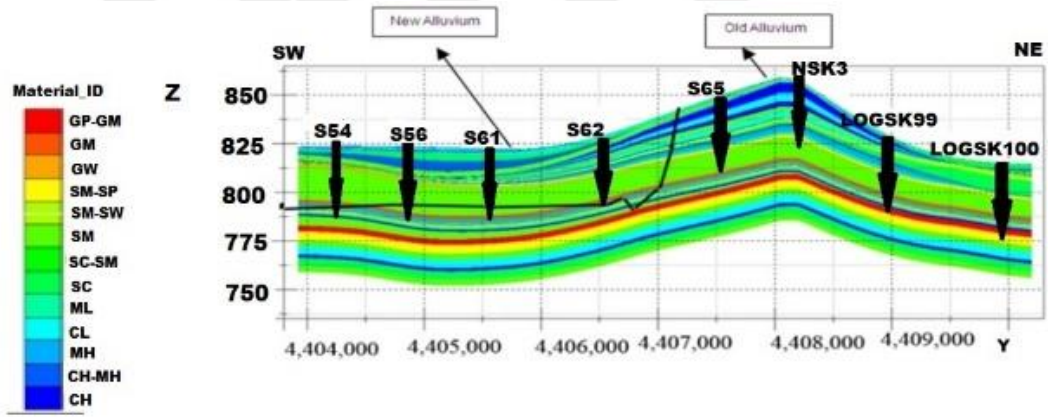
Şekil 3.10 a. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerinin 3 boyutlu modeli



Şekil 3.10 b. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden istenilen koordinatlarda kesitler alınabilmesi



Şekil 3.10.c. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden Doğu- Batı doğrultusunda alınan kesit örneği



Şekil 3.10. d. Eskişehir Tepebaşı bölgesinin zemin sınıfı değerlerini içeren 3 boyutlu katı modelden Kuzey Doğu- Güney Batı doğrultusunda alınan kesit örneği (Civelekler 2020).

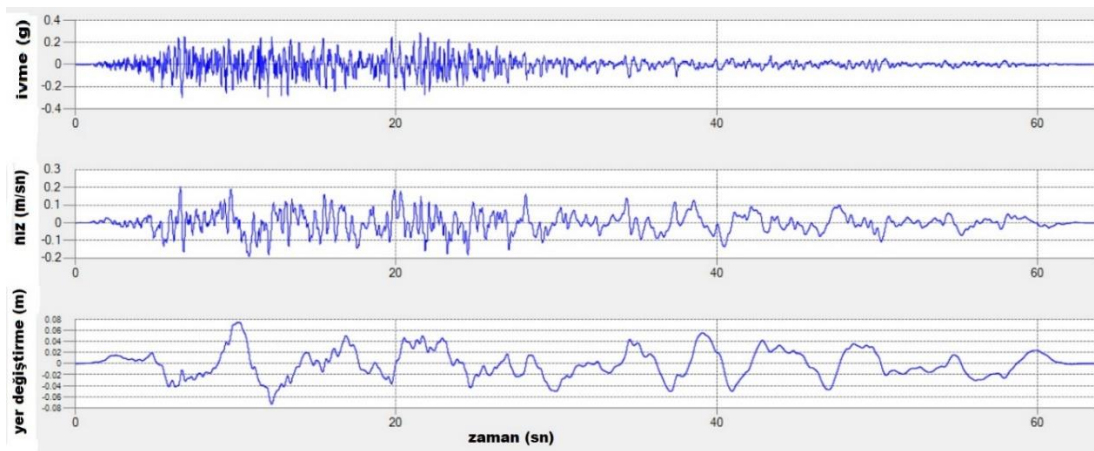
4. KURAMSAL TEMELLER

4.1. Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri

Dinamik kuvvetler altında zeminin ve buna bağlı oluşan zemin-yapı davranışının belirlenebilmesi için uygulanan analizlerde kuvvetli yer hareketinin özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bir deprem hareketinin karakteristik özellikleri genlik (amplitüd), frekans içeriği ve hareketin süresidir.

4.1.1. Genlik parametreleri

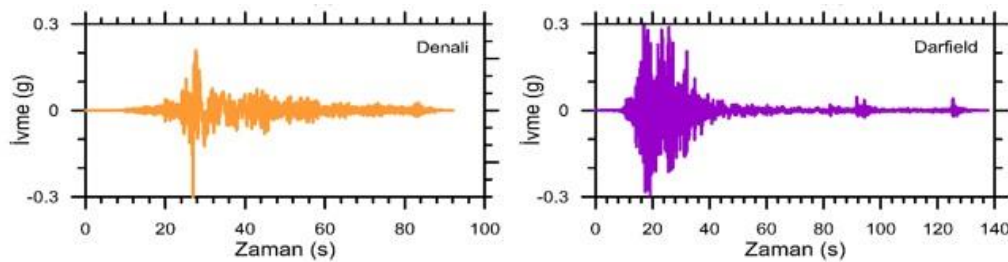
Kuvvetli yer hareketinin tanımlanabilmesi genellikle zaman tanım alanındaki kayıtlar yardımıyla yapılmaktadır. Zaman tanım alanındaki kayıtlar kullanılarak elde edilen hareketin karakteristiği ivme, hız ve yer değiştirme olarak tanımlanır. Bunlardan ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman kayıtlarından birisi elde edilmekte, diğer kayıtlar türev/integral işlemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak günümüzde daha çok kayıtlarda genellikle ivme değeri ölçülebilmekte hız ve yer değiştirme zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tez çalışmasında yer alan Imperial Valley 1 kuvvetli yer hareketinin ivme, hız ve yer değiştirme karakteristiklerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan Imperial Valley 1 kuvvetli yer hareketi parametreleri örneği

4.1.1.1.Pik ivme

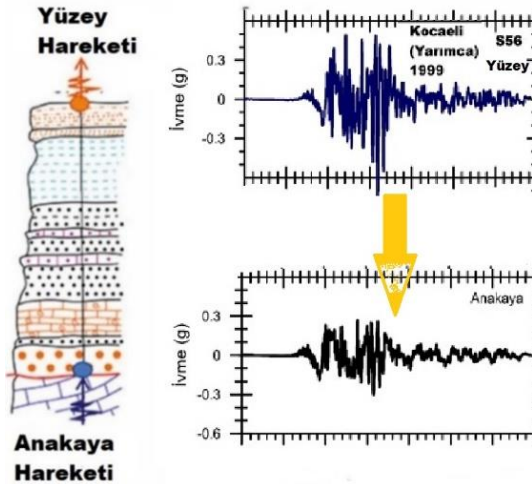
Deprem nedeniyle oluşan yer hareketinin genliğini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelerden biri maksimum yatay yer ivmesi (PGA)'dir. PGA, doğu-batı ve kuzey-güney bileşenlerine ait maksimum değerlerin geometrik ortalaması veya yönden bağımsız bu bileşenlerin en büyük olanıdır (mutlak değerinin en büyüğü). Pik ivme değerleri depremin süresi ve frekans içeriğini tanımlamaz. Örneğin bazı deprem kayıtlarında tek bir pik değer bulunurken bazı depremlerde birden fazla pik değerler oluşabilmektedir. Örneğin tez çalışmada yer alan kuvvetli yer hareketlerinden Denali deprem kaydı tek pik değere sahipken, Darfield New Zeland depreminde birden fazla pik değerler görülmektedir (Şekil 4.2). Tek pik değer görülen depremlerde genellikle düşük periyotlarda oluşan bir yükleme çevrimindeki genliğin, hakim periyotu yüksek olan yapılarda önemli bir etkisi yoktur. Birden fazla pik değer görülen deprem kayıtlarında ise farklı frekanslarda benzer genliğe sahip çok sayıda çevrim oluşabilmektedir. Bu nedenle kuvvetli yer hareketlerinde PGA değerleri aynı olsa bile tekrarlı yüklemeler sonucu birden fazla pik ivmeye sahip depremlerin daha yıkıcı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla aynı pik ivme değerine sahip olan depremlerin, diğer karakteristik özelliklerinin farklı olması nedeniyle yapı üzerindeki etkileri tamamen farklı olabilmektedir (Kramer, 1996).



Şekil 4.2. a) Denali 2002 (M=7.9) deprem kayıtlarına ait ivmeler

b) Darfield New Zeland 2010 (M=7)

Zemin davranış analizleri çalışmalarında anakayadan başladığı kabul edilen kuvvetli yer hareketinin bazı zeminlerde anakayaya yakın davranış gösterdiği, bazı zeminlerde ise farklılaşabildiği belirlenmiştir. Çalışmada 11 kuvvetli yer hareketinden biri olan Kocaeli-Yarımca istasyonundan alınan deprem kaydına göre, S56 sondajında anakayada oluşan hareketin yüzeyde ne kadar farklı olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Anakayadan başlayan kuvvetli yer hareketinin yüzeyde farklılaşması örneği

4.1.2. Frekans içeriği

Bir depremin frekans içeriği f ($1/T$), kuvvetli yer hareketi genliğinin farklı frekanslardaki dağılımının tanımıdır. Kuvvetli yer hareketinin frekans içeriğinin belirlenmesi için hareketin özelliklerinin tanımlanması gerekir. Bu tanımlamalar için farklı tür spektrumlar kullanılmaktadır (Ohsaki, 1976).

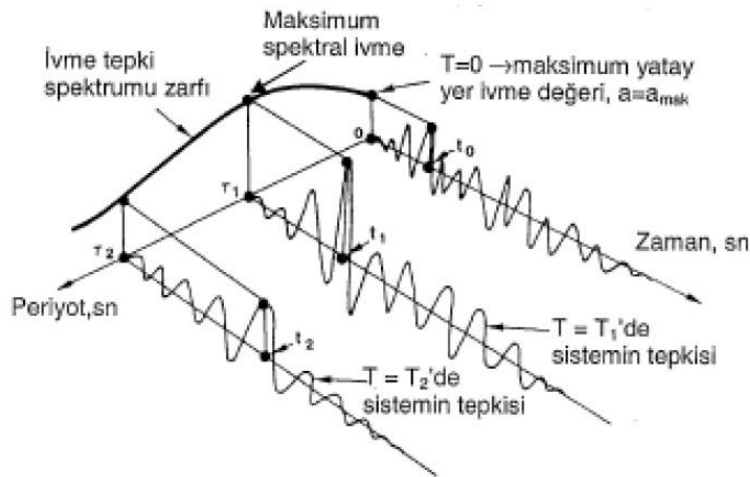
4.1.2.1. Fourier spektrumları

Bir periyodik hareketin farklı frekans, genlik ve fazdaki basit harmonik karakteristiklerin toplamı Fourier analizi ile ifade edilir. Fourier genliği ile frekans ilişkisi grafiğinden Fourier spektrumu tanımlanmaktadır. Fourier spektrumu hareketin frekans içeriğini doğrudan vermektedir (Kramer, 1996). Tepki spektrumları ise kuvvetli yer hareketinin değişen frekanslarda yapılar üzerinde oluşturacağı etkiyi belirtmektedir.

4.1.2.2. Tepki spektrumları

Fourier spektrumu, kuvvetli yer hareketinin ölçülen kaydı kullanılarak sadece kendi frekans özelliklerini ortaya koymaktadır, ancak yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi tam olarak verememektedir. "Tepki Spektrumu" ise, kuvvetli yer hareketinin tek serbestlik dereceli (TSD) sistemde doğal frekans ve sönümlenme oranına bağlı olarak oluşan karakteristik

özelliklerinin (ivme, hız ve yer değiştirme) maksimum değerlerini ifade etmektedir (Şekil 4.4). İvme maksimumu spektral ivme (S_a), hız maksimumu spektral hız (S_v) ve yer değiştirmenin maksimumu spektral yer değiştirme (S_d) olarak ifade edilir. Tepki spektrumları Fourier spektrumlarına göre yapı tasarımı açısından etkin kullanılan bir kavramdır. Örneğin S_a , kuvvetli yer hareketi sırasında zeminden yapıya gelecek kuvveti verir. Yapıya gelen maksimum mutlak ivme, yapının m kütlesi ile çarpıldığında, deprem sırasında oluşan ve yapıya etkileyen maksimum kesme kuvveti belirlenir ($F=m.a$). S_v , kuvvetli yer hareketi sırasında yapılara gelen maksimum enerjiyi, S_d ise yer değiştirme-şekil değiştirmenin maksimumunu işaret ettiğinden yapı içinde oluşabilecek gerilmeleri ifade etmektedir. Bu nedenle spektral parametreler kuvvetli yer hareketi sonucunda yapının maruz kalacağı en büyük etkiyi ortaya koymaktadır (Ohsaki, 1976).



Şekil 4.4. Tek serbestlik dereceli sistemde tepki spektrumu (Kramer, 1996).

Yapılan çalışmalar daha küçük maksimum ivmeye sahip kuvvetli yer hareketinin uzun süreli olması nedeniyle, daha büyük bir ivme ve daha kısa bir süreye sahip bir yer hareketinden daha fazla hasara neden olabildiğini göstermiştir (Elnashai ve Sarno, 2008). Ayrıca önceki çalışmalarda kayadaki hareketin zemindekine oranla, daha düşük periyotlarda yüksek spektral ivme değerlerinin ve yüksek periyotlarda ise daha düşük spektral ivme değerlerinin oluştuğu belirlenmiştir. Zeminlerde ise kayadakine göre büyük periyotlarda daha yüksek spektral ivme ve yer değiştirme değerlerinin görüldüğü bilinmektedir (Kramer, 1996). Bu nedenle zeminin tepki spektrumu değeri depreme dayanıklı güvenli yapıların inşası için çok önemli bir parametredir.

4.1.3. Kuvvetli yer hareketi süresi

Kuvvetli yer hareketinin süresi de deprem hasarlarını etkileyen önemli bir parametredir. Kuvvetli yer hareketi süresi eşik ivmenin (0.05 g) aşıldığı ilk ve son zaman arasındaki süre olarak tanımlanmaktadır. Yapılarda rijitliğin ve dayanımın azalması veya doygun kumlarda boşluk suyu basıncının artması (gevşek kum gibi davranması) gibi nedenler kuvvetli yer hareketi sırasında oluşan gerilme ve yüklemelerin tekrarlanma sayısına bağlı olarak yıkıcı hasarlar meydana getirmektedir (Naeim, 2001). Sonuçta depremin büyüklüğü yüksek olsa bile süresi kısa olduğu durumlarda yıkıcı etki yaratmayabilir. Ancak daha düşük büyüklüğe sahip bir depremin süresinin uzun olması durumunda yapılarda önemli derece yıkıcı hasara neden olabilmektedir.

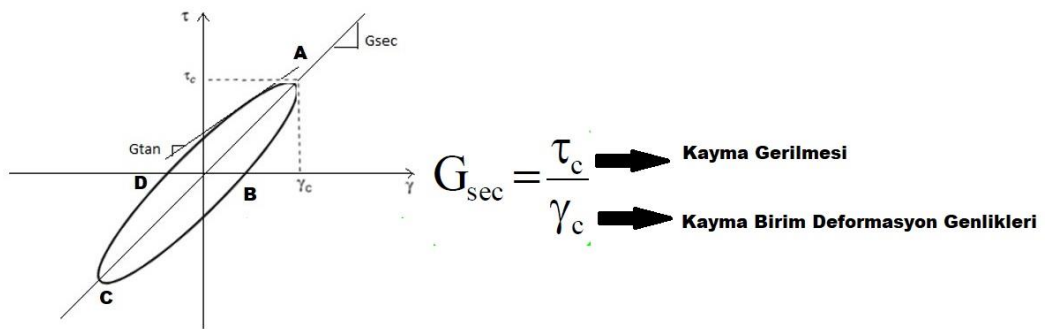
4.2. Zemin Davranış Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Geoteknik deprem mühendisliğindeki en çok karşılaşılan problemlerden biri, tekrarlı yükler altında zemin davranışının belirlenmesi gerekliliğidir. Dinamik yükler altında farklılaşan zemin davranışı 1985 Michoacan-Mexico, San Francisco 1989 Loma Prieta, 1995 Kobe, 1999 Kocaeli ve 2011 Van depremleri gibi birçok depremde ortaya çıkmış ve yapısal hasarlara neden olmuştur. Örneğin aletsel kayıtlara göre 1985 Mexico City depremi olarak da bilenen Michoacan depremi ($M_w=8.0$), depremin merkez üssüne 350 km uzaklıkta bulunan Mexico şehrinde özellikle yüksek katlı 371 yapıda hasara ve 9000 kişinin ölümüne neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda deprem sırasında zemin tabakalarında oluşan aşırı büyütme nedeniyle hasarın fazlalaştığı belirlenmiş ve bu da farklılaşan zemin davranışının oluşturduğu büyütmenin etkisinin önemini göstermiştir (Vucetic ve Dobry, 1991). Bu nedenle günümüzde sahaya özgü tasarım davranış spektrumlarının geliştirilebilmesi için gerekli olan yer yüzeyi hareketlerinin; tekrarlı yükler etkisinde oluşan gerilme-birim deformasyonların ve buna bağlı olarak oluşan büyütme-sıvılaşma riskinin belirlenmesinde zemin davranış analizleri kullanılmaktadır.

4.2.1. Zeminin kayma modülü (G)- sönüm oranı (D)

Deprem dalgalarının yayılması sırasında oluşan deformasyonlar küçük gerilme seviyelerinde elastik davranışa ve yüksek gerilme seviyelerinde ise elastik olmayan davranışa neden olur (Akın, 2009). Eşdeğer doğrusal modellerde zeminler doğrusal malzemeler olarak kabul edilir. Doğrusal olmayan modeller için birim deformasyona bağlı rijitlik ve sönümlenme parametreleri hesaba katılmaktadır (Okur ve Ansal, 2009). Tekrarlı yükler altında zeminin dinamik özellikleri daha çok zeminin rijitlik ve sönümlenme parametreleri (gerilme-şekil değiştirme özellikleri) tarafından karakterize edilir. Bunlar; kayma dalgası hızı, kayma modülü, (G), sönüm oranı (D) ve kayma modülü oranı (G/G_{maks}) ile ifade edilmektedir (Brandes, 2003).

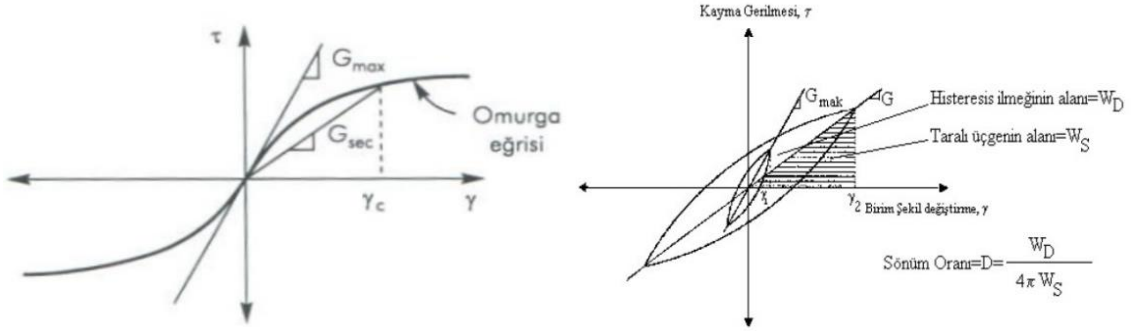
Tekrarlı yüklemeler altında bir zeminin gösterdiği gerilme-birim şekil değiştirme davranışı histeris ilmeği olarak adlandırılır. Histeris ilmeği (ABCD) eğrisinde ilmeğin uç noktaları olan A ve C noktaları arası omurga eğrisi olarak bilinmektedir. Histeris ilmeğinde önemli iki etken halkanın eğimi ve genişliğidir. Halkanın eğimi zeminin rijitliğini temsil eder ve tanjant kayma modülü (G_{tan}) olarak tanımlanmaktadır. G_{tan} döngünün başından sonuna kadar farklı değerler aldığından, döngünün tamamı ortalama değer olan sekant kayma modülü (G_{sec}) ile belirlenebilmektedir (Şekil 4.5) (Ishihara, 1996).



Şekil 4.5. Tanjant ve sekant kayma modülleri (Kramer, 2003)

G_{sec} histeris ilmeğinin ortalama ilmeğidir ve kayma modülü olarak da adlandırılır. Omurga eğrisine orijinden teğet geçen doğrunun eğimi, maksimum kayma modülü G_{maks} olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.6 a). Sönümlenme kuvvetli yer hareketi sonucunda oluşan dalganın enerjisinin çeşitli etkenler nedeniyle belirli bir periyotta azalmasıdır (Balkan 2007).

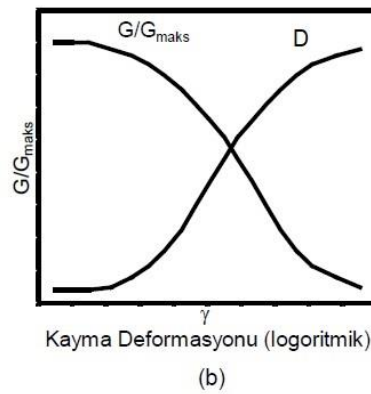
Sönümlenme oranı ise histeris ilmeği alanının, histeris ilmeği alanını oluşturan doğrunun altında kalan üçgenin alanına oranıdır (Şekil 4.6 b).



Şekil 4.6. a) Maksimum kayma modülü, sekant kayma modülü b) Histeris gerilme-deformasyon eğrisi ve sönümlenme oranı (Kramer, 2003)

Eşdeğer doğrusal zemin modellerinde maksimum kayma modülü (G_{max}) ve kayma modülü oranının (G/G_{max}) deformasyona ve diğer etkenlere bağlı olarak değişimi önemlidir. Kayma modülü oranının kayma deformasyonu ile değişimini gösteren eğri modül azalım eğrisidir. Şekillerde görüldüğü gibi birim deformasyonların yaklaşık olarak 10^{-3} civarında olması durumunda zemin elasto-plastik davranış gösterir, bir zamandan sonra şekil değıştirmeler arttıkça davranış değışmeye başlar ve dinamik kayma modülü şekil değıştirmeler arttıkça azalır (Ishihara, 1996).

Eşdeğer doğrusal modelde genelleştirilmiş olarak kayma modülü oranı- deformasyon ve kayma modülü oranı-sönüm oranı arasındaki ilişki Şekil 4.7’de verilmiştir. Deformasyon arttıkça, kayma modülü oranı azalmakta ve sönüm oranı da belirli bir aralıktan itibaren nispeten artmaktadır (Bardet vd., 2000).

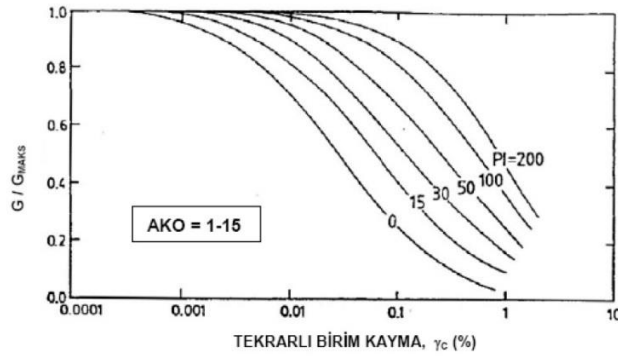


Şekil 4.7. Eşdeğer doğrusal modelde kayma modülü oranı- sönümlenme oranının kayma deformasyonu arasındaki ilişki (Zhang vd., 2005)

G_{sec} ve sönüm oranı doğrusal özelliğe sahip malzeme parametreleridir. Eşdeğer doğrusal model yaklaşımlarında malzemeye uygulanan yük kalktığında deformasyonların sıfıra döndüğü kabul edilir. Bu malzemeler için bir yük sınırı yoktur ancak gerçekte dinamik yükler altında zeminde kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir. Bu nedenle eşdeğer doğrusal model, zemin davranış analiz çalışmalarında daha kullanışlı ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca zemin davranış analizlerinde eşdeğer doğrusal modele göre belirlenen modül azaltma ve sönümlenme eğrileri temel parametrelerdir (Hanumantharao ve Ramana, 2008).

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda zeminin maksimum kayma modülü için kayma modülü oranı (G/G_{max}) eğrileri ortaya konmuş ve kayma modülü azalımının zeminin plastisitesinden ve efektif çevre basıncından etkilendiği belirlenmiştir. Modül azalım (G/G_{max}) eğrisinin şekli, malzemenin ne kadar doğrusal olmadığını gösterir. Doğrusal bir malzeme yatay bir modül azalım eğrisine sahip olacaktır, yani modül azalım faktörü tüm gerilmelerde 1.0 olacaktır. Plastisite indeksi de modül azalım eğrileri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Vucetic ve Dobry, 1991). Genel olarak, azalan plastisite indeksi ile zeminde doğrusal olmayan davranış artar. Bir dizi araştırmacı, farklı zeminlerin modül azaltma davranışını çalışarak modül azalım eğrileri önermiştir (Dobry ve Vucetic, 1987; Vucetic ve Dobry, 1991; Sun vd., 1988; Seed ve Idriss, 1991; Darendeli, 2001). Çalışmalarda modül azalım ve sönümlenme eğrilerinin değişimi genellikle ince taneli zeminlerin plastisitesine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Bununla birlikte kaba ve ince daneli zeminler için ayrı ayrı modül azalım eğrileri önerilmiştir (Şekil 4.8).

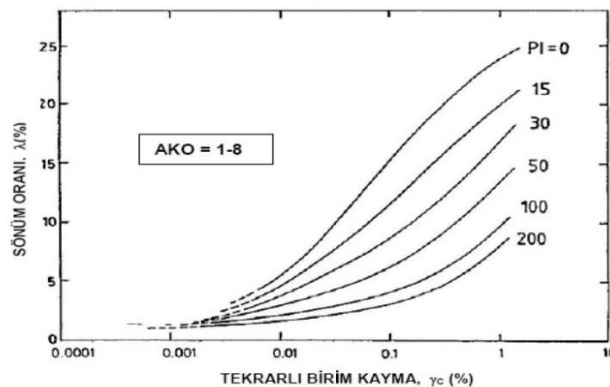
Vucetic ve Dobry (1991):



Şekil 4.8. Vucetic ve Dobry, 1991'e göre kayma modülü azalım eğrisi

Sönümlenme oranı (D), zemin davranış analizlerinde diğer önemli parametredir. Farklı zemin tipleri için sönümlenme oranı ve kayma modülü ilişkileri literatürde bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Seed vd., 1984; Sun vd., 1988; Luna ve Jadi, 2000). Sönümlenme oranı, histerik enerjinin zemin tarafından dağılımını ortaya koymaktadır (Kramer, 1996; Luna ve Jadi, 2000). Yapılan çalışmalarda plastisite indisinin sönümlenme oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Vucetic ve Dobry, 1991). Plastisite indisi yüksek zeminler, aynı döngüsel gerilme genliğinde daha düşük sönümlenme oranlarına sahiptir. Sönümlenme oranı efektif çevre basıncı, boşluk oranı, jeolojik yaş ve döngüsel gerilmeden etkilenebilir (Dobry ve Vucetic, 1987; Kramer, 1996; Darendeli, 2001) (Şekil 4.9).

Vucetic ve Dobry (1991) ve Sun ve diğ. (1988):



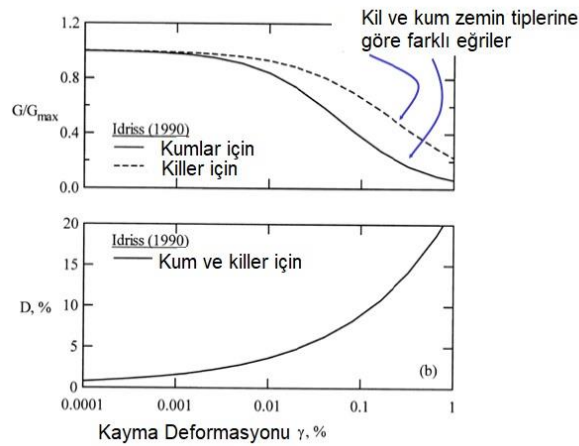
Şekil 4.9. Vucetic ve Dobry, 1991 ve Sun vd., 1988'e göre sönüm oranı eğrisi

G/G_{max} ve sönümlenme oranının (D), bazı parametreler ile artan ve azalan ilişkisi Dobry ve Vucetic (1987)' ye göre Akın (2009) tarafından incelenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. G/G_{max} ve Sönümlenme oranının (D), bazı parametreler ile artan ve azalan ilişkisi ((Dobry ve Vecutic (1987) ve Akın (2009))

Artan Faktör	G_{max}	G/G_{max}	Sönümlenme Oranı
Çevre basıncı	Çevre basıncı ile birlikte artar	Çevre basıncı ile birlikte artar veya sabit kalır	Çevre basıncı ile birlikte azalır veya sabit kalır
Boşluk oranı (e)	e ile birlikte azalır	e ile birlikte artar	e ile birlikte azalır
Jeolojik yaş	Jeolojik yaşa göre artar	Jeolojik yaşa göre artabilir	Jeolojik yaşa göre azalır
Aşırı Konsolidasyon Oranı (AKO)	AKO ile birlikte artar	Etkilenmez	Etkilenmez
Plastisite İndisi (PI)	AKO>1 ise PI ile birlikte artar	PI ile birlikte artar	PI ile birlikte azalır
Döngüsel gerilme		Döngüsel gerilme ile azalır	Döngüsel gerilme ile artar

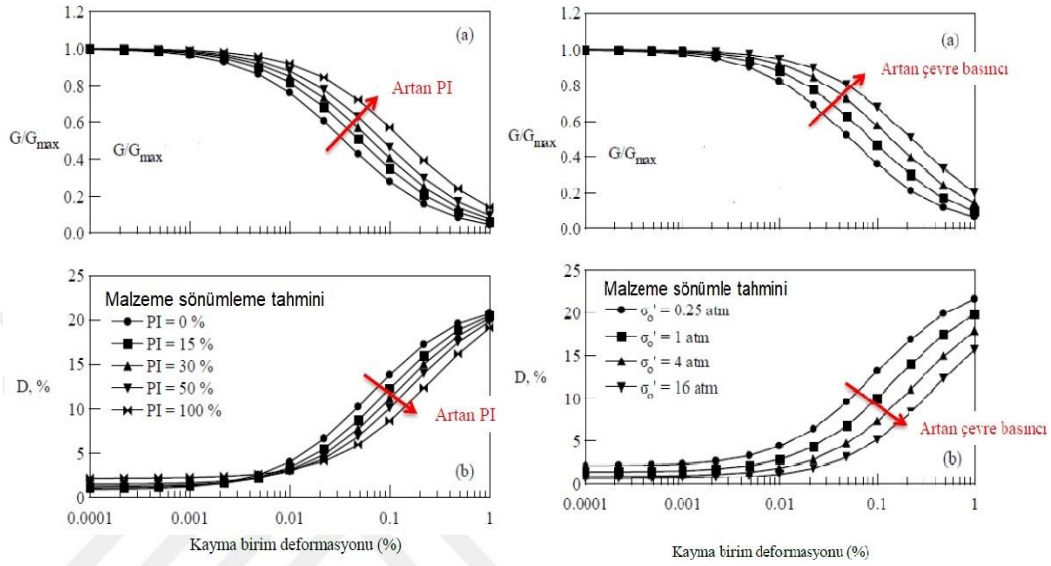
Aynı zamanda Idriss'in (1990) kayma modülü için deneysel eğrileri ve kayma gerilmesine karşı sönümlenme oranı ile elde edilen malzeme davranışları Şekil 4.10 'da gösterilmiştir. Yine Idriss (1990) yaptığı çalışmasında döngüsel kayma parametrelerinin PI ve zemin özelliklerine göre değiştiğini ortaya koymuştur.



Şekil 4.10. Idriss (1990)'in deneysel çalışmasına dayanan modül azaltma ve sönümlenme eğrileri

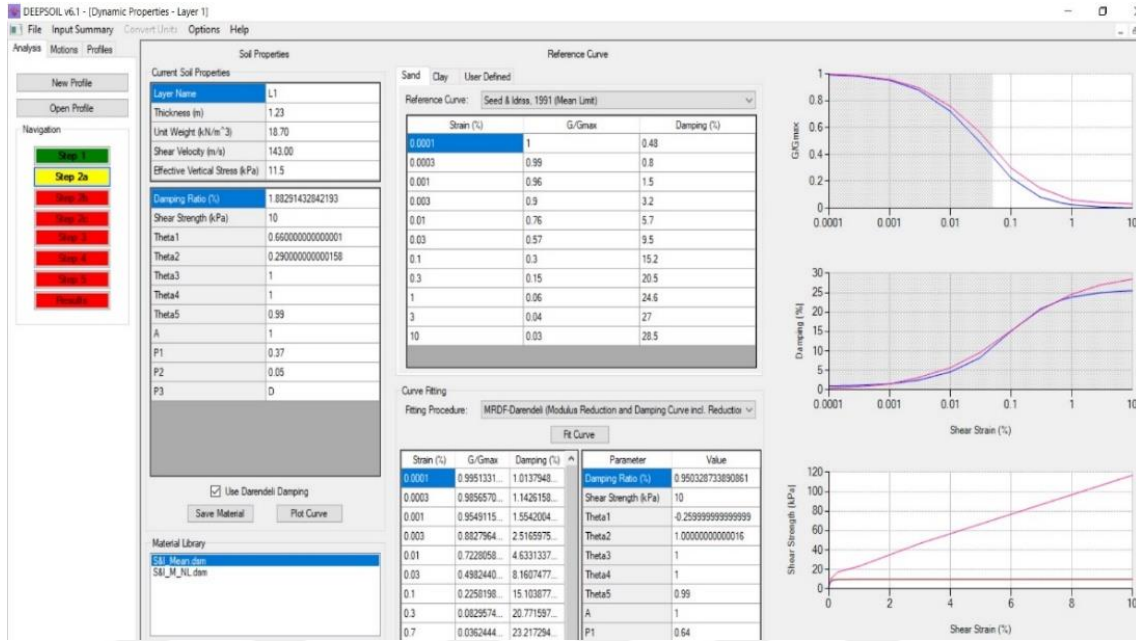
Darendeli (2001) omurga eğrisinin değiştirilmiş hiperbolik şekline bağlı yeni bir model ortaya koymuştur. Bu modelde tekrarlı yükleme koşullarında zeminin çevre basıncı ve plastisite indisine bağlı olarak sönüm oranı ve modül azalım eğrilerinin değiştiğini

belirlemiştir (Şekil 4.11). Çalışmasında önerdiği eğriler ile kayma modülü -deformasyon ilişkisini incelemiştir. Tekrarlı yükleme-boşaltma döngüleri sırasında zeminin tepkisini omurga eğrisindeki davranışla göstermiştir.



Şekil 4.11. Darendeli (2001) modelinde modül azalım ve sönümlleme oranında çevre basıncı ve PI etkisi

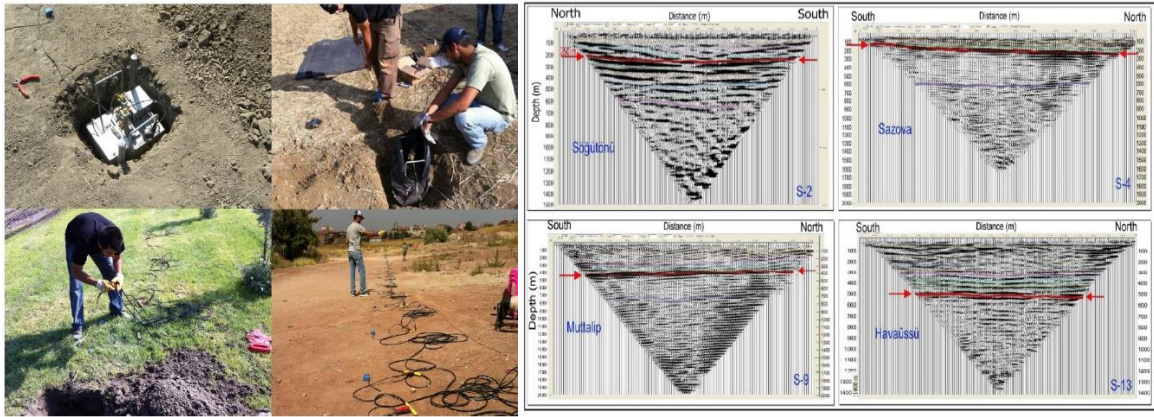
Tez çalışmasında Deepsoil 6.1 yazılımında yer alan ince daneli (kil-silt) zeminler için Darendeli 2001, iri daneli zeminler için (kum-çakıl) Seed ve Idriss 1991 eğrileri kullanılarak analizler yapılmıştır. Şekil 4.12'de örnek gösterildiği gibi, yazılımda kumlu bir zemin tabakasına ait Seed ve Idriss 1991 eğrilerinin tanımlanarak zemin davranış analizleri tamamlanmıştır.



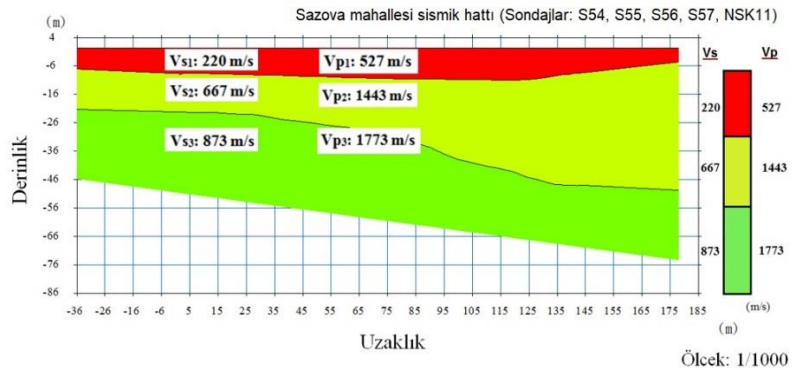
Şekil 4.12. Tez çalışmasında Deepsoil 6.1 yazılımında kullanılan kumlu zeminlerde Seed ve Idriss 1991 eğrilerinin kullanımına bir örnek

4.2.2. Eskişehir için zeminin kayma dalgası hızının belirlenmesi

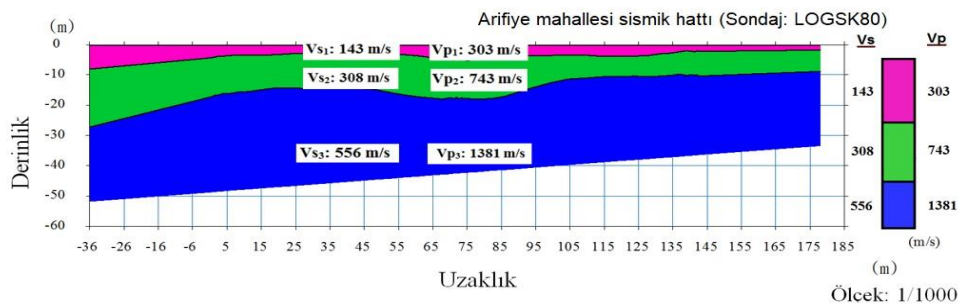
Mutlu (2012), Güney vd., (2013) ve Tün vd., (2016) Eskişehir havzasındaki yeni alüvyon alanında P Gun yöntemiyle sismik yansıma çalışmaları yapılmıştır. Sismik veriler, 96 kanallı 36 fişekli P-Gun ve S Gun(sismik enerji kaynakları) ile belirli uzunluklarda hatlar oluşturularak (örneğin Söğütünü 480 m) yere belirli aralıklarda yerleştirilen jeofonlar sayesinde sismik kaydedicinin (Geometrics 24 kanallı Geode modülleri) patlatılması ile elde edildi. Tez çalışmasında yapılan zemin davranış analizlerinde tüm zemin profilleri için kayma dalga hızı profilleri gerekmektedir ve bu değerler arazide yerinde Mutlu (2012) ve Güney vd., (2013) tarafından yapılan sahadaki sismik yansıma-kırılma çalışmalarından doğrudan alınmıştır (Şekil 4.13). Mutlu (2012) ve Güney vd., (2013), sahada yaptıkları Eskişehir şehir merkezini temsil eden 22 farklı lokasyon için zeminin kayma dalgası hızı değerlerini derinliğe bağlı olarak ortaya konmuştur (Şekil 4.14, Şekil 4.15).



Şekil 4.13. Tez çalışmasında kullanılan sismik kırılma ve yansımaya verilerinin toplanması ve elde edilmesi örneği



Şekil 4.14. Sazova mahallesi sismik kırılma hattı hız kesiti örneği

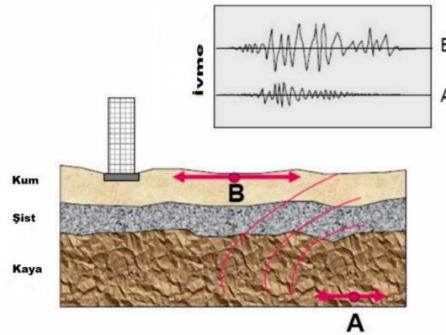


Şekil 4.15. Arifiye mahallesi sismik kırılma hattı hız kesiti örneği

Bu çalışmada Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 gibi farklı konumlarda yapılmış, toplamda 22 sismik kırılma hattı hız kesitlerinden elde edilmiş zeminin kayma dalgası hızı değerleri kullanılmıştır.

4.3.Zemin Davranış Analizleri

Zemin davranış analizleri; basitleştirilmiş hali ile taban kayası olarak nitelendirilen litolojik birimden yüzeye doğru hareket ettiği varsayılan deprem dalgalarının yayılımı ve bu yayılım sırasındaki zeminin etkisinin belirlenmesi işlevidir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Dinamik yükler altında yerel zemin koşullarının etkisine örnek (Tohumcu, 2016)

Zemin davranış analizleri

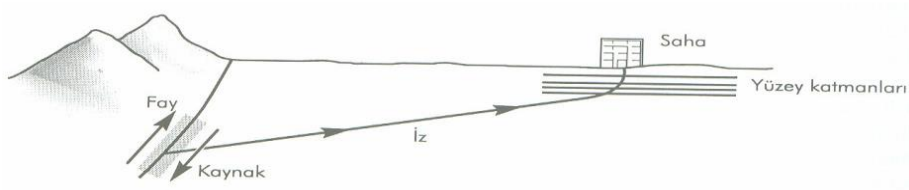
- Bir boyutlu
 - İki boyutlu
 - Üç boyutlu olarak yapılabilir.
- Bu dinamik davranış analizleri için zeminin
- Eşdeğer Doğrusal
 - Doğrusal Olmayan davranışı dikkate alınmaktadır.

Topoğrafyanın değiştiği eğimli sahalarda ile rijit veya gömülü büyük yapılar için (tüneller, barajlar, ağır duvarlar vb.) iki veya üç boyutlu analizler yapılmaktadır (Pitilakis, 2004a). (Hudson vd., 2003).

4.3.1. Bir boyutlu (1-B) analizler

Deprem hareketi sonucu meydana gelen cisim dalgaları zemin içinde tüm yönlerde yayılır. Farklı zemin tabakaları sınırlarına geldiğinde ise yansır veya kırılır. Sığ derinliklerde yer alan birimlerin dalgayı iletme hızları daha derinde yer alanlara göre genellikle daha

düşük olduğundan, zemin tabakalarının sınırına çarpan eğimli dalgalar daha düşey olarak kırılabilirler. Bir boyutlu zemin davranış analizleri, tüm sınırların yatay olduğu ve zemin davranışında düşey olarak yayılan SH dalgalarının hâkim olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca zemin ve anakaya tabakalarının yatay doğrultuda sonsuz olduğu varsayılır. Bir boyutlu zemin davranış analizlerinde kabul gören bu varsayım, birçok durumda zemin davranışı tahminlerinde ölçülen davranışla mantıklı bir uyum göstermektedir (Şekil 4.17) (Kramer, 1996).

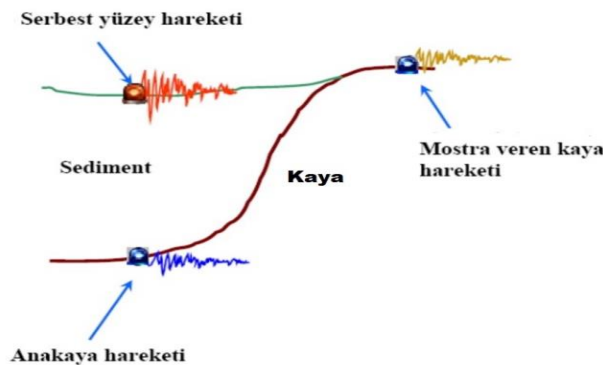


Şekil 4.17. Faydaki hareket sonucu sismik dalgaların zemin içinde yayılımı (Kramer, 1996)

Zemin davranış analizlerinde yer hareketini açıklamada bilinmesi gereken üç hareket durumu vardır (Şekil 4.18) (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Hareketin oluştuğu zeminin litolojik durumuna göre tanımlanması

Hareketin oluştuğu zemin	Oluşan Hareket
Anakaya üzerinde zemin tabakalarının olduğu durum	Serbest yüzey hareketi
Zemin tabanındaki (yani anakayanın üst yüzeyinde)	Anakaya Hareketi
Anakayanın yüzeylendiği yerde herhangi bir lokasyonda	Mostra veren anakaya hareketi



Şekil 4.18. Yer tepkisi terminolojisi (Kılıç, 2017)

Sismik dalgaların anakayadan yeryüzüne doğru hareketi, geçtiği ortamın etkilerine bağlı olarak değişebilmektedir. Başlayan anakaya hareketi ve devam eden yüzey hareketi sonucunda zeminin dinamik özelliklerinin farklılaşmasıyla farklı spektral parametreler ve amplifikasyonları oluşturabilmektedir. Zemin davranış analizleri, zemin içerisinde yayılan deprem dalgalarının zemin yüzeyinde oluşturacağı hareketin etkisini ortaya koymak amacıyla yapılmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalarda zemin davranış analizleri iki temel prensibe ayrılır:

- 1) Frekans alanı analizleri (eşdeğer doğrusal zemin davranışı analizleri)
- 2) Zaman alanı analizleri (doğrusal olmayan zemin davranışı analizleri)

Günümüzde frekans alanı analizleri; basitliği, pratikliği ve daha az hesaplamaya dayalı olması nedeniyle zemin davranışını belirleme çalışmalarında daha yaygın olarak kullanılmıştır (Pitilakis 2004b; Arduino ve Kramer, 2009; Phillips ve Hashash, 2009). Ancak, bir boyutlu eşdeğer doğrusal zemin davranış analizleri zemin tabakalarının doğrusal olmayan (elastik olmayan) davranışını tam olarak temsil edemediği bazı durumlarda doğrusal olmayan yaklaşımların kullanımı önerilmektedir (Pitilakis, 2004b; Phillips ve Hashash, 2009).

Günümüze kadar eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analiz yöntemlerinin karşılaştırılması birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analizlerinin karşılaştırılmasında önemli çalışmalardan bazıları Pruiksma (2016), Carlton ve Tokimatsu (2016) ve Selçuk vd. (2007) olarak sıralanabilmektedir. Bu çalışmalara göre, anakaya ve kuvvetli yer hareketi özelliklerine göre eşdeğer doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Örneğin, gerilmelerin düşük olduğu durumlarda (sert toprak ve/veya zayıf anakaya hareketi) her iki zemin davranış analizleri yöntemi de iyi performans göstermektedir. Ancak zeminde yüksek gerilmelerin oluşması durumunda doğrusal olmayan analizlerin eşdeğer doğrusal analiz yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu durum, düşük gerilmelerdeki zeminlerin elastik davranışından kaynaklanır, ancak yüksek gerilme seviyelerinde zeminler plastik davranış gösterebilir.

Carlton ve Tokimatsu (2016) eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin tepki analizlerini karşılaştırdığında; kesme gerilmeleri arttıkça, eşdeğer doğrusal analizlerin daha küçük maksimum gerilme ve sönümlenme oranlarını, daha büyük hızlanmaları ve hızları temsil ettiğini belirlemiştir. Ayrıca, çalışmasında eşdeğer doğrusal analizlerden belirlenen spektral ivmelerin, 0.1 sn' den daha düşük periyotlarda ve 0.2 sn ile 2.0 sn arasında olan doğal zemin periyotlarında doğrusal olmayan analizlerden daha büyük değerler elde etmiştir. Diğer periyotlar için eşdeğer doğrusal analizler ile doğrusal olmayan analizlerden elde ettiği verilerin benzer spektral parametreler olduğunu belirtmektedir.

Günümüze kadar farklı zemin koşullarında bir boyutlu zemin davranışını belirlemek için çok sayıda yazılım kullanılmıştır (Çizelge 4. 3)

Çizelge 4.3. Zemin davranış analizleri için kullanılan yazılımlar (Arduino ve Kramer, 2009) (Akın, 2009) (Hashash vd., 2016)

Kullanılan İşletim Sistemi	Eşdeğer Doğrusal	Doğrusal Olmayan
DOS	Dyneq, Shake91	AMPLE, DESRA, DMOD, FLIP, SUMDES, TESS
Windows	ShakeEdit, ProSHAKE, DeepSoil, Shake2000, EERA	CyberQuake, DeepSoil, NERA, FLAC, DMOD2000

Hashash vd. (2016) tarafından son hali güncellenen Deepsoil yazılımı ile hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılabilmektedir. Bu nedenle günümüzde zemin davranış analiz çalışmalarında Deepsoil yazılımı tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizler Deepsoil 6.1. yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

4.3.1.1. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal (esdeğer lineer) yaklaşım

Zemin davranış analiz yöntemlerinin önemli bir bölümü frekans tanım alanını temsil eden transfer fonksiyonlarına dayanır. Bu fonksiyonlar, zemin davranış analiz çalışmalarında anakaya ivmesi olarak kabul edilen girdi hareketinin yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma deformasyonu gibi farklı parametrelerini belirlemek için

kullanılır. Bilinen bir anakaya hareketinin (kaya zeminde alınmış bir deprem kaydı) zamana bağlı değişimi Fourier serisi ile temsil edilir. Anakaya hareketinin Fourier serisindeki her bir parametre, transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyi hareketinin Fourier serisi elde edilmektedir. Daha sonra tersi yöntemle yüzeydeki hareket zamana bağlı olarak tanımlanır. Bu şekilde transfer fonksiyon, anakaya hareketindeki her frekans değerinin zemin tabakası tarafından hangi miktarda büyütüldüğünü veya sönümlendiğini belirlemektedir (Kramer, 1996).

Transfer Fonksiyonun Değerlendirilmesi Örneği

Eşdeğer doğrusal yaklaşımda her bir zemin tabakası için sabit kayma modülü ve sönüm oranı belirlenmektedir. Doğrusal yaklaşım için belirleyici bir faktör olan transfer fonksiyonlar sayesinde, farklı zemin tabakalarında kuvvetli yer hareketinin etkileri fazla karmaşık matematiksel yöntemlere girmeden belirlenebilmektedir. Farklı tabakalanma durumlarına göre kullanılan transfer fonksiyonlar Kramer 1996'dan derlenerek Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Tabakalanma koşullarına bağlı olarak önerilen transfer fonksiyonlar

Jeolojik Koşul	Transfer Fonksiyon
Rijit Kaya Üzerinde Üiform, İzotrop, Doğrusal Elastik, Sönümsüz Zemin	$F_1 \omega = \frac{u_{max}(0,t)}{u_{max}(H,t)} = \frac{1}{\cos(\omega H/Vs)}$
Rijit Kaya Üzerinde Üiform Sönümlü Zemin	$F_2 \omega = \frac{1}{\cos(\omega H/Vs(1+i\xi))}$
Elastik Kaya Üzerinde Üiform Sönümlü Zemin	$F_3 \omega = \frac{1}{\cos(\omega H/Vss*) + iaz*\sin(\omega H/Vss*)}$
Elastik Kaya Üzerinde Katmanlı Sönümlü Zemin	$F_{ij} \omega = \left \frac{u_i}{u_j} \right \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)}$

ω : zeminin frekansı, u_{max} : yatay yer değiştirme bağıntısı Vs : kayma dalgası hızı, H : zemin tabakasının kalınlığı, ξ : zeminin sönümü, Vss^* : zeminin kompleks kayma dalgası hızı

Sismik dalgaların zemin tabakalarında hareketi esnasında, oluşan hareketin yoğunluğuna, frekans içeriğine, saha özelliklerine ve topoğrafik değişimlere bağlı olarak deprem sırasında yapılar üzerinde zemin etkisi oluşabilmektedir.

Park ve Hashash (2008), zemin davranışının saha tepkisi üzerindeki etkisini karakterize etmek için bir dizi modifiye eşdeğer doğrusal analiz geliştirmiştir. Çalışmalarında modifiye eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre zemin davranışının etkisinin nispeten sınırlı olduğunu ve çok zayıf yer hareketleri için analiz sonuçlarında %20'ye kadar fark olduğu ve daha yüksek genliğe sahip hareketler için ise %10'luk farkın içinde olduğu sonucuna varmışlardır. Frekans alanı yöntemleri, sağlamlık, basitlik, esneklik ve daha az matematiksel hesaplama gereksinimleri nedeniyle zemin davranışını belirleyebilmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir, ancak bazı sınırlamaları vardır. Her zemin tabakası için eşdeğer bir kayma modülü ve sönümlemenin, bir sismik hareketin tüm süresi boyunca zemin davranışını doğru bir şekilde temsil edemediği durumlar (örneğin, kaya tabanındaki yüksek sismik yoğunluklar ve/veya zemin tabakalarındaki yüksek gerilme seviyeleri) vardır. Bu gibi durumlarda, tüm zemin tabakaları için farklı kayma modülleri ve çevrimsel yükleme sırasındaki sönümleme oranlarını dikkate almak için zaman alanlı doğrusal olmayan zemin davranışının yapılmasını savunmaktadırlar.

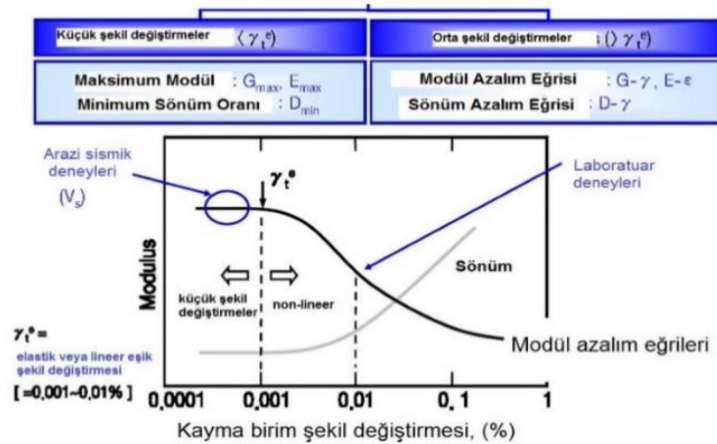
Sugito vd. (1994) ve Assimaki vd. (2000), bir frekans alanı analizinde doğrusal olmayan zemin davranışını temsil etmek için zeminin sönümlemesinin yine frekansa bağımlı olduğu varsayımının gerekli olduğunu önermektedir.

Hashash vd. (2010) çevrimsel yükleme altındaki zeminlerin davranışının genellikle doğrusal olmadığını ve yükleme genliği, döngü sayısı, zemin özelliği ve çevre basıncı gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca çalışmalarında yumuşak zemin tabakalarının bulunduğu (yumuşak alüvyon çökelleri) veya güçlü sismik hareketlerin yoğun olduğu bölgelerde eşdeğer doğrusal yöntemin kullanılmasının mevcut gözlemlerle eşleşmeyen sonuçlar ürettiğini de öne sürmektedirler (Hashash vd., 2010). Bu nedenle, yumuşak zeminlerin yaygın olduğu veya güçlü kuvvetli yer hareketlerinin olduğu sahalar için doğrusal olmayan zemin davranışını önermektedirler.

4.3.1.2. Bir boyutlu doğrusal olmayan (non-linear) yaklaşım

Sismik hareket sonucunda oluşan tekrarlı yükler altında zeminin davranışı doğrusal değildir. Doğrusal olmayan yaklaşımda zeminin histeretik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınmakta (sönümlenme-kayma modülü) ve bu nedenle eşdeğer doğrusal yaklaşımdan potansiyel olarak daha gerçekçi olarak kabul edilmektedir (Bolisetti vd., 2014). Doğrusal olmayan zemin davranış analizleri; zaman alanlı analizlerdir ve zeminin gerilme-şekil değiştirme karakteristiklerini kullanarak zeminin doğrusal olmayan (elastik olmayan) davranışını ortaya koymaktır. Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışının doğrusal olmaması, zeminin kayma modülünün sürekli azalması, zeminin yükleme yolundan farklı bir yol boyunca boşalması ve böylece zemin taneleri arasında temas noktalarındaki enerjinin dağılmasına bağlı olarak oluşmaktadır (Hosseini vd., 2010).

Zemin davranış analizlerinde temel prensip, 1 D (boyutlu) eşdeğer doğrusal yaklaşımda tabakaların yatay ve sonsuz yönde yayılım gösterdiği ve her bir zemin tabakası için kayma modülü (G)-sönüm oranı (D)'nin sabit olduğu kabul edilir. Ancak doğrusal olmayan yaklaşımda her bir zemin tabakası için gerilme-deformasyon ilişkisine bağlı olarak kayma modülü-sönümlenme oranı sürekli değişmektedir (Şekil. 4. 19). Literatürde birçok araştırmacı zeminin kayma modülü-sönümlenme oranı ilişkisi üzerine çalışmalar yapmış ve farklı zemin sınıflarına göre eğriler ortaya koymuştur (Seed vd., 1986, Sun vd., 1988, Vucetic ve Dobry 1988, Darendeli 2001). Doğrusal olmayan davranış analizlerinde zemin sınıfına göre bu eğriler kullanılarak analizler yapılmaktadır.



Şekil 4. 19. Zeminin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Kılıç, 2017)

Deepsoil yazılımı, derin zemin tabakaları içeren sahalarda bir boyutlu doğrusal olmayan zaman alanlı zemin davranış analizlerini gerçekleştirebilmektedir (Hashash vd, 2017). Doğrusal olmayan saha tepkisi çalışmalarında, zeminin histeretik yüklenmesini ve boşaltılmasını temsil etmek için Matasovic ve Vucetic (1993) tarafından geliştirilen modifiye edilmiş bir hiperbolik model kullanılarak modellenmeler yapılmaktadır (Hashash & Park, 2001). Hashash ve Park (2001) “Yeni zemin modeli”nin farkını zemin içinde oluşan büyük sınırlayıcı basınçların gerilmeye bağımlı kayma modülünün azalması ve zemin sönümlenmesi üzerindeki etkisi olarak açıklamaktadır. Yeni zemin modeline Deepsoil’de Hashash ve Park (2001) tarafından “Basınca bağlı hiperbolik model” denir (Hashash vd., 2017). Bu yaklaşım Deepsoil yazılımında kullanıcıya sunularak mühendislik kullanımına girmiştir.

Bazı araştırmalara göre zemin davranış analizinde eşdeğer doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemin seçiminde, zemin özellikleri ve anakaya deprem hareketinin karakteristik özellikleri karar vericidir. Örneğin tekrarlı gerilmelerin göreceli düşük olduğu durumlarda eşdeğer doğrusal analiz yöntemi önerilirken, tekrarlı gerilmelerin büyük olduğu durumlarda doğrusal olmayan analiz yöntemi ile daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmıştır ((Pruiksma (2016), Carlton ve Tokimatsu (2016) ve Selçuk vd. (2007)). Bu durum ise zeminlerin düşük gerilme durumlarında elastik, büyük gerilme genliklerinde ise elasto-plastik ve plastik davranış göstermesi ile açıklanmaktadır (Akdoğan, 2019). TBDY 2018, en zayıf zemin sınıfı olarak tanımlanan ZF sınıfında, davranışın elasto-plastik ve plastik olma ihtimali nedeniyle bir boyutlu doğrusal olmayan zemin davranış analiz çalışmalarını zorunlu hale getirmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

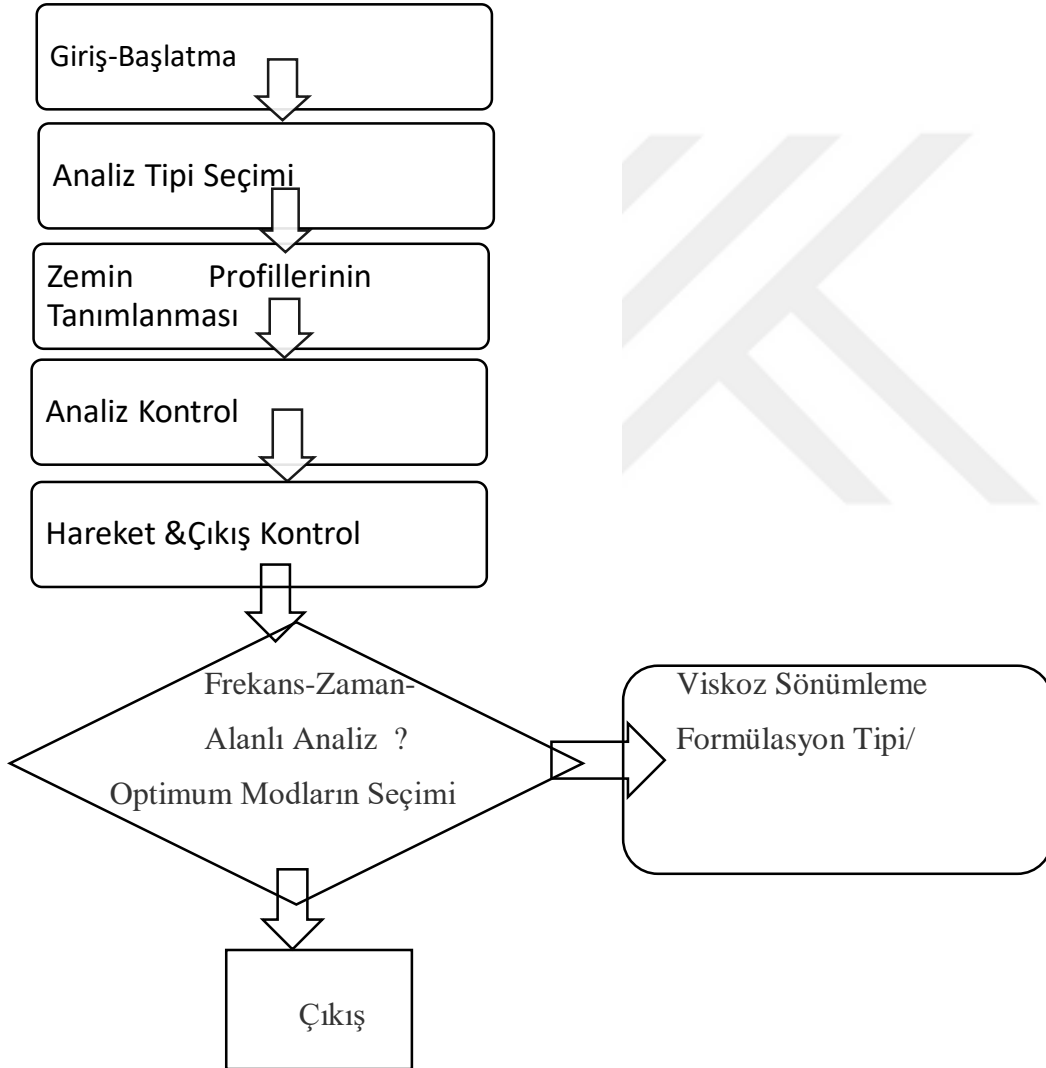
5.1. Deepsoil Programı ile Eşdeğer Doğrusal Analiz

Zemin davranış analiz çalışmalarında kullanılmakta olan yazılımlardan başlıcası Schanabel (1972) tarafından geliştirilen zemin-kaya tabakaları içinde, düşey yönde hareket eden kayma dalgalarının etkisinde oluşan dalga yayılma çözümlmelerini temel alan SHAKE yazılımıdır. 1998 yılında SHAKE yazılımının temel varsayımlarını dikkate alarak EERA (Equivalent Linear Earthquake Response Analysis) yazılımı geliştirilmiştir. EERA, FORTRAN 90 kullanılarak hazırlanmış olup bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yapmaktadır. EERA'nın girdi ve çıktı verileri EXCEL programı ile ilişkilendirildiği için DOS ortamında çalışan SHAKE yazılımı daha kullanıcı dostudur.

Bu çalışmada tercih edilen Deepsoil yazılımı ise bir boyutlu zemin davranış analizlerin çalışma prensibine dayalı olarak ilk 1998 yılında geliştirilmiştir. Deepsoil ile hem frekans hem de zaman tanım alanında çözümler ele alınmakta, yani hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılabilmektedir (Hashash, 2016). Deepsoil yazılımına sınırsız sayıda zemin tabakası tanımlanabilmekte ve bu tanımlanan her bir tabaka için analizler sonucunda ivme, gerilme, gerilme-zaman, Fourier davranış spektrumu, Fourier amplifikasyon oranı spektrumu ve tanımlanan zemin katmanları için davranış spektrumları elde edilmektedir. Şekil 5.1'de programın çalışma şematığı gösterilmiştir.

Eurocode-8, IBS 2018 ve TBDY (2018)'in de içinde bulunduğu günümüz deprem yönetmeliklerinin çoğunda tasarım ve performans değerlendirmesi için zaman tanım alanındaki analiz yönteminin kullanılması önerilmektedir. Analizler için önerilen deprem verilerinde genellikle bölgesel deprem tehlikesi ve yerel zemin koşulları ile uyumlu tasarım spektrumları ya da zaman tanım alanında seçilen ivme kayıtları esas alınmaktadır. Bu nedenle analizlerde sentetik veya gerçek ivme kayıtlarının kullanılması gerekmektedir. Ancak deprem yönetmeliklerinde tanımlanan bölgesel tasarım davranış spektrumları ile analizde kullanılacak ivme kaydının belirli bir periyot aralığında uyumlu olması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan analizler için genellikle birden fazla ivme kaydı kullanılmakta ve gerektiğinde ivme değerlerinin ölçeklendirilmesi yapılmaktadır. TBDY 2018, **16.5.2.5'** de "zemin yüzeyindeki sahaya özel deprem spektrumunun belirlenmesi için,

her bir spektral periyot için zemin yüzeyi spektral ivmesinin taban kayası spektral ivmesine oranı her bir kayıt için hesaplanacak, daha sonra bu oranların en az on bir kayıt için ortalaması, ilgili periyot için yerel zemin etki katsayısı olarak tanımlanacaktır " ibaresi yer almaktadır. Bu katsayıların 2.3.4 veya 2.4.1'de tanımlanan taban kayası spektrumu ile çarpılması sonucunda, zemin yüzeyinde sahaya özel deprem spektrumu belirlenmiş olacaktır" ifadesi yer almaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında 11 farklı ivme kaydı kullanılarak analizler yapılmıştır.



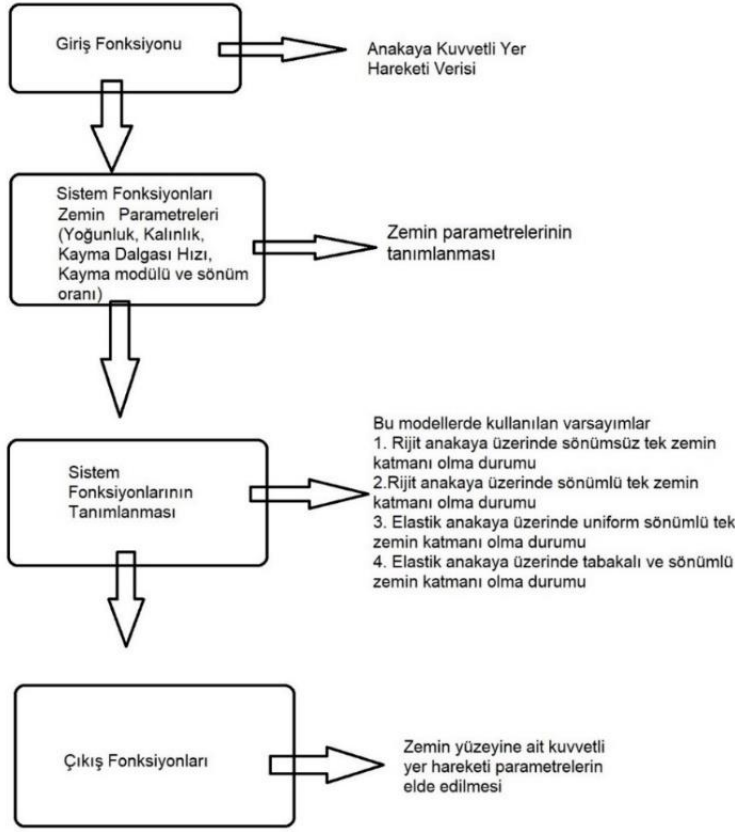
Şekil 5.1. Deepsoil programı çalışma şeması

Ülkemiz sınırlarında geçmişte meydana gelmiş büyük depremler genellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerindedir. KAFZ yaklaşık 1200 km uzunluğu ile Bingöl-Karlıovadan başlayarak Biga yarımadası ve Saros körfezine kadar uzanmaktadır. KAFZ' nin

doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay zonu olduğu, ilk kez 27 Aralık 1939 büyük Erzincan depremi ($M_w=7.8$) ve bu depremi izleyen 1942, 1943 ve 1944 depremlerinden sonra yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkmıştır (Ketin, 1948). Bu nedenle bu çalışmada KAFZ üzerinde günümüze en yakın zamanda meydana gelmiş $M_w>6.0$ depremlere ait 3 farklı istasyondan elde edilmiş ivme kayıtları kullanılmıştır. Buna ek olarak farklı ülkelerde sağ yönlü doğrultu atımlı fay üzerinde meydana gelmiş yine $M_w>6.0$ depremlere ait 8 farklı istasyondan elde edilmiş ivme kayıt verisi kullanılarak, toplam 11 farklı ivme kayıt verisi için analizler yapılmıştır.

Çalışmada bir boyutlu zemin davranış analizleri öncelikle frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal olarak gerçekleştirilmiştir. Girdi olarak zemin tabakalarının kalınlıkları, zemin birim hacim ağırlıkları ve kayma dalgası hızı değerleri kullanılmıştır.

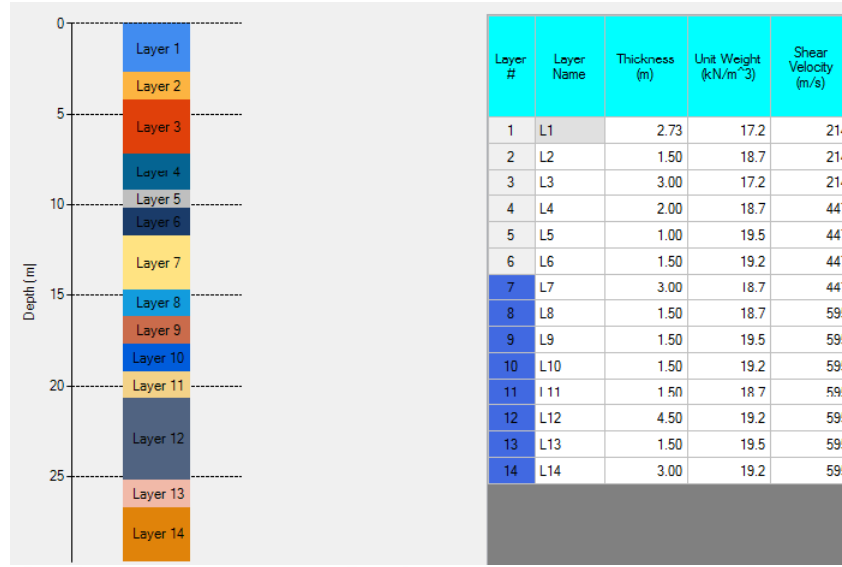
Deepsoil yazılımının eşdeğer doğrusal yaklaşım prensibine ait akış diyagramı Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu yaklaşıma göre giriş fonksiyonu anakaya kuvvetli yer hareketi verisidir. Sistem fonksiyonları ise zemin parametreleridir. Zemin parametrelerinin her bir zemin tabakası için girişinden sonra sistem fonksiyonlarının tanımlanması gelmektedir. Bu tanımlama karmaşık jeolojik şartlara göre transfer fonksiyonların kullanıldığı zemin modellerinin seçilmesidir. Çıkış fonksiyonu olarak zemin yüzeyine ait kuvvetli yer hareketi parametrelerinin elde edilmesidir.



Şekil 5.2. Eşdeğer doğrusal yaklaşım prensibinin şematik olarak gösterimi

Eşdeğer doğrusal yaklaşımda zeminin kayma modülü ve sönüm oranının her zemin tabakası için sabit olduğu kabul edilir. Ancak yöntemde zemin tabakalarının plastisite indisi veya efektif gerilmelere bağlı olarak kayma modülü oranı (G/G_{max}) - sönüm oranının birim deformasyonla değişen ilişkisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kumlu zeminler için Seed ve Idriss (1990) ortalama eğrileri ile killi zeminler için Darendeli (2001) eğrileri kullanılmıştır (Seed ve Idris, 1991; Darendeli 2001)

Deprem ivmeleri girdi olarak tanımlandıktan sonra yazılıma 30 m derinliği temsil eden zemin tabakalarının birim hacim ağırlıkları, zemin sınıfı özellikleri ve kayma dalgası hızları tanımlanmıştır (Şekil 5.3). Analiz sonucunda sayısal ve grafiksel olarak, analizde kullanılan her bir kuvvetli yer hareketine göre zemin yüzeyine ait deprem parametreleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında tanımlanan her sondaj örneğine ait zemin yüzeyi kuvvetli yer hareketi parametreleri belirlenmiş, çalışma alanını temsil eden 4 bölge de kendi içinde olmak üzere değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 5.3. Deepsoil yazılımında eşdeğer doğrusal analiz çalışmaları için tanımlanan örnek sondaj verisi

5.1.1. Sahaya özel yerel zemin koşullarının belirlenmesi

Günümüzde depremler neticesinde oluşan yapısal hasarlar yerel zemin koşulları ve yapının dayanımına bağlı olarak farklılaşmaktadır. Aynı depremde yakın bölgede farklılaşan zemin koşulları nedeniyle farklı ivme kayıtları elde edilmekte ve bu da yerel zemin koşullarının kuvvetli yer hareketini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. 1957 San Francisco depremini inceleyen araştırmacılar yerel zemin koşullarının kuvvetli yer hareketini değiştirdiğini ve buna bağlı olarak yapısal hasarlarında farklılaştırdığı ile ilgili ilk teoriyi ortaya koymuşlardır (Kramer, 1996).

2019 tarihine kadar kullanılan Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007(TDY 2007)'dir. Bu yönetmelik 1998 yönetmeliği ile hemen hemen aynıdır. TDY 2007'de Tablo 6.1'de yerel zemin sınıflarını belirlemek için önce A, B, C ve D olarak zemin grupları tanımlanmakta, tanımlanan zemin gruplarına bağlı olarak (Tablo 6.2) yerel zemin sınıfları belirlenmektedir (TDY, 2007) (Şekil 5.4).

TABLO 6.1 – ZEMİN GRUPLARI

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.... 2. Çok sıkı kum, çakıl..... 3. Sert kil ve siltli kil.....	— > 50 > 32	— 85–100 —	> 1000 — > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tuf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar.... 2. Sıkı kum, çakıl..... 3. Çok katı kil ve siltli kil....	— 30–50 16–32	— 65–85 —	500–1000 — 200–400	700–1000 400–700 300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar..... 2. Orta sıkı kum, çakıl..... 3. Katı kil ve siltli kil.....	— 10–30 8–16	— 35–65 —	< 500 — 100–200	400–700 200–400 200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları.... 2. Gevşek kum..... 3. Yumuşak kil, siltli kil....	— < 10 < 8	— < 35 —	— — < 100	< 200 < 200 < 200

TABLO 6.2 – YEREL ZEMİN SINIFLARI

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 6.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Şekil 5.4. TDY 2007'ye göre zemin grupları ve yerel zemin sınıfları tablosu

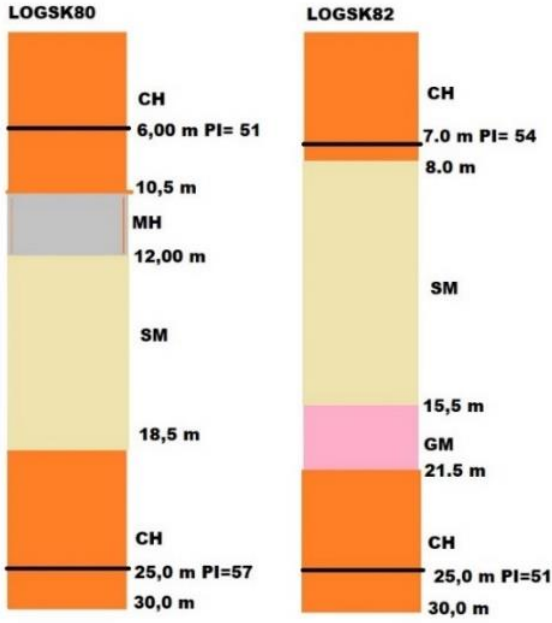
Çalışma kapsamında kullanılan her sondajın TDY 2007'ye göre yerel zemin sınıfı belirlenmiş ve belirlenen bu zemin sınıfına göre CBS'de bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı coğrafik nesnelere öz nitelik bilgilerini içermekte ve ön nitelik verileri kullanılarak sayısal modeller oluşturulabilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde CBS kullanılarak yapılan analizler ve haritalar, çalışma alanındaki zemin özelliklerinin değerlendirilmesinde, deprem risk haritalarının oluşturulmasında ve yeni yerleşim alanlarının kullanıma açılmadan önce imar planlarının ortaya konmasında etkin rol oynamaktadır. Oluşturulan bu veri tabanından CBS enterpolasyon yöntemlerinden ters mesafe ağırlık (Inverse Distance Weighting) (IDW) yöntemi kullanılarak çalışma alanının yerel zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.5). IDW yöntemi örnek bulunan noktalardan bulunmayan noktaların tahmin edilmesinde/kestirilmesinde kullanılan bir enterpolasyon yöntemidir (Watson ve Philip., 1985).

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 killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Şekil 5.6. TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfları tablosu

Çalışma alanını temsil eden 42 sondaj için TBDY 2018'de Tablo 16.1'de önerilen yerel zemin sınıfı tablosuna göre arazide yapılmış sismik kırılma çalışmalarından kayma dalgası hızları V_s , sondajlardan SPT- $(N_{60})_{30}$ değerleri kullanılarak, yerel zemin sınıfları belirlenmiştir (TBDY 2018) (Şekil 5.6). Ayrıca bazı ince daneli zeminler için zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri de göz önüne alınmıştır (PI , w , c_u).

TBDY 2018'e göre çalışma alanı için belirlenen yerel zemin sınıfı değerleri CBS'de jeostatistiksel yöntemlerden yine IDW yöntemiyle haritalanarak çalışma alanını temsil eden TBDY 2018 yerel zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.7). TBDY 2018'e göre oluşturulan bu harita göz önüne alındığında Eskişehir şehir merkezinde, özellikle Porsuk ve çevresinde yerleşimin yoğun olduğu bazı mahallelerde ZF zemin sınıfı tipine rastlanılmaktadır.



Şekil 5.8. LOGSK80 ve LOGSK82 nolu sondajların kesit örneği

5.1.2. Deprem yer hareketi spektrumu

5.1.2.1. Zaman tanım alanında deprem yer hareketinin tanımlanması

Depremlerin belirli bir bölge için etkilerinin değerlendirilmesi ve belirlenebilmesi için gerekli parametreler kuvvetli yer hareketinin özelliklerini oluşturmaktadır. TBDY 2018 2. bölümünde bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında bir, iki veya üç boyutlu deprem hesabında gerekli kuvvetli yer hareketinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi önerilmiştir (TBDY, 2018). Ayrıca belirli bir yıl için, aşılma olasılığı ve tekrarlanma periyotuna bağlı tanımlanan Deprem Hareket Seviyeleri TBDY 2018’de aşağıdaki gibi verilmiştir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri: (TBDY 2018, Bölüm 2.2)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

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

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

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

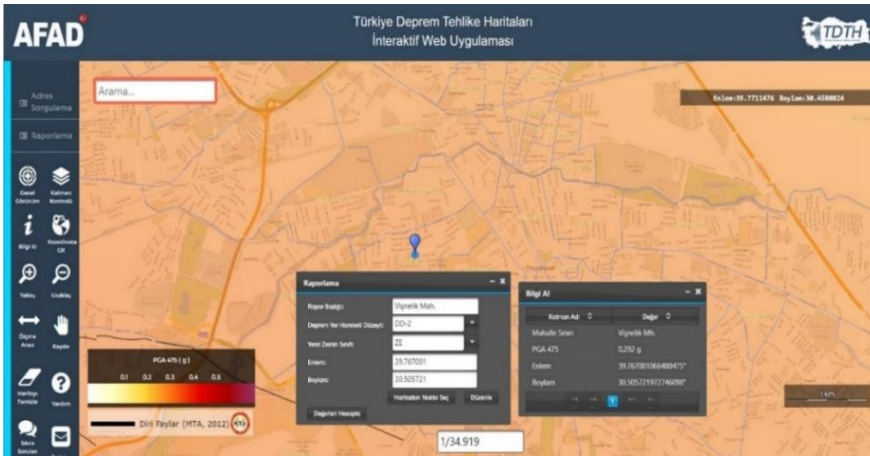
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

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

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

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

TBDY 2018’de dört guruba ayrılan deprem yer hareketi düzeylerine göre DD-1; oluşma sıklığı az olan en büyük deprem yer hareketini temsil etmekte, büyüklüklerine göre azalarak DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak sınıflandırılmaktadır. DD-2; standart tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bina tasarımında (konut, işyeri vb.) sıklıkla kullanılan deprem yer hareketi düzeyi DD-2’dir. Ancak hastane, okul ve nükleer santral gibi önem derecesi yüksek yapıların tasarımı için DD-1 deprem yer hareketi düzeyi kullanılmaktadır. AFAD’ın Türkiye Deprem Tehlike Haritası verilerinde Eskişehir için önerdiği seviye de DD-2’dir. Bu çalışma kapsamında öncelikle inceleme alanı sınırları içerisinde yer alan mahaller için AFAD tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasında DD-2 yer hareketi düzeyi için deprem karakteristikleri belirlenmiş ve bu özellikler bir tabloda toplanmıştır (Şekil 5.9) (Çizelge 5.1).



Şekil 5.9. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Çizelge 5.1. İnceleme alanı sınırları içerisinde yer alan mahallelere ait AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan belirlenen deprem karakteristikleri

Mahalle	Zemin Sınıfı	S _s	S ₁	S _{DS}	PGA	PGV
Güllük	ZE	0.674	0.181	0.958	0.286	17.264
Cumhuriye	ZE	0.674	0.181	0.958	0.286	17.267
Eskibağlar	ZE	0.673	0.181	0.958	0.286	17.260
Aşağısöğütönü	ZB	0.667	0.180	0.600	0.282	17.082
Osmangazi	ZE	0.684	0.183	0.961	0.291	17.517
Zincirlikuyu	ZC	0.668	0.180	0.824	0.283	17.118
Şirintepe	ZC	0.670	0.180	0.825	0.284	17.176
Sakintepe	ZB	0.660	0.178	0.594	0.279	16.921
Yeşiltepe	ZC	0.664	0.179	0.820	0.281	17.019
Sütlüce	ZC	0.659	0.178	0.815	0.279	16.905
Esentepe	ZC	0.656	0.177	0.812	0.278	16.827
Muttalıp	ZE	0.661	0.178	0.953	0.281	16.948
Fevziçakmak	ZE	0.640	0.174	0.945	0.272	16.455
Şeker	ZE	0.652	0.176	0.950	0.277	16.741
Ömerağa	ZE	0.668	0.179	0.956	0.284	17.133
Tunalı	ZE	0.666	0.179	0.955	0.283	17.091
Bahçelievler	ZE	0.667	0.179	0.956	0.283	17.093
Yenibağlar	ZE	0.673	0.181	0.958	0.286	17.241
Mustafa Kemal Paşa	ZE	0.674	0.181	0.958	0.287	17.280
İhsaniye	ZE	0.673	0.180	0.958	0.286	17.254
Hacıalibey	ZE	0.674	0.180	0.958	0.286	17.264
Hoşnudiye	ZE	0.679	0.182	0.960	0.288	17.397
Sümer	ZE	0.694	0.185	0.964	0.295	17.744
Kırmızıtoprak	ZE	0.684	0.183	0.961	0.291	17.510
Vişnelik	ZE	0.686	0.183	0.962	0.291	17.550
İstiklal	ZE	0.678	0.181	0.960	0.288	17.376
Arifiye	ZE	0.679	0.181	0.960	0.289	17.394
Göztepe	ZE	0.690	0.183	0.963	0.293	17.643
Yenikent	ZB	0.688	0.183	0.619	0.293	17.590
Büyükdere	ZD	0.694	0.184	0.864	0.295	17.735

S_s: kısa periyot dönemi için spektral ivme

S₁: 1 saniye periyot için spektral ivme

S_{DS}: Yatay elastik tasarım spektrumu

PGA: pik yer ivmesi

PGV: pik yer hızı

5.1.2.2. Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

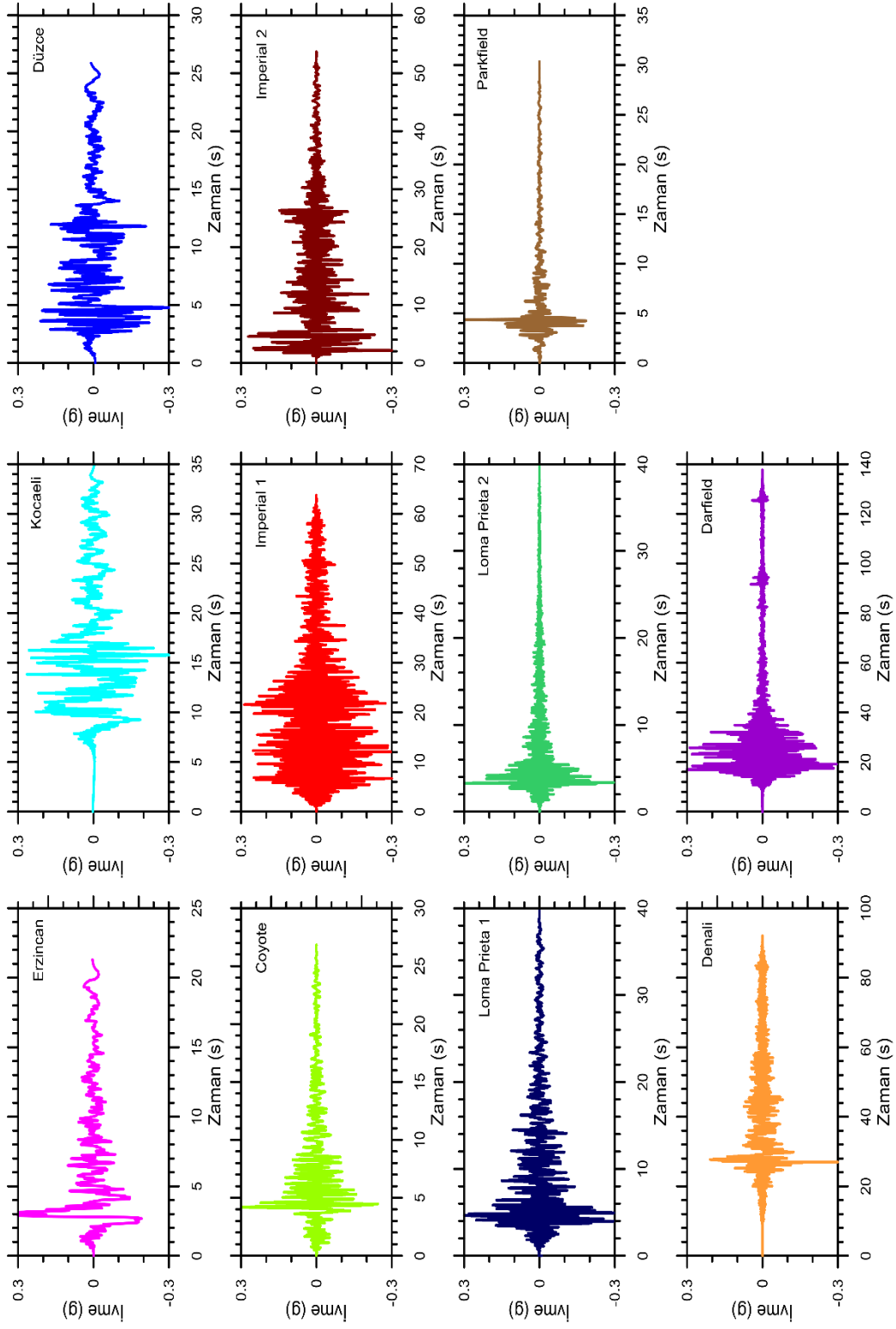
TBDY 2018’de depreme dayanıklı yapıların tasarımında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde, tasarıma esas kuvvetli yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, faya uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşullarının dikkate alınması önerilmektedir (TBDY, 2018).

Çalışmada zemin davranış analizler (eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan)’nde sentetik deprem kaydı üretmek yerine gerçek deprem kayıtları kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan 11 ivme kaydı Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi PEER veri tabanından (Pasific Ground Motion Database) elde edilmiştir. Bu veri tabanında dünyanın önemli aktif deprem kuşaklarında yer alan çoğu deprem verisi kullanıcıya indirme ve kullanma imkanı sunulmaktadır. Her bir deprem verisine ait deprem kayıt istasyonlarında kaydedilmiş, ivme, hız ve yer değiştirme verileri dosyalar halinde kullanıcıya sunulmaktadır. Bu tez çalışmasında PEER veri tabanından alınmış 8 deprem verisine ait kayıtlar sismik risk, zemin özelliği, fay tipi, deprem büyüklüğü gibi özelliklere bağlı olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan $M_w > 6.0$ büyüklüğe sahip ve doğrultu atımlı fay üzerinde meydana gelmiş, zemin özellikleri ve sismik risk durumu (Fay uzaklığı: 0-40 km, V_{S30} : 360-760) yakın olduğu varsayılan 11 farklı istasyondan alınmış ivme kayıtları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan yer hareketi verileri (PEER, 2006).

Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Büyükük	Fay Türü
Erzincan	1992	Erzincan-Merkez	6.69	Doğrultu Atımlı Fay
Kocaeli (Yarımca İstasyonu)	1999	Yarımca	7.2	Doğrultu Atımlı Fay
Düzce	1999	Düzce-Merkez	7.14	Doğrultu Atımlı Fay
Coyote Lake	1979	SJB Overpass	5.7	Doğrultu Atımlı Fay
İmperial Valley 1	1979	Calipatria Fire	6.5	Doğrultu Atımlı Fay
İmperial Valley 2	1940	El Centro Array-9	6.9	Doğrultu Atımlı Fay
Loma Prieta 1	1989	Gilroy Array 3	6.9	Doğrultu Atımlı Fay
LomaPrieta 2	1989	Gilroy Array 4	6.9	Doğrultu Atımlı Fay
Parkfield	1966	Benioff	6.1	Doğrultu Atımlı Fay
Denali Alaska	2002	TAPS Pump-10	7.9	Doğrultu Atımlı Fay
Darfield New Zeland	2010	DSLÇ	7	Doğrultu Atımlı Fay

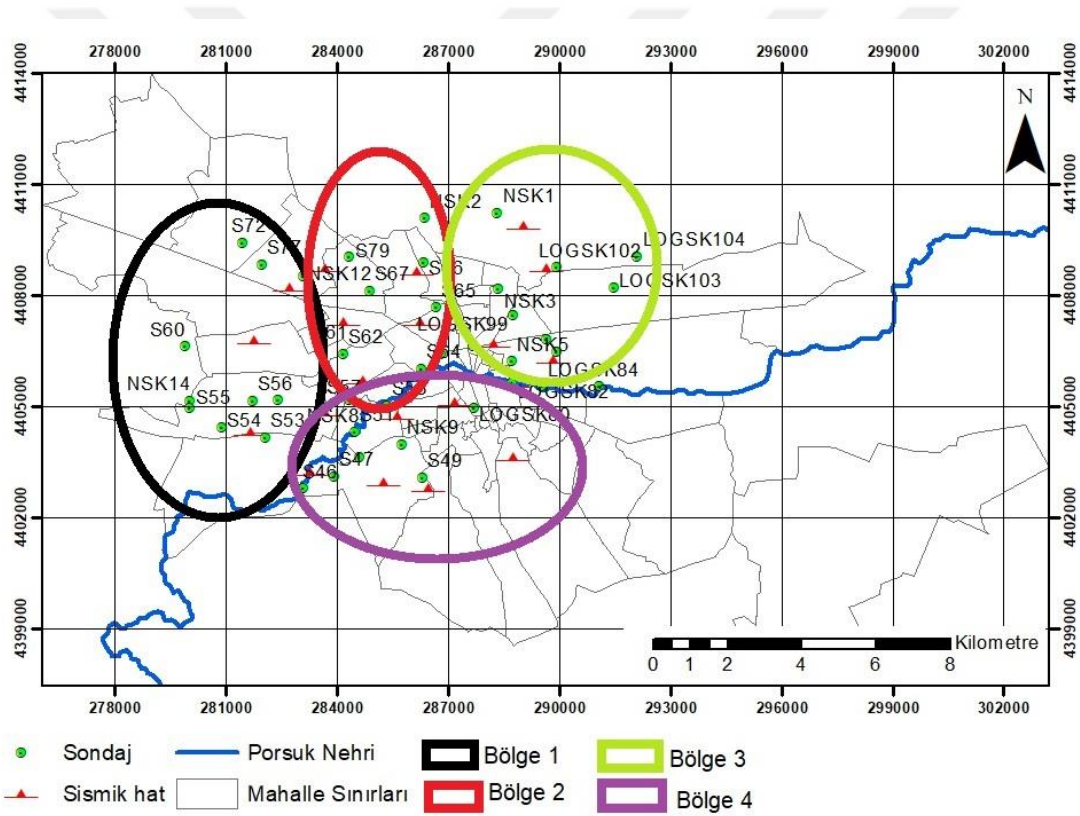
Deepsoil 6.1. yazılımında eşdeğer doğrusal yaklaşım prensibine göre 42 sondaj üzerinde 11 farklı kuvvetli yer hareketi verisi kullanılarak toplam 462 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan Çizelge 5.1'de verilen Eskişehir şehir merkezi mahallelerine ait PGA(g) değerlerinin 0.272 ile 0.295 olduğu arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 5.1). Bu nedenle çalışmada kullanılan deprem kayıtları $PGA(g) = 0.3$ ve DD2 durumuna göre ölçeklendirilerek analizler yapılmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan (nonlinear) analizlerde kullanılan $PGA=0.3$ g olarak ölçektendirilmiş deprem verileri

5.1.2.3. Çalışma alanında yer alan sondajların bölgelere ayrılması

Çalışma alanı sınırları içerisinde 30 metre derinliğe sahip 42 sondaj ve sondaj noktalarına yakın noktalarda sismik (sismik kırılma ve yansıma) çalışmalarının yapıldığı lokasyonlar göz önünde bulundurularak çalışma alanı 4 bölgeye ayrılmıştır. Her bölge kendi içinde değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 1. ve 2. Bölgede 11 sondaj, 3. ve 4. Bölgede 10 sondaj ve 22 farklı lokasyonu temsil eden sismik ölçümler kapsamında analizler gerçekleştirilmiş (Şekil 5.11) ve her sondaj için zemin yüzeyi spektral parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 5.11. Çalışma alanının bölgelere ayrılması

Zemin davranış analiz uygulamalarında çalışma alanı hücrelere ayrılarak değerlendirmeler yapmak yaygın bir uygulamadır. Bölünen grid hücreleri; çalışma alanı içerisinde yapılmış, jeolojik, sismik ve geoteknik verilere bağlıdır. Literatürde en yaygın grid boyutları; 1000 m x 1000 m, 500 m x 500 m'dir. Grid boyutları 250 m x 250 m olan daha detaylı çalışmalarda yer almaktadır. Zeminin sismik davranışı bazı araştırmacılar

suyu bulunmamakta, 7 metreye kadar CH-MH zemin sınıflarından oluşmakta ve plastisite indisi (PI) ilk 7 m 21-36 arasında değişmektedir. S62 sondajında ise yeraltı suyu seviyesinin 2.60 m, ilk 7 metresi ML-CL zemin sınıflarından oluşmakta ve PI 12-19 arasında değişmektedir. Her iki sondaj içinde kayma dalgası hızları 0-11 m arası, 230 m/sn; 11-28 m arası 336 m/sn, 28-30 m arası 825 m/sn'dir. S60 sondajında yeraltı suyu seviyesi 10.5 m; ilk 10 m ML-MH zemin sınıflarından oluşmakta, kayma dalgası hızı 0-20 m arası 340 m/sn, 20-30 m arası 438 m/sn'dir. S72 sondajı yeraltı suyu seviyesi 13.40 m; zemin sınıfı ilk 7 m CL-SC aralanmalı; kayma dalgası hızı 0-8 m arası 238 m/sn, 8-30 m arası ise 622 m/sn'dir. NSK14 sondajında ise yeraltı suyu seviyesi 5.50 m, ilk 7 m CH-CL zemin sınıflarından oluşmakta, kayma dalgası hızı 0-7 m 168 m/sn, 7-25 m arası 384 m/sn, 25-30 m/sn 686 m/sn'dir. Bölge 1'in detaylı zemin sınıfı özellikleri verilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Çalışma alanı 1. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri

Derinlik	S61	S62	S65	NSK14	S53	S54	S55	S56	NSK11	S60	S72
0.00-3.50 m	CH (PI:36)	ML (PI:12)	MH (PI:16)	CH (PI:21)	SM	CL (PI:12)	CL (PI:16)	SM	SC	ML (PI:19)	CL (PI:20)
3.50-7.00 m	MH (PI:21)	CL (PI:19)	MH (PI:21)	CL (PI:20)	MH (PI:35)	CL (PI:18)	ML (PI:18)	SM	CL (PI:19)	ML (PI:11)	SC
7.00-10.5 m	CL (PI:18)	ML (PI:18)	CL (PI:18)	CH (PI:24)	CH (PI:36)	CH (PI:29)	CL (PI:19)	SM	CH (PI:22)	MH (PI:24)	CL (PI:18)
10.5-14.0 m	MH (PI:32)	SM	SM	SW-SM	CH (PI:39)	CL (PI:18)	CL (PI:18)	SM	SM	CH (PI:34)	SM
14.0-17.5 m	CL (PI:16)	SM	CH (PI:26)	SM	CH (PI:42)	CL (PI:18)	CL (PI:19)	CL (PI:22)	SW-SM	CH (PI:32)	CL (PI:19)
17.5-21.0 m	MH (PI:47)	SM	SM	SP	CH (PI:27)	CL (PI:20)	SM	MH (PI: 26)	SP-SC	CH (PI:31)	SC
21.0-24.5 m	MH (PI:48)	MH (PI:26)	MH (PI:39)	SM	CH (PI:40)	SC	SM	MH (PI:36)	SW-SM	ML (PI:12)	SC
24.0-27.5 m	CH (PI:76)	MH (PI:42)	MH (PI:41)	CL (PI:18)	MH (PI:30)	SM	ML (PI:22)	MH (PI:37)	SW	CL (PI:15)	CH (PI:37)
27.5-30.0 m	CH	MH	MH	CH (PI:23)	MH (PI:36)	SM	MH (PI:33)	MH (PI:24)	SM	CL (PI:18)	CH (PI:32)

Bölge 2'de S79 sondajı (yass:4.2 m) kayma dalgası hız profili 0-4 m arası 289 m/sn, 4-30 m arası 679 m/sn; zemin sınıfı özellikleri ise ilk 7 m kumlu zeminden oluşmakta (SM-SC), alt tabakalarda yüksek plastisiteli kil-silte (CH-MH) geçiş yapmaktadır. NSK12 sondajı (yass: 7 m); kayma dalgası hız profili 0-8 m arası 238 m/sn, 8-30 m arası 622 m/sn; zemin

sınıfı özellikleri ise 3.5 m'ye kadar yüksek plastisiteli kil ile başlamakta; killi kum ile devam etmekte, derinlerde kum tabakalarına geçiş yapmaktadır. Çalışma kapsamında Bölge 2'de analiz yapılan sondajların 30 m derinliği temsil eden zemin özellikleri Çizelge 5.4.'de verilmektedir.

Çizelge 5.4. Çalışma alanı 2. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri

Derinlik	S79	NSK12	NSK3	S77	S67	NSK1	NSK2	S66	LOGSK102	LOGSK103	LOGSK104
0.00-3.50 m	SM	CH (PI:18)	SM	CL (PI:14)	SM	CL (PI:20)	CH (PI:23)	CL (PI:18)	SM	SM	SM
3.50-7.00 m	SC	SC	CH (PI:20)	SC	CL (PI:21)	CL (PI:18)	CH (PI:20)	CL (PI:25)	CL (PI:23)	CH (PI:49)	CH (PI:31)
7.00-10.5 m	CH (PI:24)	CL (PI:21)	CH (PI:22)	CH	CL (PI:23)	SM	SW-SM	SC	SM	CL (PI:26)	SC
10.5-14.0 m	MH (PI:33)	SP-SM	CH (PI:24)	MH (PI:58)	CH (PI:30)	CL (PI:19)	SM	CL (PI:19)	SM	SM	SM
14.0-17.5 m	ML (PI:16)	SM	CH (PI:27)	MH (PI:37)	CL (PI:28)	SM	SC	CL (PI:18)	CL (PI:27)	GM	SM
17.5-21.0 m	CL (PI:15)	SM	SM	MH (PI:31)	CH (PI:30)	CH (PI:24)	SM	CH (PI:28)	CH (PI:36)	SM	SM
21.0-24.5 m	SC	SC	CH (PI:22)	CL (PI:20)	SM (PI:38)	CL (PI:21)	SW-SM	CL (PI:25)	CH (PI:35)	SM	SM
24.0-27.5 m	SM	SM (PI:30)	CH (PI:23)	SM	CL (PI:29)	CH (PI: 25)	CH (PI:25)	SC	SP-SM	GM	SM
27.5-30.0 m	SM	CH (PI:23)	SM	SC	CH (PI:37)	CH (PI: 24)	SM	SM	SM	GM	SM

Bölge 3 içerisinde analiz yapılan sondajların 30 m derinliği temsil eden zemin özellikleri Çizelge 5.5.'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Çalışma alanı 3. Bölge Birleştirilmiş Zemin sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı özellikleri

Derinlik	S64	NSK9	NSK10	S51	NSK8	S58	S49	S46	S47	S57
0.00-3.50 m	SM	CH (PI:20)	CH (PI:20)	SM	GM	CH (PI:29)	CL (PI:24)	SM	SM	ML
3.50-7.00 m	ML	CH (PI:21)	CH (PI:31)	SM	CH (PI:25)	CL (PI:17)	CH (PI:40)	CL (PI:25)	SM	CL
7.00-10.5 m	SM	CH (PI:22)	MH (PI:22)	GW	CL (PI:21)	CL (PI:18)	CH (PI:24)	SC	GW	ML
10.5-14.0 m	SW-SM	CH (PI:26)	SW-SM	GW	SM	SC	CH (PI:44)	CL (PI:19)	SM	SM
14.0-17.5 m	SP-SM	SP	SC	GW	SW-SM	SM	CH (PI:39)	CL (PI:18)	GW	SM
17.5-21.0 m	SM	CH (PI:22)	GC	GW	GM	SM	CH (PI:40)	CH (PI:28)	GM	SM
21.0-24.5 m	SC	CL (PI:19)	GM	SM	SC	SC	CH (PI:41)	CL (PI:25)	GM	SM
24.0-27.5 m	SM	CH (PI:22)	SM	SM	CH (PI:21)	CH (PI:30)	CH (PI:40)	SC	SM	SM
27.5-30.0 m	SM	GM	CH (PI:20)	MH (PI:41)	SC	SC	CH (PI:36)	SM	SM	GM

4. Bölgede yer alan sondajların 30 metre derinliğe bağlı değişen zemin özellikleri Tablo 5.6’da verilmiştir. Ayrıca 4. Bölgede TBDY 2018’e göre yerel zemin sınıfı ZF olarak tanımlanmış LOGSK80-LOGSK82 sondajları da yer almaktadır. Bu bölge genel olarak Porsuk ve Sarısu deresinin getirdiği sedimanların kil, silt, kum ve çakıllı seviyelerinden oluşmaktadır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Çalışma alanı 4. Bölge Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre belirlenmiş zemin sınıfı özellikleri

Derinlik	LOGSK85	LOGSK83	LOGSK92	NSK5	LOGSK80	LOGSK82	LOGSK84	NSK13	LOGSK81	LOGSK99
0.00-3.50 m	CH (PI:43)	CH (PI:43)	SM	CH (PI:23)	CH (PI: 49)	CH (PI:49)	CH (PI:50)	CH (PI:19)	CH (PI:48)	CL (PI:19)
3.50-7.00 m	CH (PI:40)	CH (PI:32)	CH (PI:38)	CH (PI:20)	CH (PI:50)	CH (PI:52)	CH (PI:52)	CH (PI:21)	SM	CH (PI:30)
7.00-10.5 m	SM	SM	CL (PI:27)	GP	CH (PI:52)	SM	CH (PI:31)	GM	CH (PI:51)	GP-GM
10.5-14.0 m	CH (PI:35)	SM	GM	SW	MH (PI:48)	SM	GM	CL (PI:18)	SM	GP-GM
14.0-17.5 m	GM	SM	SM	SW-SP	SM	GM	SP-SM	GW	CH (PI:38)	SP-SM
17.5-21.0 m	CL (PI:24)	SM	SM	SC	CH (PI:35)	GM	SM	SW-SM	CH (PI:54)	SM
21.0-24.5 m	CH (PI:39)	CH (PI:40)	CH (PI:44)	SM	CH (PI:38)	CH (PI:32)	CL (PI:24)	SM	SM	CH (PI:43)
24.0-27.5 m	CL (PI:24)	CH (PI:30)	CH (PI:34)	SP-SM	CH (PI:57)	CH (PI: 28)	CH (PI:40)	MH (PI:19)	SM	SC
27.5-30.0 m	CH (PI:36)	SM	SM	SC	CH (PI:33)	CH (PI: 33)	SM	SM	SM	SM

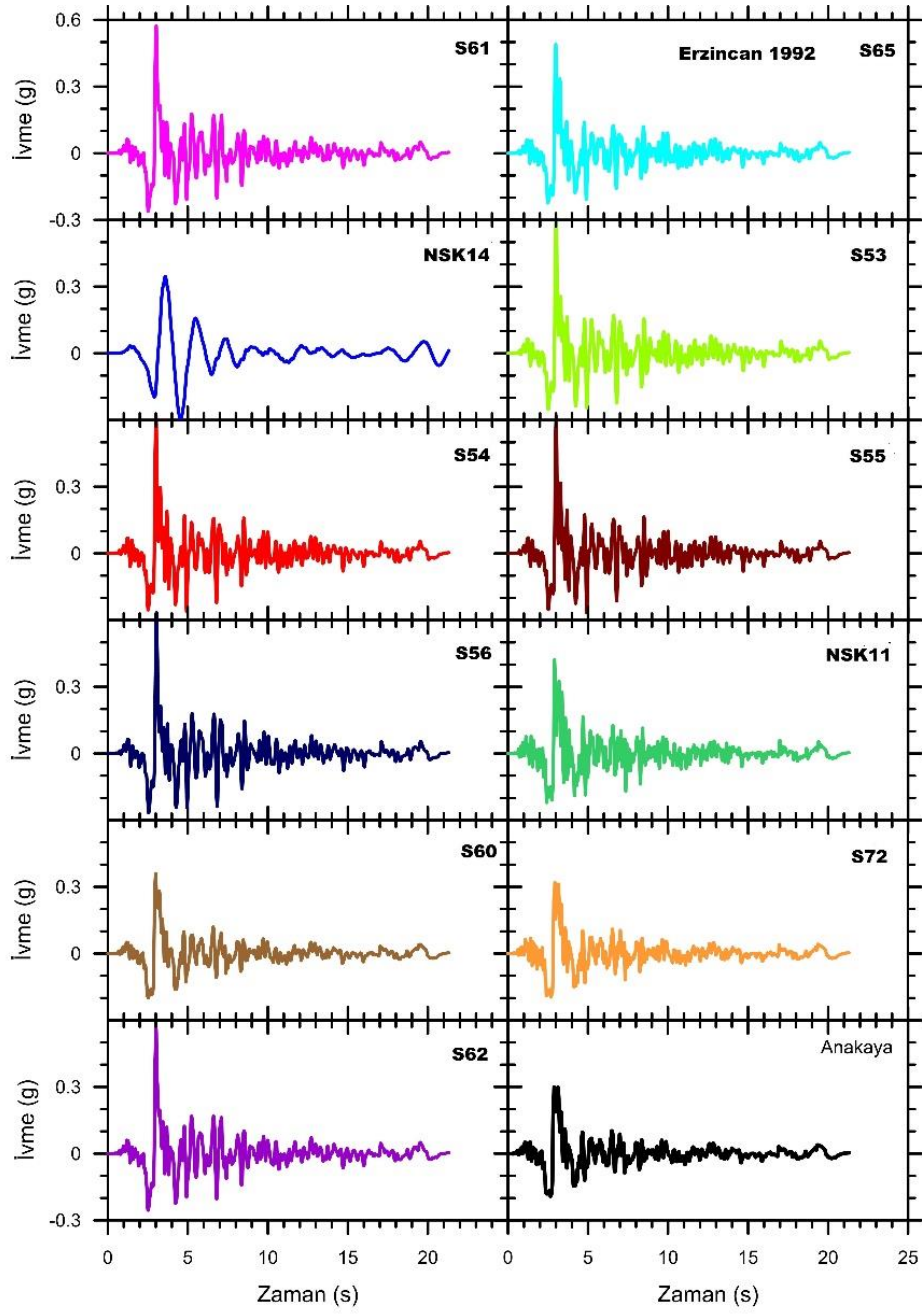
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1.Eşdeğer Doğrusal Analiz Çalışmaları Sonuçları

6.1.1. Sahaya özel zemin yüzeyinde oluşan ivme değerleri

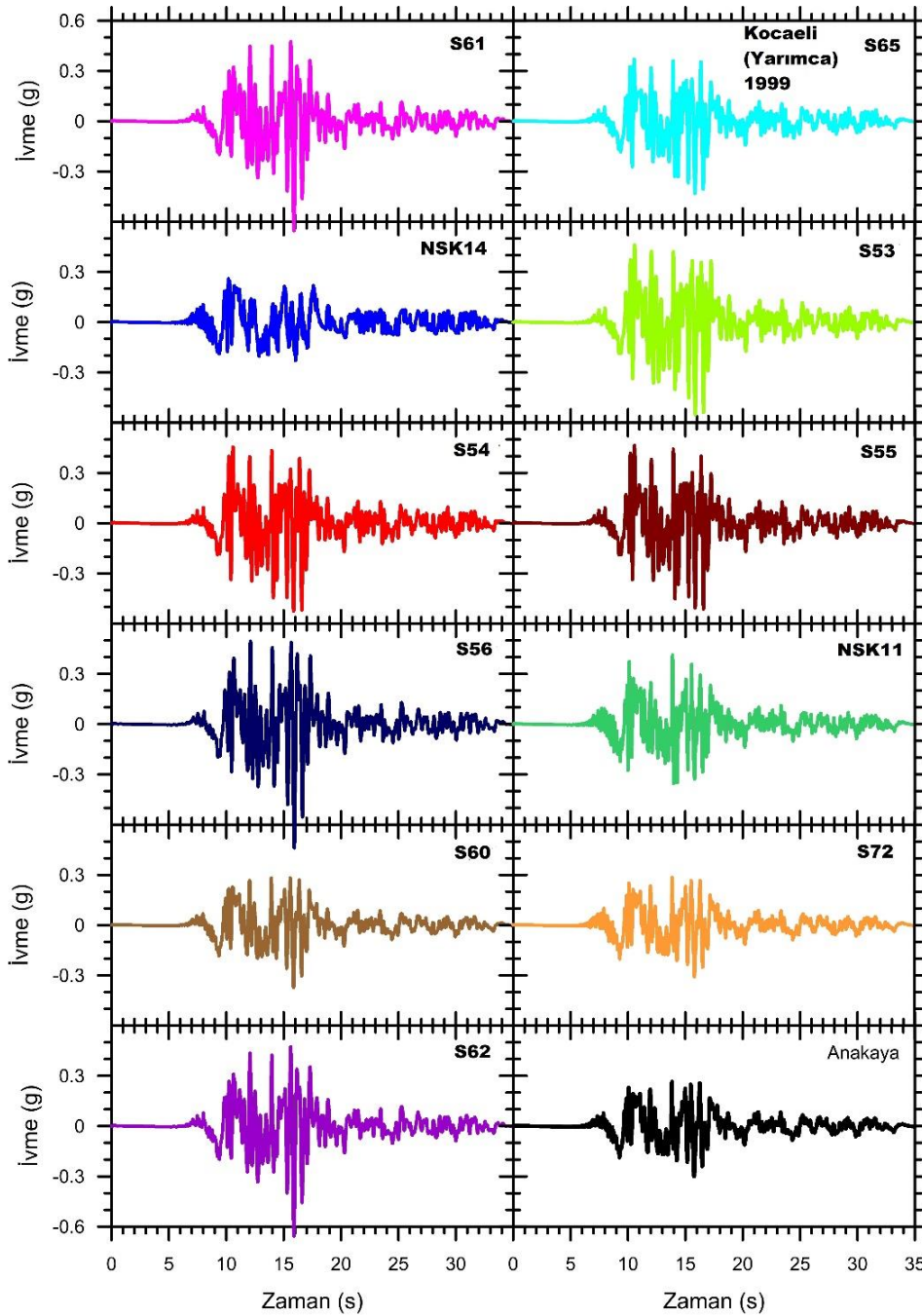
Eşdeğer doğrusal analiz çalışmaları sonucunda 4 Bölge için öncelikle zemin yüzeyinde oluşan ivme değerleri belirlenmiş ve bu değerlerden her bir sondaj için ivme-zaman grafikleri oluşturulmuştur.

Çalışmada öncelikle Sazaova, Ertuğrulgazi, Osmangazi, Sümer ve Batıkent gibi yerleşimin yoğun olduğu mahalleleri içeren 1. Bölge için analizler gerçekleştirilmiştir. Bölge 1 için öncelikle Erzincan 1992 deprem verisi kullanılarak 11 farklı sondaj noktası için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda öncelikle ivme-zaman grafikleri elde edilmiştir. Erzincan 1992 ivme kayıtlarından eşdeğer doğrusal analiz yönteminin uygulanmasıyla elde edilen ivme-zaman sonuçlarına göre pik ivmelerin S54, S55 ve S56 sondajlarında yaklaşık 0.6 g ve maksimum değere 2.5 saniyede ulaştığı görülmektedir. Ayrıca S72 ve S60 sondajından elde edilen ivme-zaman grafiklerinde anakaya ile yakın değerler olduğu görülmektedir (Şekil 6.1). Çalışmanın diğer 2,3 ve 4. Bölgeleri için de eşdeğer doğrusal analiz çalışmaları yapılmıştır. Buradan elde edilmiş ivme-zaman grafikleri de Ekler kısmında yer almaktadır.



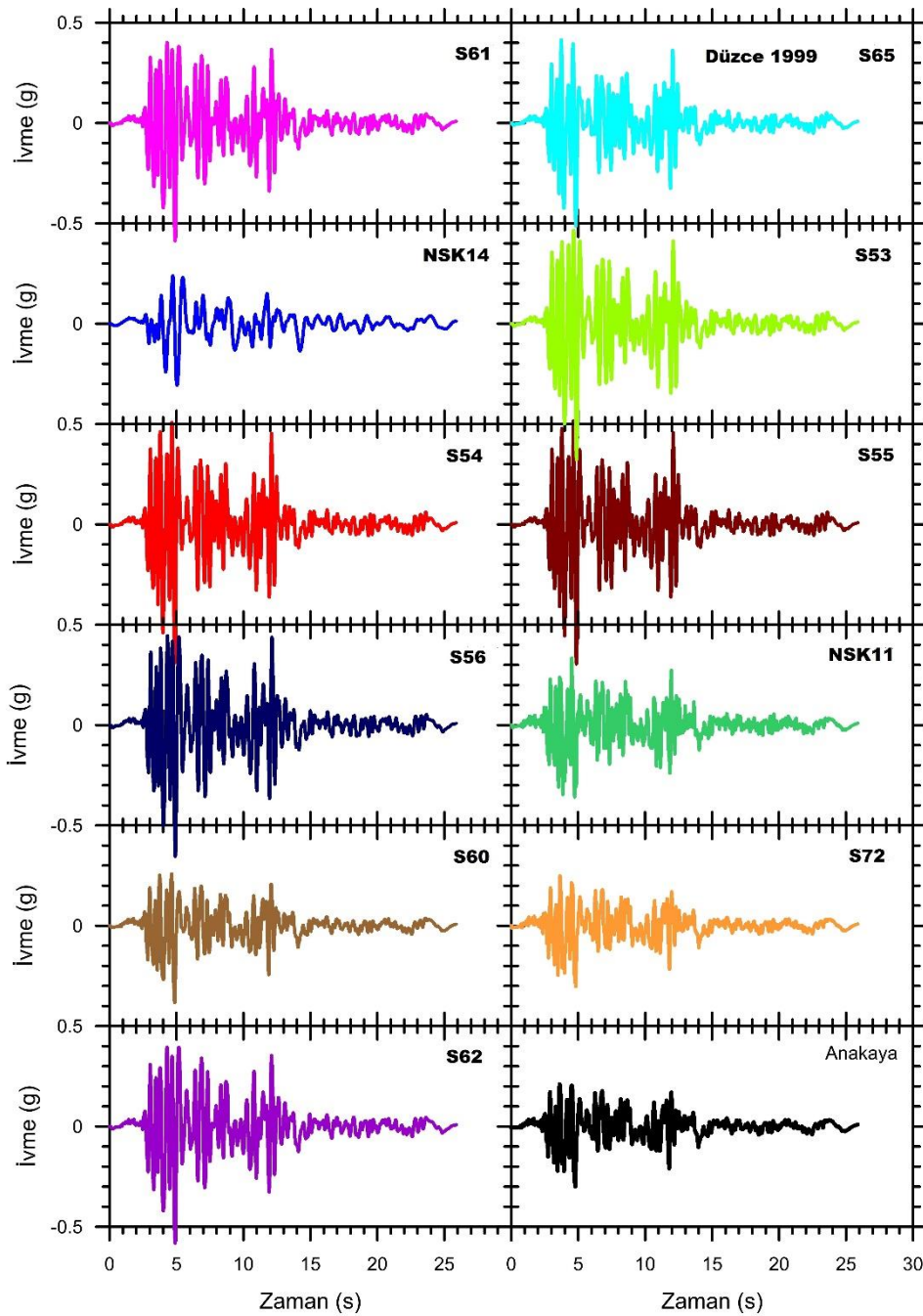
Şekil 6.1. Bölge 1 için Erzincan 1992 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Analizlerde ikinci deprem verisi olarak Kocaeli 1999 Yarımca istasyonuna ait veri kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda Bölge 1'de bulunan 11 sondaj için oluşturulan ivme zaman grafikleri Şekil 6.2.'de verilmiştir. Burada pik ivmelerin S61, S56 ve S62 sondajlarında 16. saniyede oluştuğu görülmektedir. S60 ve S72 sondajlarından ise anakayaya daha yakın ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.2).



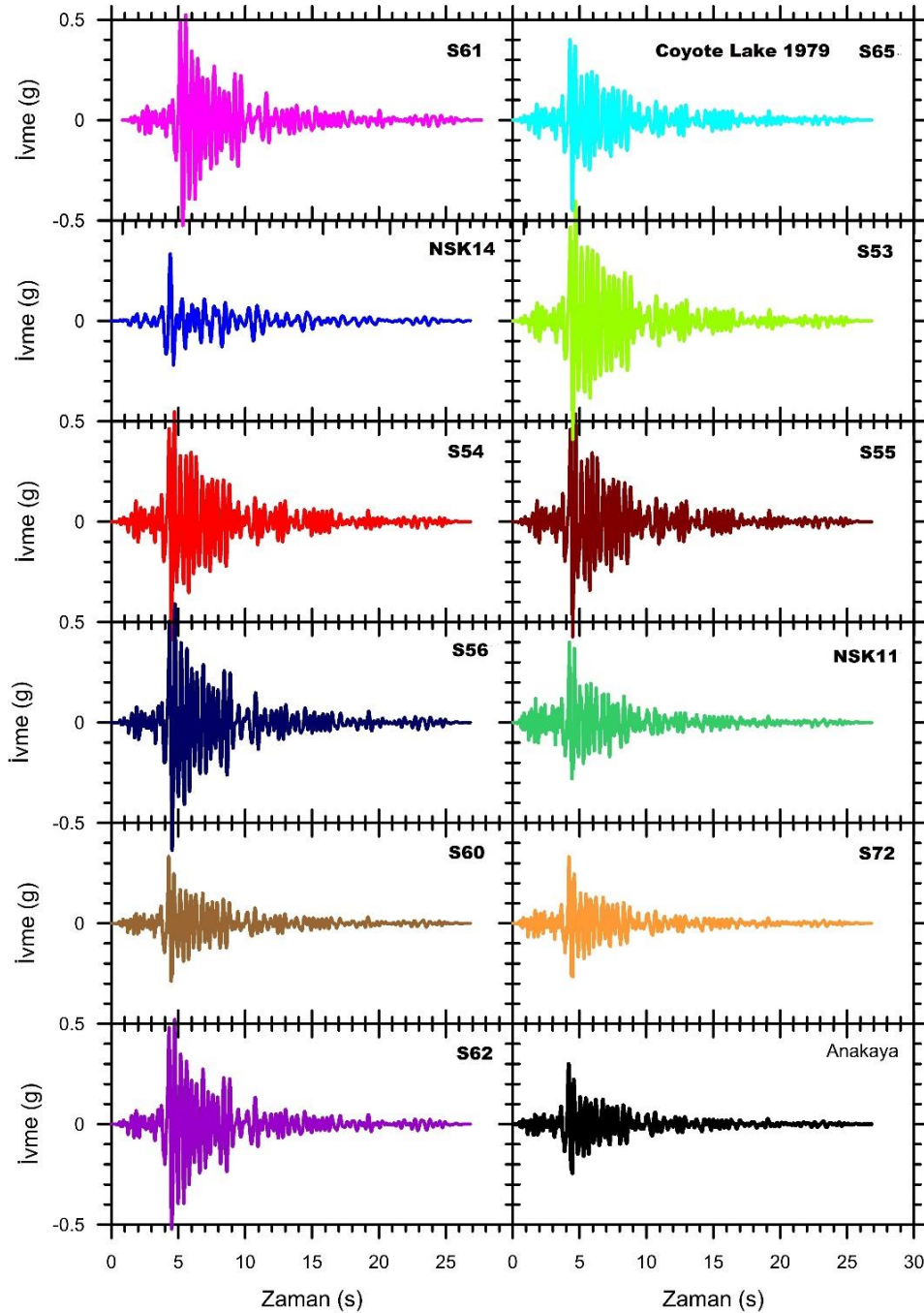
Şekil 6.2. Bölge 1 için Kocaeli (Yarımca) 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Bölgesel olarak kullanılan üçüncü deprem verisi Düzce 1999 kayıtlarına ait analiz sonucu Şekil 6.3’de verilmiştir. Pik ivmeler S61, S65, S53, S54, S55, S56 ve S62 sondajlarında görülmüştür. Max pikler S61 ve S65 sondajında 5. saniyede; S53, S54, S55 ve S56 sondajlarında 4. ve 5. saniyelerde gözlenmektedir.



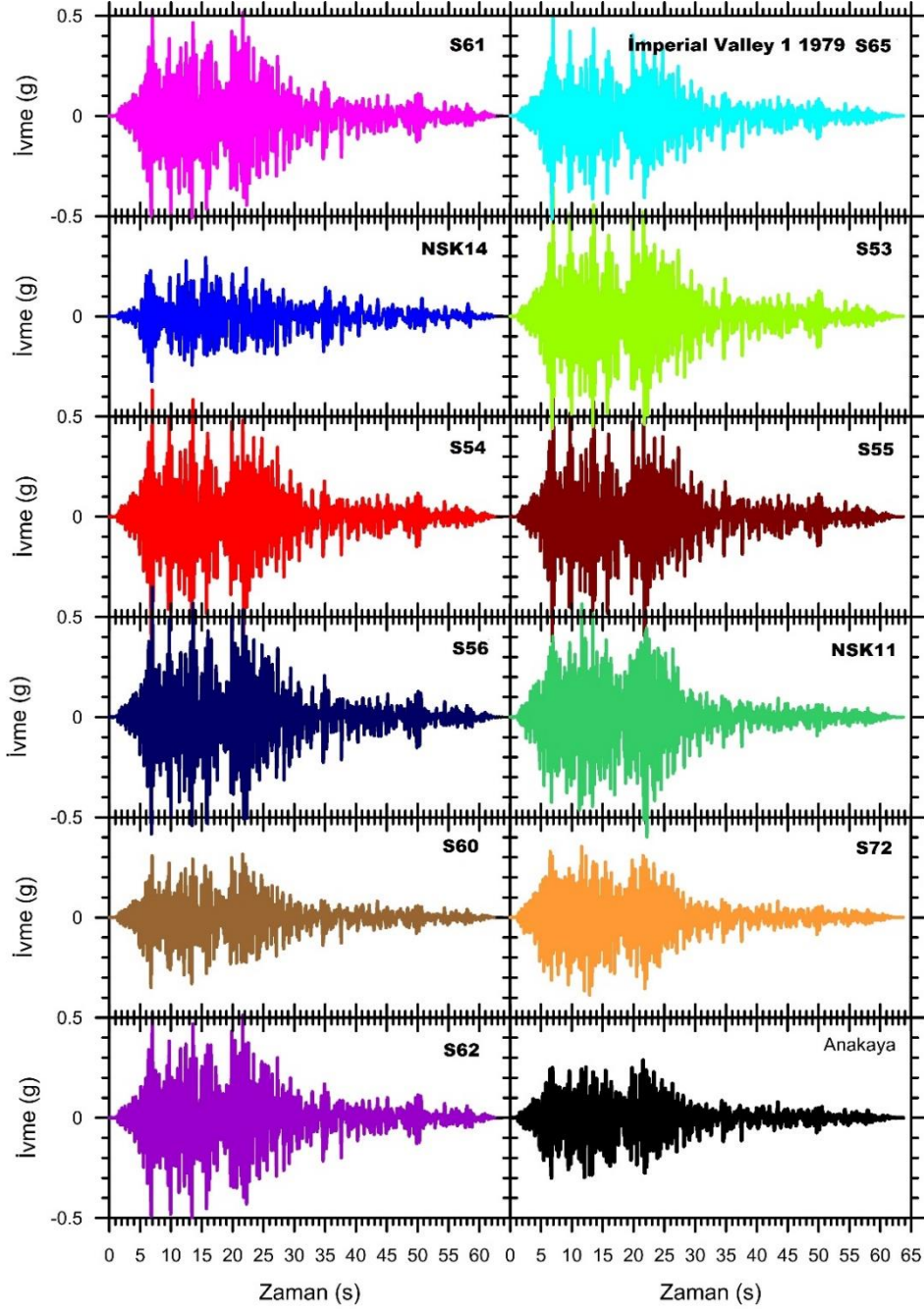
Şekil 6.3. Bölge 1 için Düzce 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Coyote Lake 1979 depremine ait ivme kaydı analiz sonuçları Şekil 6.4'de sunulmuştur. Pik ivmeler S61, S53, S54, S55 ve S56 sondajlarında gözlenmiş ve S61 sondajında 5. saniyede; S53, S54, S55 ve S56 sondajlarında 4.5 saniyelerde oluşmuştur.



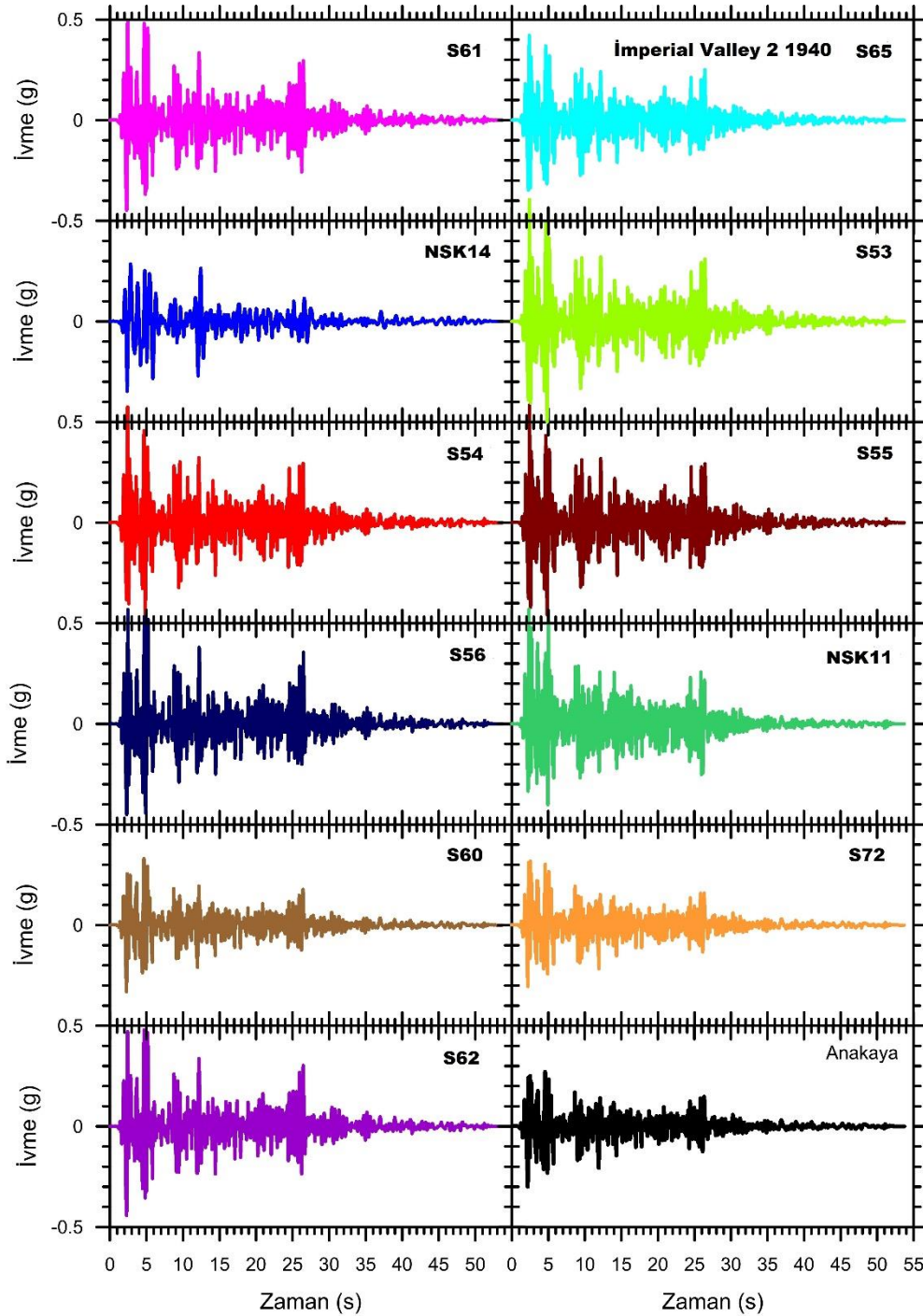
Şekil 6.4. Bölge 1 için Coyote Lake 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Imperial Valley 1 1979 depremine ait ivme kaydı sonuçlarına göre pik ivmeler S61, S65, S53, S54, S55, S56 ve NSK11 sondajlarında görülmüştür. S60 sondajından anakayaya en yakın ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.5).



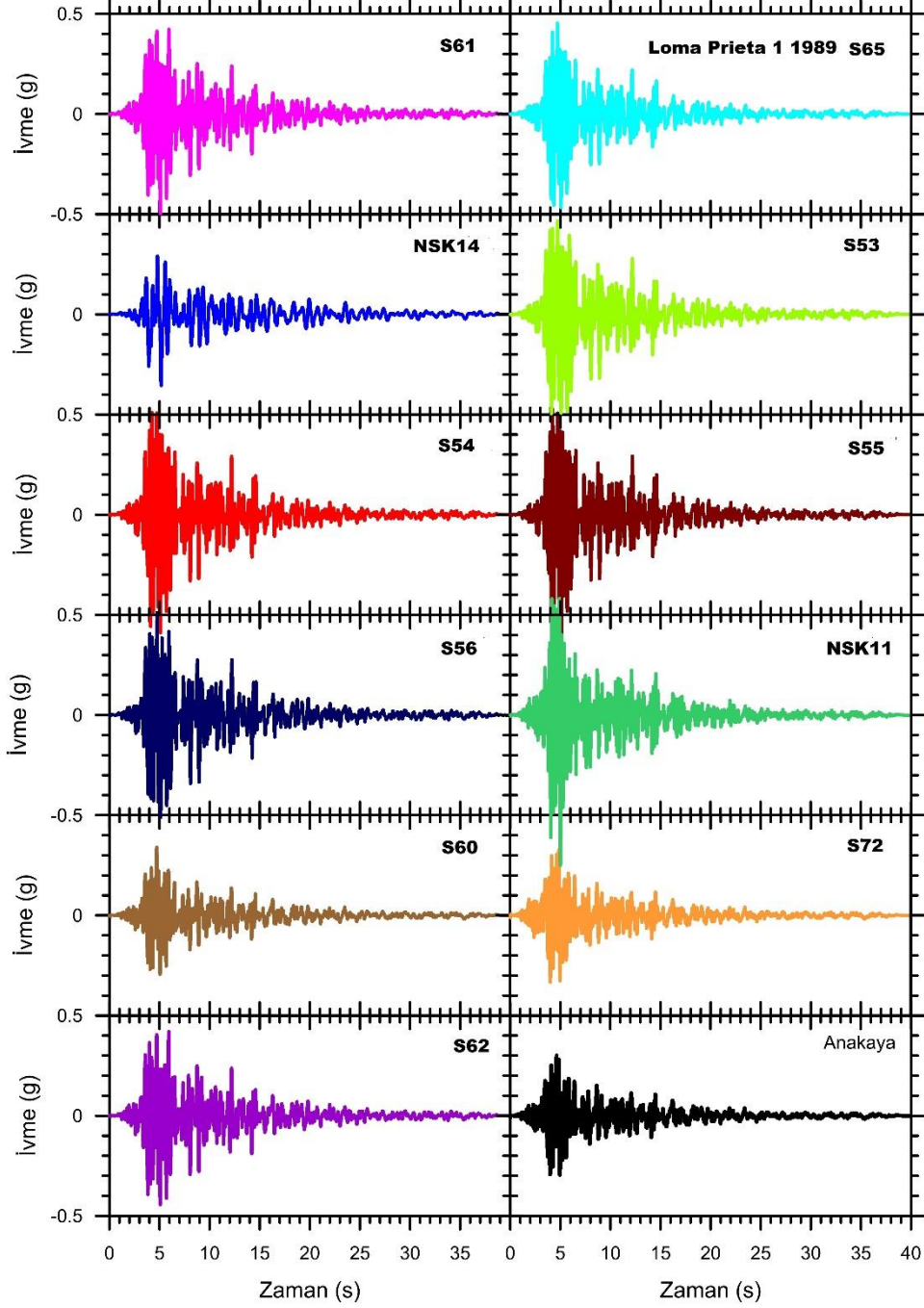
Şekil 6.5. Bölge 1 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Imperial Valley 2 1940 depremine ait ivme kaydı sonucu pik ivme S53, S54, S55 ve S56 sondajlarında görülmüş ve ilk pik 3. saniyede ikinci pik ise 5. saniyede oluşmuştur (Şekil 6.6).



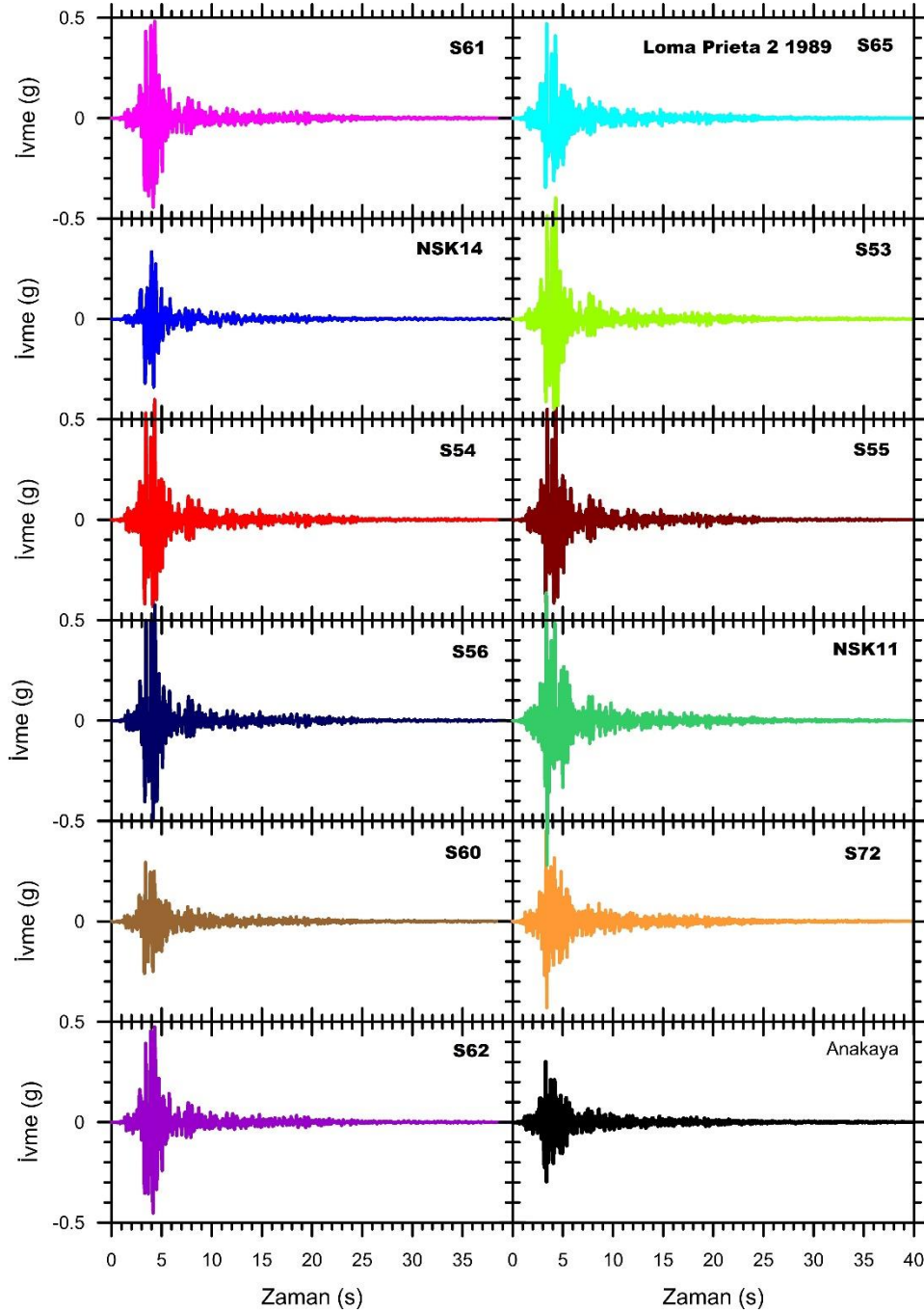
Şekil 6.6. Bölge 1 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Loma Prieta 1 1989 depremine ait ivme kaydı analiz sonucu pik ivmeler S53, S54, S55 ve NSK11 sondajlarında görülmüş ve 5, 6 ve 7. saniyelerde oluşmuştur (Şekil 6.7).



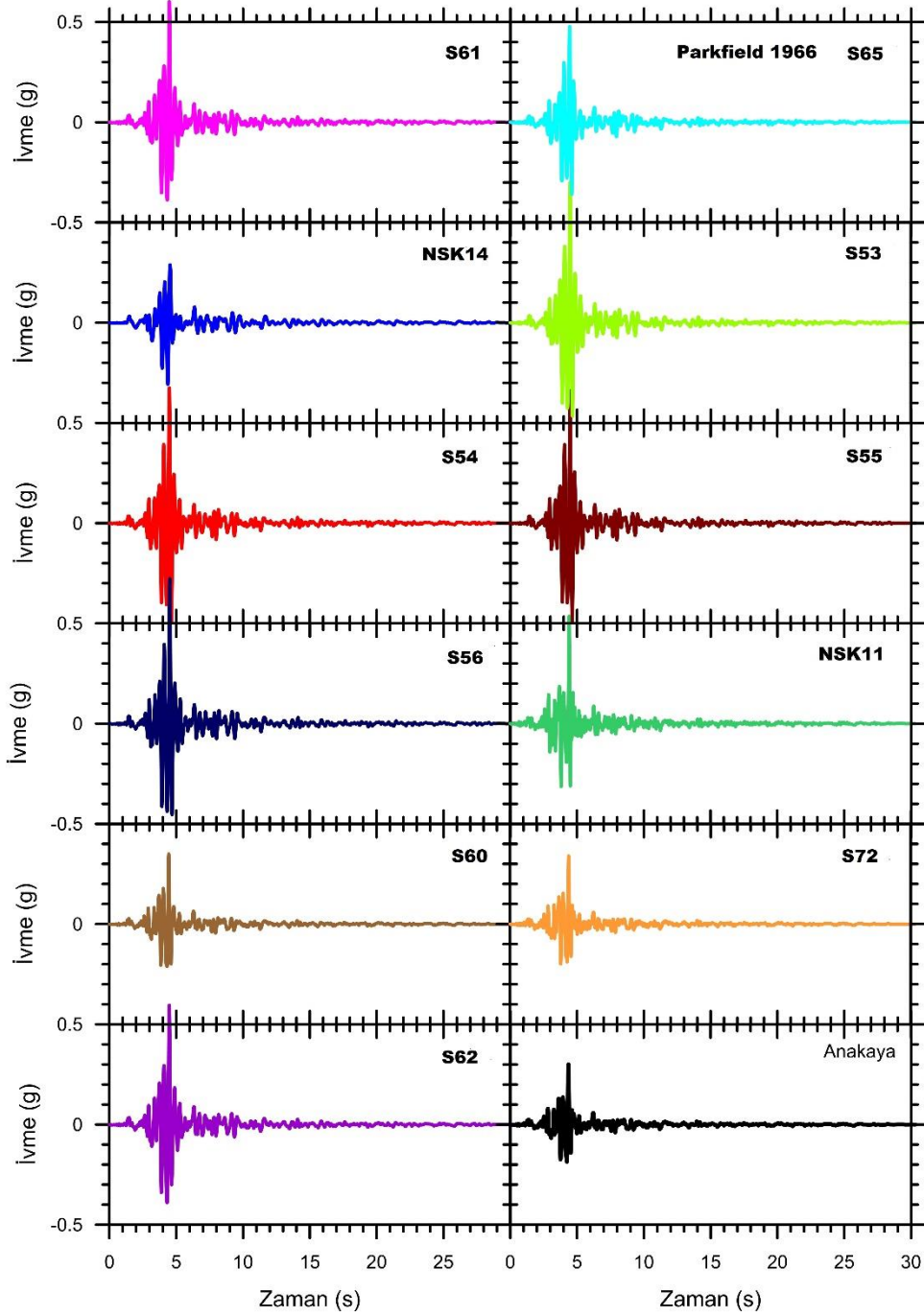
Şekil 6.7. Bölge 1 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Loma Prieta 2 1989 depreminin bir başka istasyona ait ivme kaydı kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucu pik ivmeler bir önceki kayıttaki gibi daha çok S53, S54, S55 ve NSK11 sondajlarında görülmüş ve ancak maksimum değerler 3 ve 4. saniyelerde oluşmuştur (Şekil 6.8).



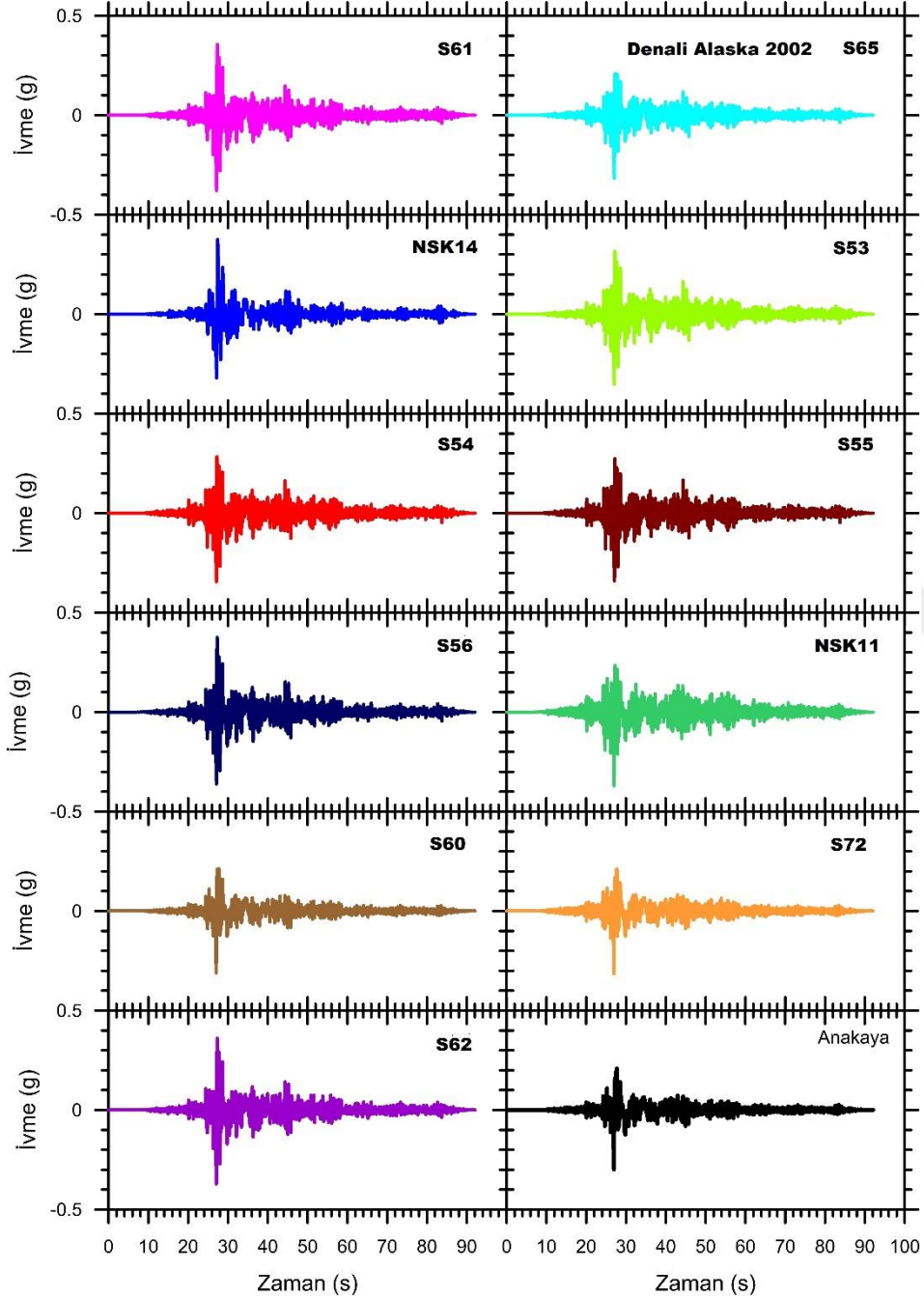
Şekil 6.8. Bölge 1 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Parkfield 1966 depremine ait ivme kaydı Loma Prieta 1 kaydına benzer olup pik ivmeler aynı sondajlarda (S53, S54, S55 ve NSK11) görülmüş ve neredeyse aynı aralıkta gözlenmiştir (Şekil 6.9).



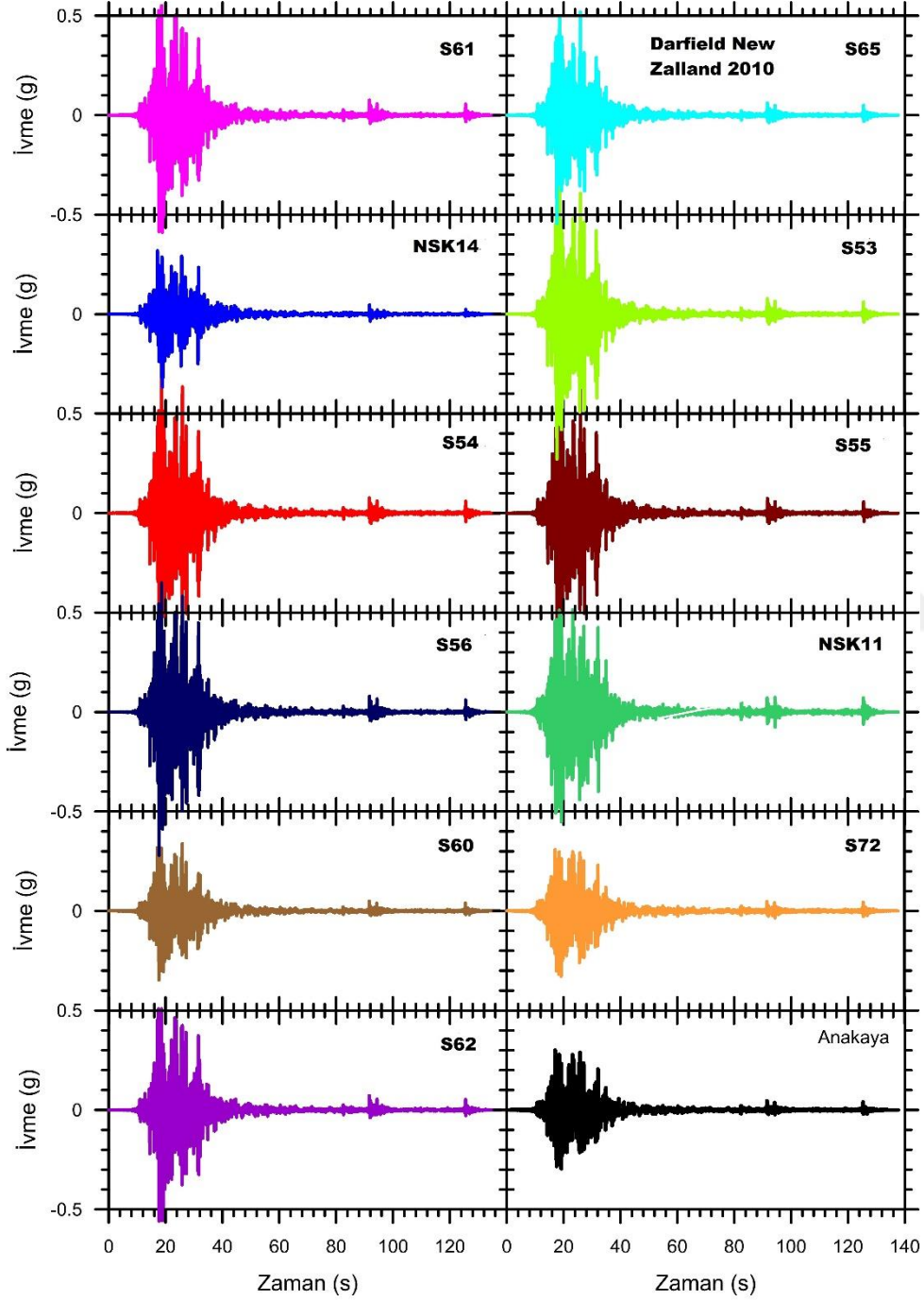
Şekil 6.9. Bölge 1 için Parkfield 1966 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Analizlerde Denali Alaska 2002 depremine ait ivme kaydı verisi kullanılarak yapılan analiz sonuçları Şekil 6.10'da verilmektedir. Pik ivme en çok S56 sondajında görülmüş ve 28. saniyede oluşmuştur. S60 ve S72 sondajları ise anakaya kaydına en yakın ivme değerleri göstermiştir.



Şekil 6.10. Bölge 1 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Analizlerde kullanılan son deprem Darfield Yeni Zelanda 2010 ivme kaydı yine Loma Priata depremi ile benzerlik göstermektedir. Analiz sonucu pik ivmeler S61, S65, S53, S54, S55, S56 ve NSK11 sondajlarında oluşmuştur. Ancak maksimum ivme değerleri Loma Priata'dan farklı olarak 17, 18 ve 25. saniyelerde gözlenmektedir. (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Bölge 1 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Sonuçlardan elde edilen pik ivmelerin büyüklüğü ve bu pik ivmelerin farklı zamanlarda oluşması farklı deprem karakteristiklerinin yansımadır. Çalışmada elde edilen eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre; özetle S72 ve S60 sondajlarının yüzeyinde anakayaya yakın ivme değerleri oluşurken; daha çok S53, 54, S55, S56, S61, S62 ve NSK11 sondajlarının yüzeyinde biraz daha büyük ivme değerleri oluşmuştur. Çalışmadaki zemin profillerine bakıldığında S72 ve S60 sondajları için yeraltı suyu seviyesinin 10-14 m arasında değiştiği, SPT-N değerleri aralığının 25-50 arasında olduğu ve kumlu-düşük plastisiteli kil-silt tabakalarından oluştuğu ve TBDY 2018'e göre ZC zemin sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. S62, S53, S54, S55 ve S56 sondajlarında ise yeraltı suyu seviyesinin 2-5.50 m arasında değiştiği, SPT-N değerlerinin yüzeye yakın yerlerde 5, 30 m civarında ise yaklaşık 50 değerlerinin olduğu, kumlu ve daha yüksek plastisiteye sahip kil ve siltli seviyelerden oluştuğu görülmektedir. Bu sondajlar TBDY 2018'e göre ZD ve ZE zemin sınıfını temsil etmektedir. Sazova mahallesinde S55 sondajı ile çok yakın lokasyonlarda yer alan NSK14 sondajı S55'e göre frekans içeriğini değiştiren bir davranış göstermiştir. İki sondajın zemin profillerine bakıldığında NSK14'ün 0-3.5 m arası CH, 3.5-7.0 m arası CL; S55'in ise 0-16 m arası CL-ML zemin tabakalarının ardalanmalı olarak devam ettiği zemin sınıflarına sahip olduğu, iki sondajında yeraltı suyu seviyesinin 5.50 m olduğu; ancak NSK14 sondajının S55 sondajına göre PI değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Loma Prieta depremi, diğer depremlere göre biraz farklıdır. Depremin PGA aralığının ivme kaydına göre 0.159-0.701 arasında değiştiği, 4. saniyede 0.690 g ve 5. saniyede 0.701 g değerine ulaştığı görülmektedir. Loma Prieta depremi 2 farklı pik değerine sahiptir. Darfield New Zeland depremi de Loma Prieta depremine benzer davranış göstermektedir. Darfield New Zeland depreminde maksimum ivmeler 17. saniyeden itibaren oluşmaktadır.

Frekans içerikleri değerlendirildiğinde, bir sondaj dışında genelde yüksek frekans içeriğinin farklı depremler ve zeminlerde değişmediği gözlenmiştir. Özellikle NSK14 sondajına sahip bir zemin profili, ölçeklendirilmiş Erzincan kaydının anakaya olarak kullanıldığı simülasyonda yüksek frekans içeriğine sahip dalganın frekans içeriğini azaltmış ve daha geniş bir zaman aralığına yaymıştır. Bu da gösteriyor ki yerel zemin davranışının dışında, deprem kaydı karakteristiklerinin de yüzey tepkisinde büyük etkisi vardır.

6.1.2. Sahaya özel zeminin tepki spektrumu

Bu bölümde eşdeğer doğrusal analizler sonucunda çalışma alanı için davranış spektrum parametreleri hesaplanmış, spektral ivme (Sa)- Periyot (T) grafikleri oluşturulmuştur. Porsuk Nehri'nin kuzey batısında yer alan Sazaova, Çamlıca, Ertuğrulgazi, Osmangazi, Sümer, Batıkent ve Aşağısöğütünü mahallerini içine alan Bölge 1 de yer alan sondajlar için 11 deprem kaydına göre, her deprem için spektral ivme değerleri elde edilmiştir. Bölge 1'de yer alan Uluönder mahallesini temsil eden S61 ve S62 sondajlarında pik değer olan yaklaşık 3 g'ye 0.4 sn de ulaştığı görülmektedir. Yeşiltepe mahallesinde yer alan S65 sondajından elde edilen sonuçlarda pik değer yine 3 g elde edilmiş olup, 0,25 sn de bu değere ulaşılmaktadır. Karabayır mevkiinde yer alan NSK14'e göre pik değer in anakaya ile yaklaşık aynı olduğu ancak bu değere 0.8 sn de ulaştığı görülmektedir. Orhangazi mahallesinde yer alan S53 sondajında pik spektral ivme değeri olan yaklaşık 3.6 g'ye 0,4 sn de, Sazova mahallesini temsil eden S54, S55 ve S56 sondajlarında ise pik spektral ivme değerine 0,4 sn ulaşmaktadır. Çamlıca ile Sazova mahalleleri arasında yer alan NSK11 sondajında pik spektral ivme değerinin anakayaya göre yaklaşık 2 kat arttığı ve bu değere 0.23 sn de ulaştığı belirlenmiştir. Ertuğrulgazi mahallesini temsil eden S62 sondajı max pik değere 0.4 sn de ulaşmıştır. Baksan mevkiini temsil eden S60 ve Aşağı Söğütünü mahallesini temsil eden S72 sondajlarında ise hakim periyot tek bir değerden ziyade, 0.2 sn-0.6 sn arası gibi geniş bir aralıkta oluşmuş ve anakaya hareketine çok benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bölge 1'de en yüksek pik değeri NSK11 örneği göstermiştir (Şekil 6.12).

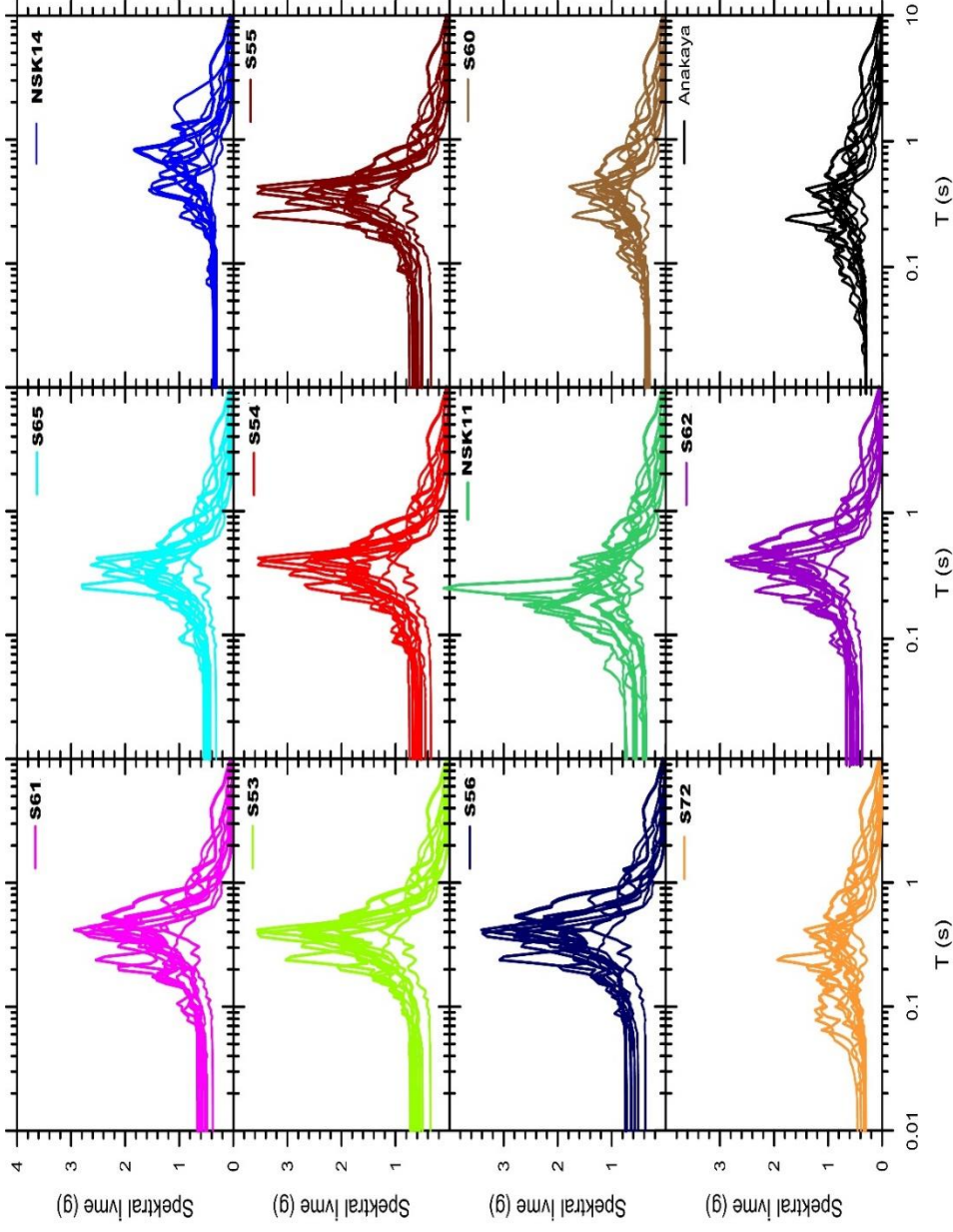
Bölge 2'de yapılan eşdeğer doğrusal analizlerden oluşturulan spektral ivme (Sa)- Periyot (T) eğrilerine bakıldığında Zincirlikuyu mahallesini temsil eden NSK12 ile Fevziçakmak mahallesini temsil eden LOGSK103 sondajında spektral ivme değerlerinin anakayaya göre 2 kat artış gösterdiği ve pik değerlere 0.25 sn de ulaştığı belirlenmiştir. Şarhöyük mahallesi sınırları içerisinde bulunan NSK3, Zincirlikuyu mahallesinde yer alan S77, Muttalıp mevkiinde yer alan NSK1 ve NSK2 ile Dorlion mevkiinde bulunan LOGSK102 ve LOGSK104 sondajlarında spektral ivmenin anakaya değerine göre 1.5 kat arttığı ve pik değerlere yaklaşık 0.25 sn de ulaştığı belirlenmiştir. Sütlüce mahallesini temsil eden S66 ve S67 sondajlarında spektral ivme değerinde anakaya değerine göre 1 kat artış ve pik değere 0.25 sn de ulaştığı görülmektedir. Şirintepe mahallesinin üst kotlarında bulunan S79 sondajında ise bir pik değer hariç, zemin hakim periyotu için tek bir değerden ziyade,

0.1 sn-0.5 sn arası gibi geniş bir aralıkta oluşmuş ve max spektral ivme değeri olan 1.6 – 1.8 g değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.13).

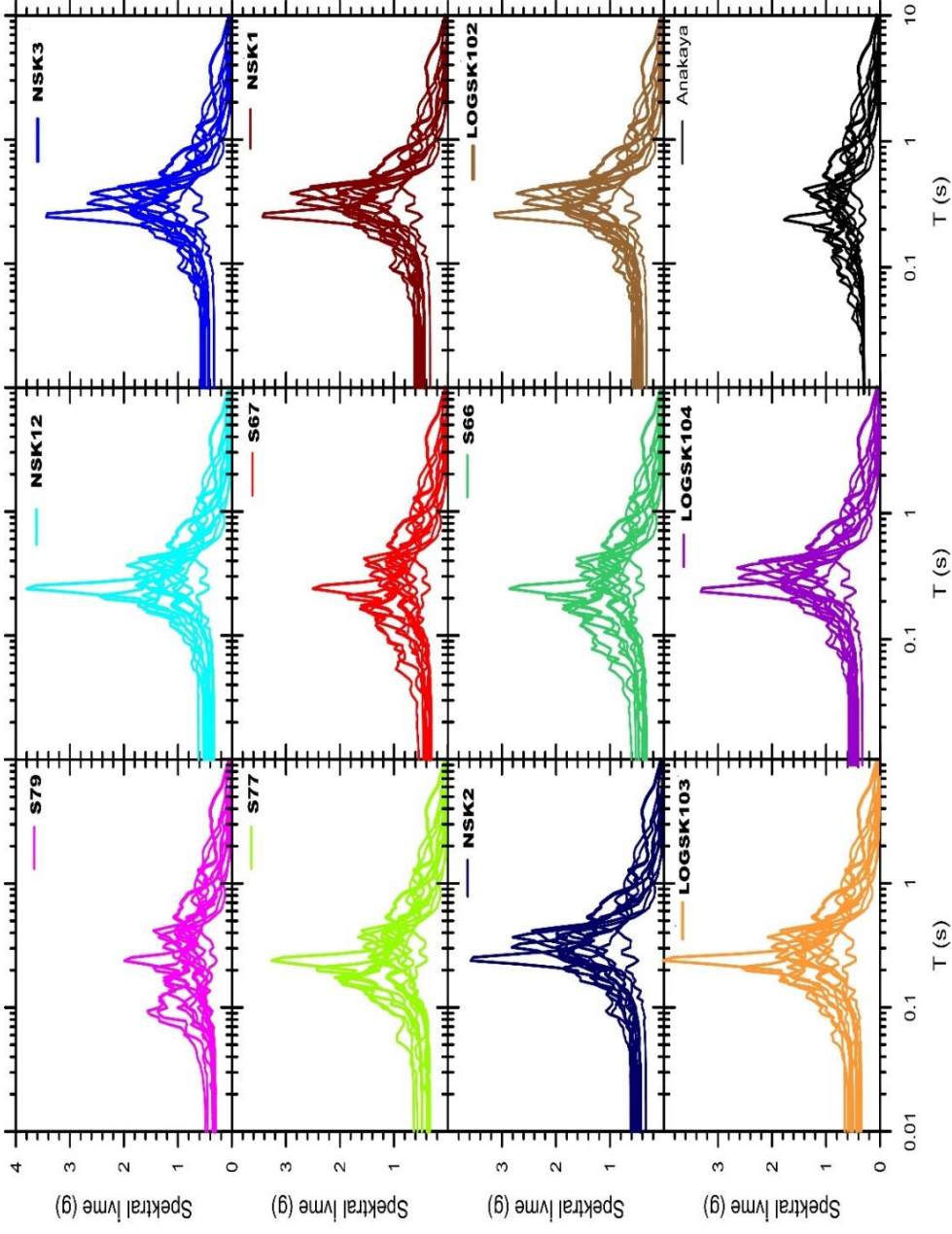
Bölge 3 için yapılan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre Hoşnudiye Mahallesi sınırları içerisinde bulunan S64, Sümer mahallesini temsil eden NSK8, S51 ve S58 ile Ertuğrulgazi ve Sümer mahallesi sınırında yer alan S57 sondajlarında anakayaya göre spektral ivme değerinin yaklaşık 1 kat arttığı görülmektedir. Pik ivme değerlerinin anakayada 0.25 sn'de iken, S64 sondajında 0.4 sn, S51 ve NSK8 sondajlarında 0.25 sn'de olduğu belirlenmiştir. Ancak S58 ile NSK8 ve S51 sondajları aynı mahalle sınırları içerisinde bulunmasına rağmen, farklı pik değerleri farklı periyotlarda göstermişlerdir. Ayrıca Sümer mahallesinde bulunan S58 sondajında ise hakim periyotun tek bir değerden ziyade, 0.2 sn-0.8 sn arası gibi geniş bir aralıkta olduğu belirlenmiş ve aynı mahalle sınırları içerisinde bulunan NSK8 sondajında max pik değerini anakayaya göre 2 kat arttığı S51 ve S58 sondajlarında ise 1 kat arttığı belirlenmiştir. Gültepe mahallesinde bulunan S49, Büyükdere mahallesinde yer alan S46 ve Büyükdere mahallesinin üst kotlarında Yenikent civarında bulunan S47 sondajlarından elde edilen sonuçlarda S49 ve S46 sondajlarında spektral ivmenin yaklaşık 2 kat arttığı ve bu pik değerinin 0.25 sn'de olduğu görülmektedir. S46 ile aynı mahalle sınırlarında bulunan S47 sondajlarında ise daha düşük spektral ivme değerlerinin görüldüğü, bu değerinin anakayaya göre 1 kat artış gösterdiği ve pik değerinin 0,25 sn'de olduğu belirlenmiştir. Göztepe Mahallesinde bulunan NSK9 sondajında yine spektral ivmenin 2 kat büyüdüğü ve bu pik değerinin 0.25 sn'de olduğu belirlenmiştir. Akarbaşı Mahallesinde bulunan NSK9 sondajı ise 3. Bölgede en yüksek spektral ivmenin görüldüğü, anakayaya göre yaklaşık 2.5 kat arttığı ve pik değerinin 0,25sn'de ulaştığı elde edilmiştir (Şekil 6.14).

Bölge 4 için elde edilen sonuçlara göre Şeker Mahallesi içerisinde LOGSK85, LOGSK83, LOGSK92, NSK5, LOGSK82 ve LOGSK84 olmak üzere 6 sondaj için değerlendirilmiştir. LOGSK82, LOGSK84 ve LOGSK85 anakayanın spektral ivmesine göre yaklaşık 0,5 artış göstermişler ve pik değerleri anakaya da 0,25 sn'de oluşuyor iken LOGSK82, LOGSK84 ve LOGSK85 sondajlarında yaklaşık 0,7 sn'de oluşmuştur. Şeker Mahallesinin güneyinde yer alan LOGSK92 sondajı ile Şeker Mahallesinin batısında Işıklar Mahallesi sınırında yer alan NSK5 sondajında spektral ivme değerlerinde yaklaşık 1.5 kat artış görülmekte ve pik değerlere LOGSK92 0,25 sn'de NSK5 ise 0,2 sn'de ulaşmıştır. Şeker

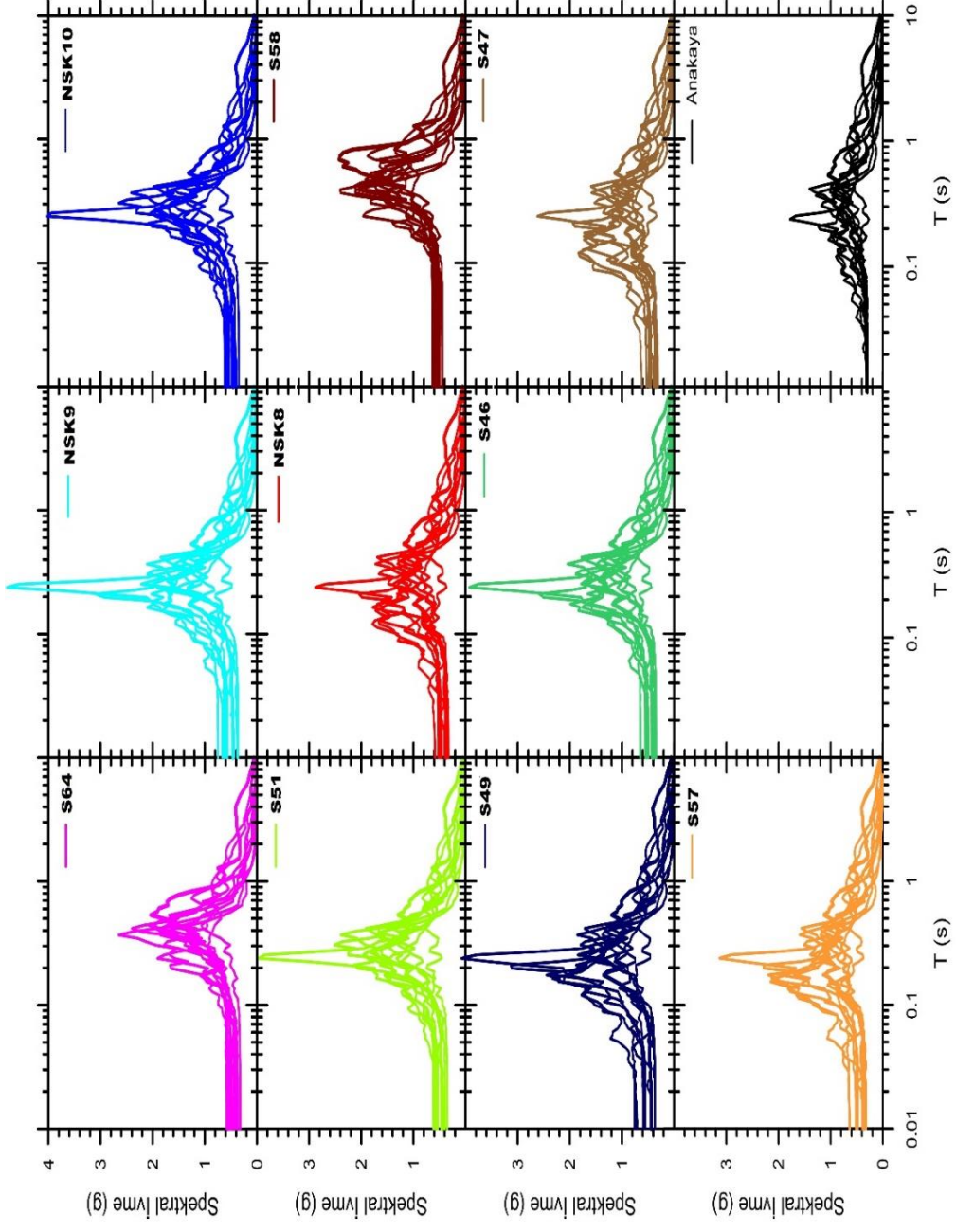
mahallesi sınırları içerisinde bulunan LOGSK83 sondajında ise spektral ivme değerinde 2.5 kat artış görülmüş ve 4 g den daha yüksek ivme değerleri elde edilmiştir. LOGSK 83 sondajında pik ivme 0.25 sn'de oluşmuştur. Arifiye Mahallesi sınırları içerisinde bulunan LOGSK80 sondajında spektral ivme değerinde yaklaşık 3 g değeri elde edilmiş ve pik değere 0.45 sn'de ulaştığı belirlenmiştir. Hoşnudiye Mahallesinde yer alan NSK13 sondajı ile Şeker mahallesinde bulunan LOGSK84 sondajına ait Sa (g) -T (sn) grafiğine göre, her iki sondaj için bir pik değer hariç, hakim periyotun tek bir değerden ziyade, 0.2 sn-0.7 sn arası gibi geniş bir aralıkta değiştiği ve max spektral ivme değeri olarak 2.0 – 2.6 g değerleri elde edilmiştir. Ömerağa Mahallesinde bulunan LOGSK 81 sondajında pik spektral ivmenin 3.6 g ve bu değere 0.25 sn'de ulaştığı görülmektedir. Şarhöyük Mahallesinde bulunan LOGSK 99 örneğinde ise max spektral ivmenin anakaya göre 0.5 artış gösterdiği ve 2.6 g olduğu; max pik değere 0.25 sn ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 6.15).



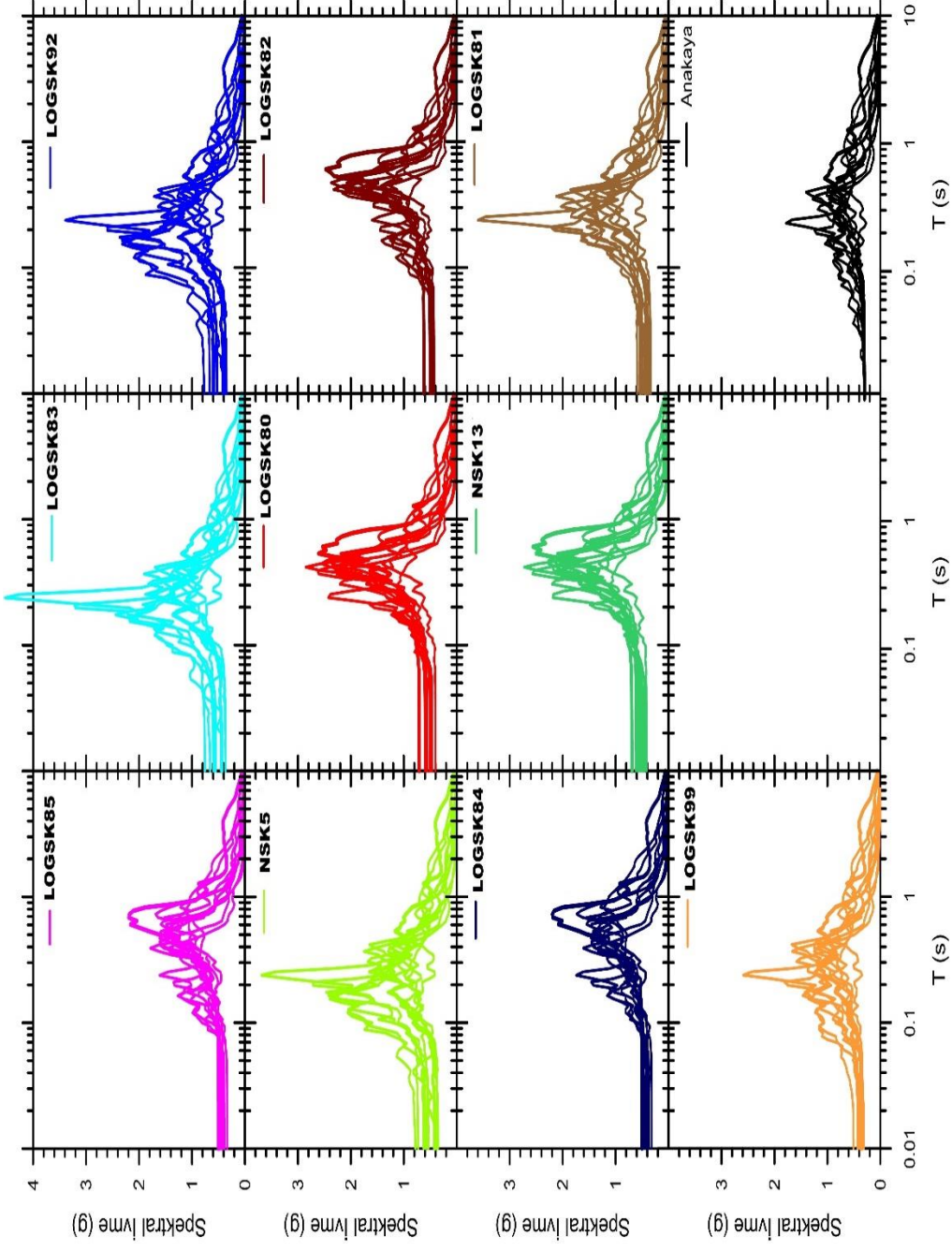
Şekil 6.12. Bölge 1 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri



Şekil 6.13. Bölge 2 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme-periyot değerleri



Şekil 6.14. Bölge 3 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri



Şekil 6.15. Bölge 4 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri

6.1.3. Sahaya özel zeminin büyütme değerleri (amplifikasyon faktörü)

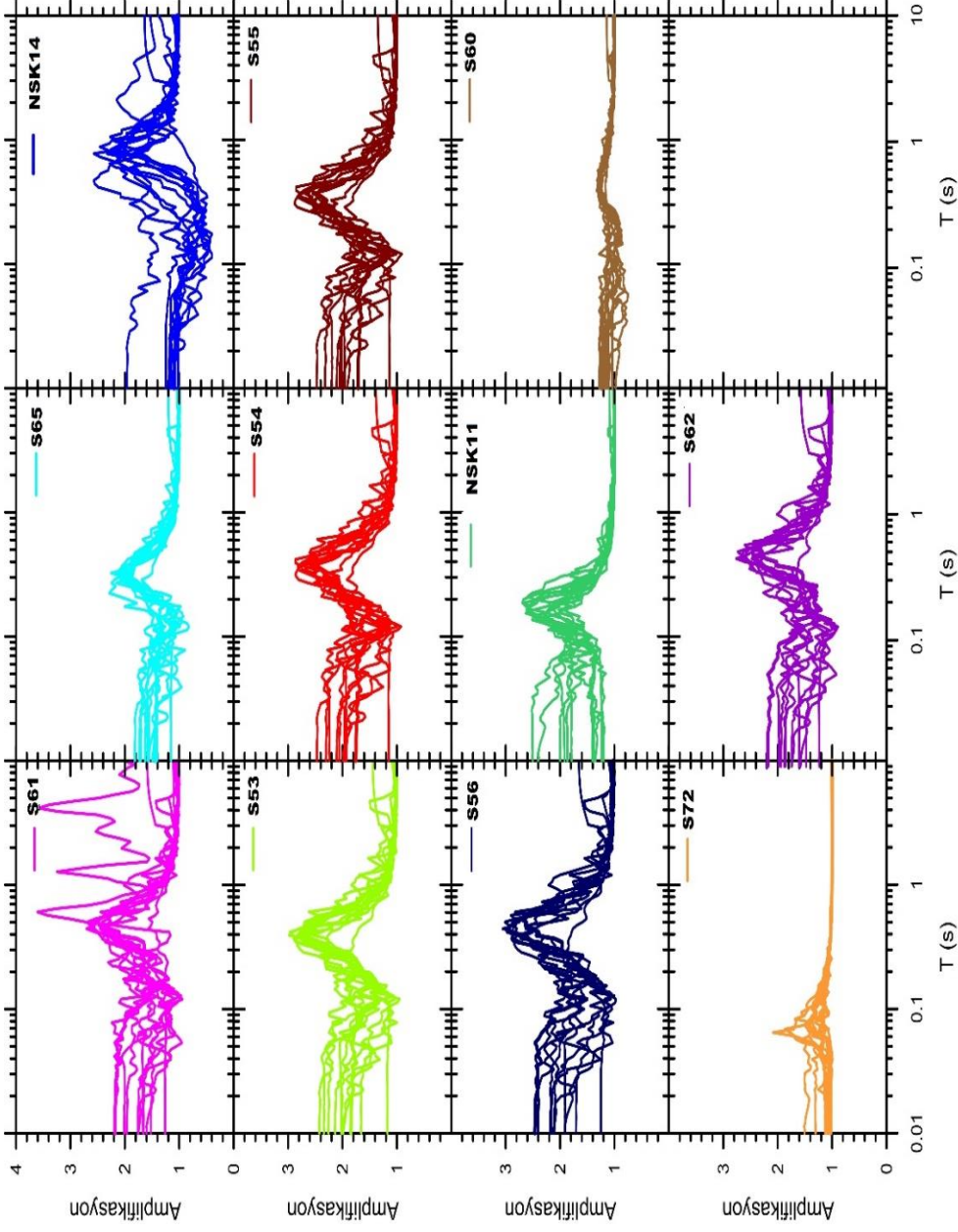
Zemin büyütmesi, kuvvetli yer hareketi sonucunda zemin içerisinde yayılan deprem dalgalarının anakayadan yüzeye geldiklerinde genliklerinde oluşan artış olarak tanımlanmaktadır (Sönmezer, 2016). Deprem mühendisliği çalışmalarında deprem dalgalarının etkisinde olan tabakalı yumuşak zeminlerin genliklerinde ve hâkim titreşim periyotlarında zemin özelliklerine bağlı olarak büyütme oranının olduğu ve buna bağlı olarak depremin odak noktasına uzak olan bölgelerde dahi yapılarda yarı rezonans etkisi oluşturarak hasarlar görüldüğü de bilinen bir gerçektir. Bu hasarlar, yapının hâkim titreşim periyodu ile deprem dalgasının titreşim periyodu ile çakışması ve buna bağlı olarak yapının rezonansa girerek yüksek deplasmanlar göstermesi sonucu oluşmaktadır (Cassaro, 1987). Bu nedenle amplifikasyon faktörü olarak da bilinen zeminin büyütme faktörü meydana gelebilecek depremler sırasında yapılaşmanın olduğu bölgelerde oluşabilecek hasarı kontrol eden bir parametredir. Bu parametrenin sayısal ifadesi zemin büyütme oranı olarak ifade edilir. Büyütme oranı yüzeyde oluşan tepki spektrumunun anakaya tepki spektrumuna oranı ile elde edilmektedir.

Zemin özelliklerine bağlı olarak, deprem sırasında anakaya ve sert zeminlere göre yumuşak zeminler farklı periyotlarda gelen deprem dalgalarına aynı tepkiyi vermezler. Bazı frekanslarda bu dalgaları büyütebiliyorken bazı frekanslarda da sönmüleyebilirler. Dolayısıyla zemin büyütmesi frekans bağımlıdır. Bunun yanı sıra büyütmenin hangi periyotlarda oluşacağı yumuşak zemin tabakası kalınlığına ve deprem dalgasının hızına bağlıdır. Maksimum büyütmenin görüldüğü periyot (T_0) zeminin hakim periyodu olarak tanımlanmaktadır (Kramer, 1996).

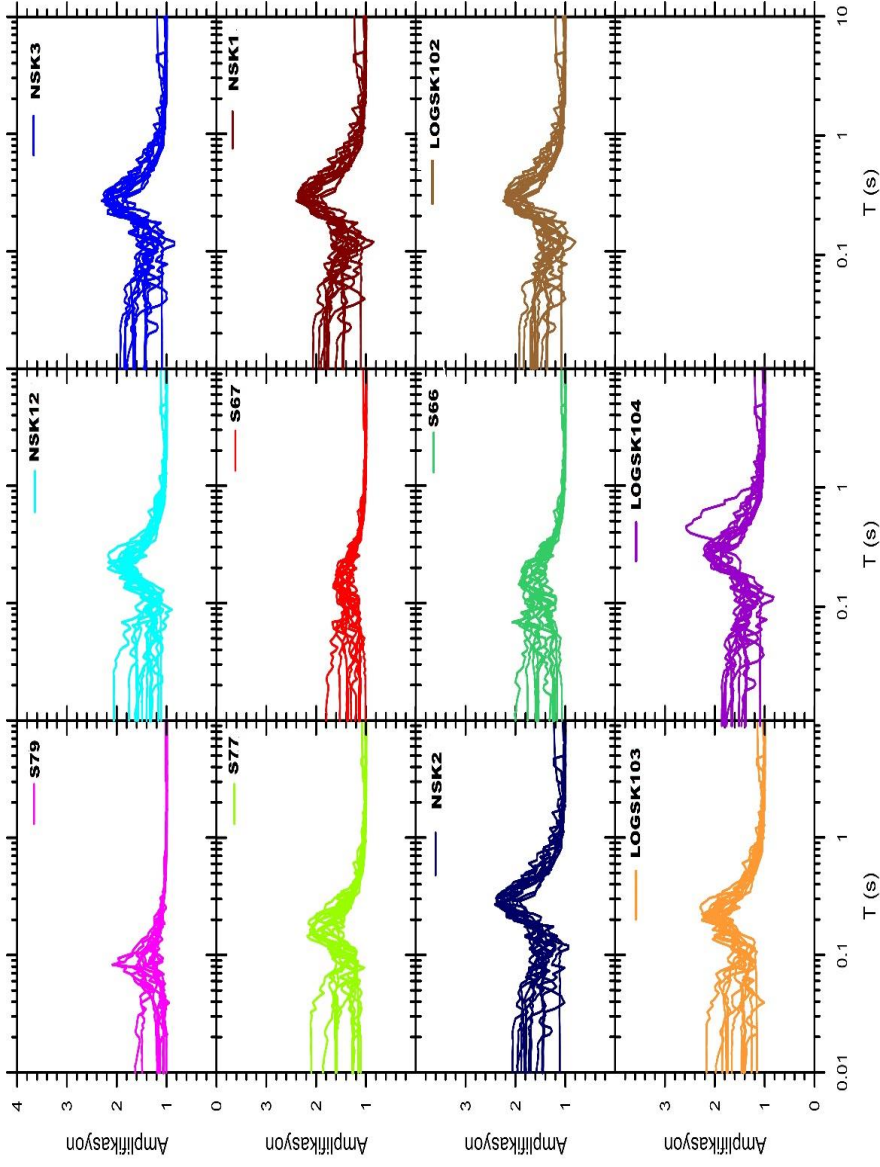
Şekil 6.16'da Bölge 1 için 11 farklı depremin 11 sondaj için yapılan eşdeğer doğrusal analiz çalışmaları sonucunda büyütme oranlarının 1.25 ile 3.6 arasında değiştiği ve yüksek büyütmenin S61 de, en düşük büyütmenin S60 sondajlarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca $T=1$ 'den sonra yani yüksek periyotlarda davranışın çok yakın olduğu ancak $T=0.1$ ile $T=1$ arasında davranışın farklılaştığı görülmektedir. Şekil 6.17'de Bölge 2 için aynı şekilde büyütme oranlarının 1.8 ile 2.6 arasında değiştiği ve en yüksek büyütmenin LOGSK104, en düşük büyütmenin ise S67 örneklerinde olduğu görülmektedir.

Şekil 6.18’de gösterilen Bölge 3 için büyütme oranlarının 2 ile 2.8 arasında değiştiğini, en yüksek amplifikasyon oranının S58, en düşük amplifikasyon oranının ise NSK8, S46 ve S47 sondajlarında oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 6.19’da gösterilen Bölge 4 için büyütme oranlarının 1.6 ile 3.0 arasında değiştiğini, en yüksek büyütme oranının LOGSK85 en düşük büyütme oranının ise LOGSK99 sondajlarında oluştuğu belirlenmiştir.

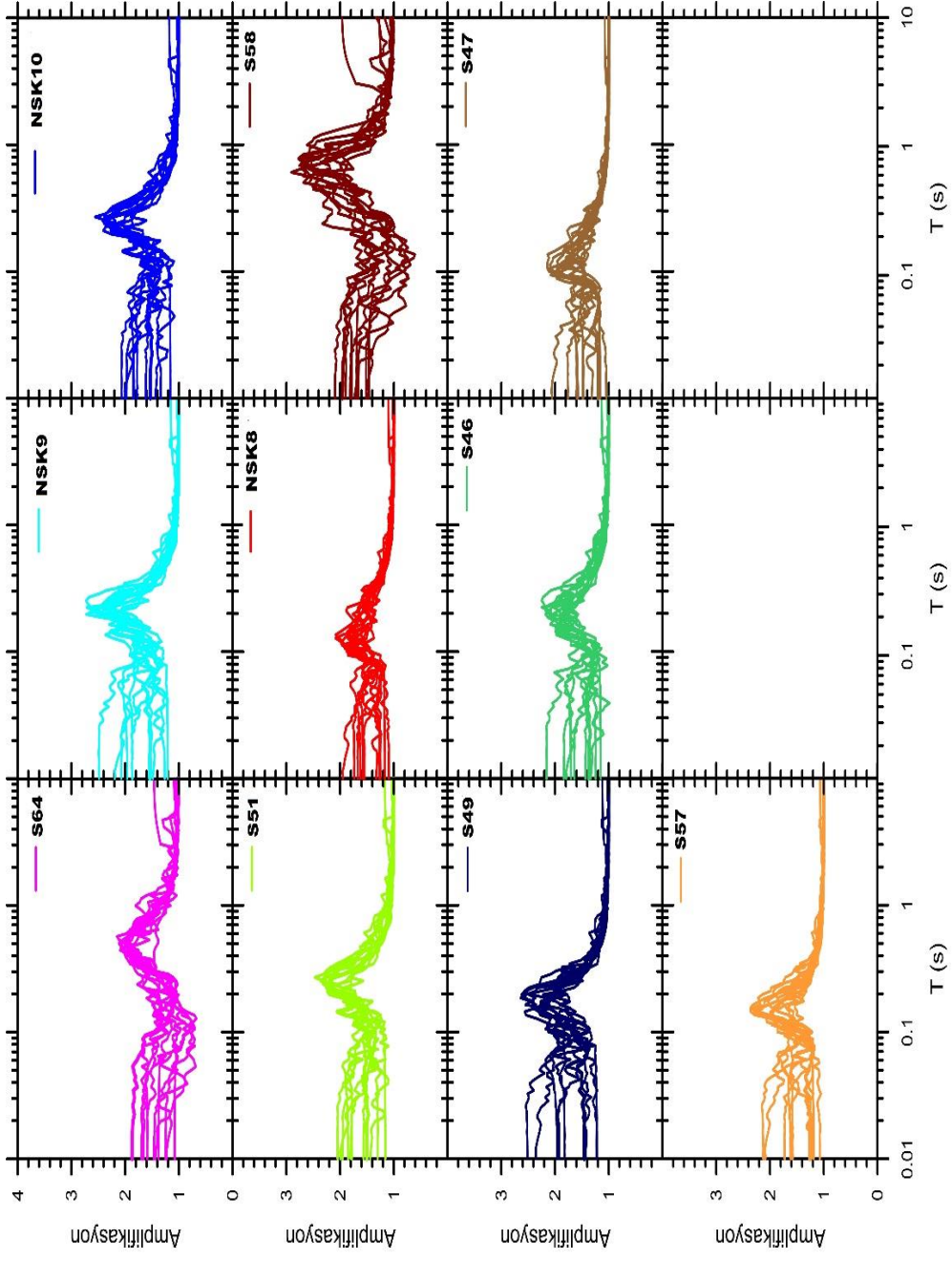




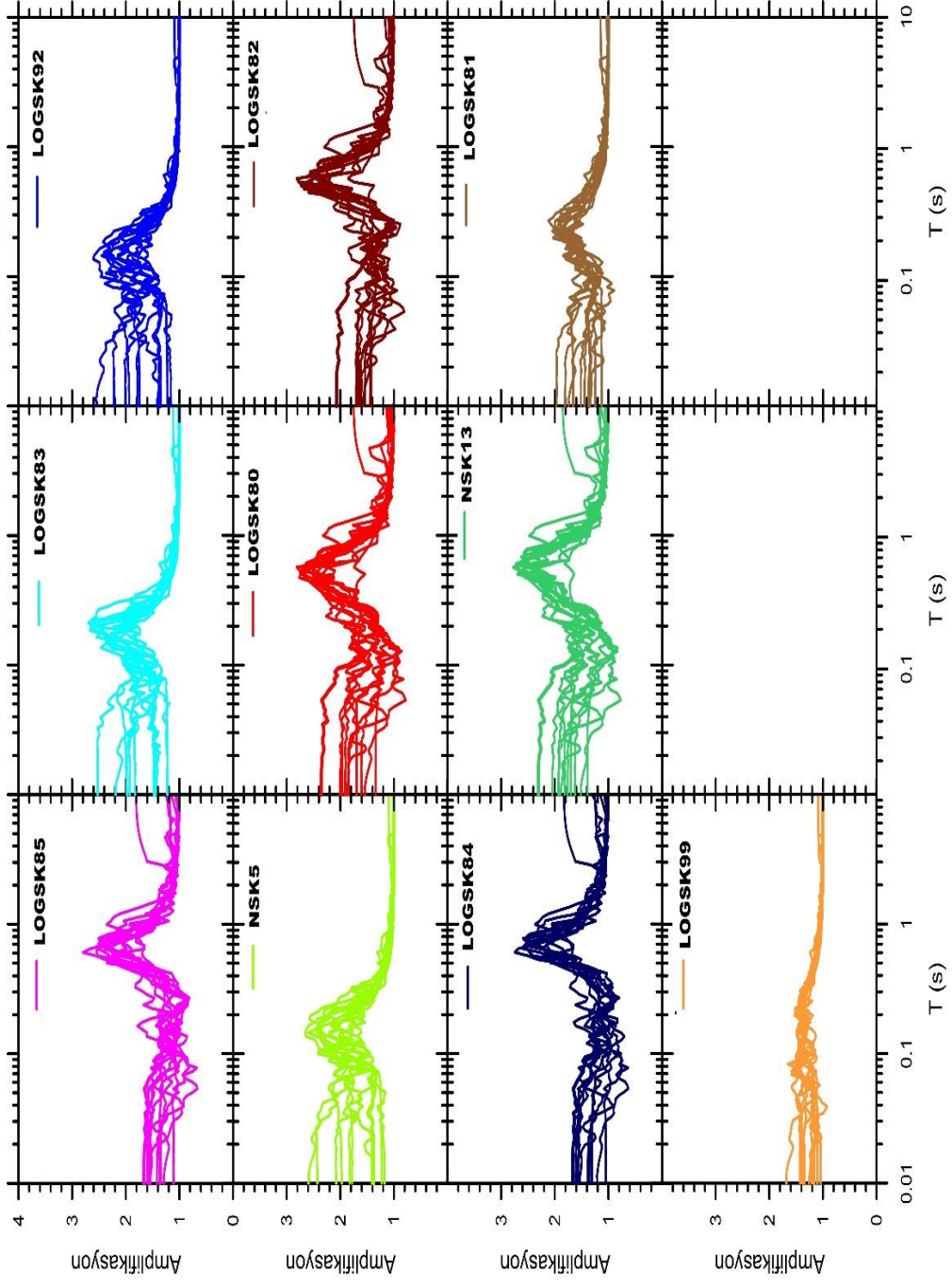
Şekil 6.16. Bölge 1 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri



Şekil 6.17. Bölge 2 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri



Şekil 6.18. Bölge 3 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri

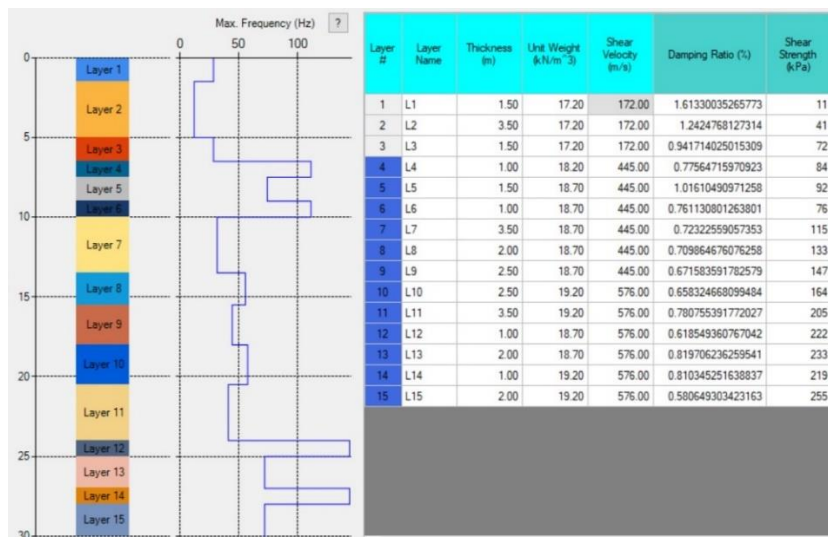


Şekil 6.19. Bölge 4 için eşdeğer doğrusal analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri

6.2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz Çalışmaları Sonuçları

Sahaya özgü yapılan zemin tepki analizlerde yüksek birim kayma deformasyon seviyelerinde zeminde farklılaşan kayma modülü ve sönüm oranlarını hesaba katmak için doğrusal olmayan analizler tercih edilmektedir. Yüksek genliklere sahip yer hareketlerinde zemin özelliklerine bağlı olarak farklı kayma modülü ve sönüm oranı değerleri elde edilmiş zeminlerin dinamik yükler altında (özellikle deprem yükleri) doğrusal davranmayacağı dinamik laboratuvar deneyleri ile de kanıtlanmıştır (Roca vd., 2006). Bu kapsamda günümüzde doğrusal olmayan zemin davranış analiz çalışmalarında doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ortaya koyan zeminin kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında doğrusal olmayan analiz çalışmaları kapsamında, 11 gerçek deprem kaydı verisi kullanılmış ve aynı şekilde alanı temsil eden 4 Bölgede bulunan toplamda 42 sondaj için analizler yapılmıştır. Bu analizler Deepsoil 6.1 yazılımında Şekil 6.20’de yazılımda tanımlanan örnek bir zemin profilinde görüldüğü gibi, her bir sondaj örneği için yapılmıştır. Birim kayma genliğine bağlı kayma modülü ve sönüm oranı değişimi eğrileri tanımlanan her zemin tabakası için kumlu zeminler için Seed ve Idriss (1991) ve killi zeminler için ise Darendeli (2001) eğrileri kullanılmıştır.

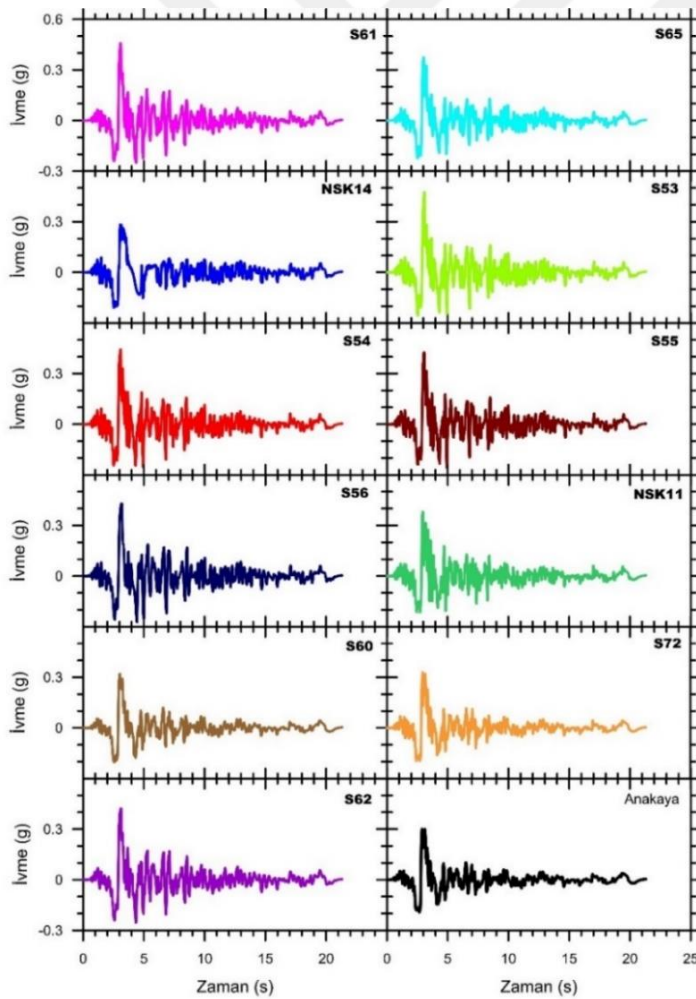


Şekil 6.20. Deepsoil yazılımında doğrusal olmayan analiz çalışmaları için tanımlanan örnek sondaj verisi

6.2.1. Sahaya özel zemin yüzeyinde oluşan ivme değerleri

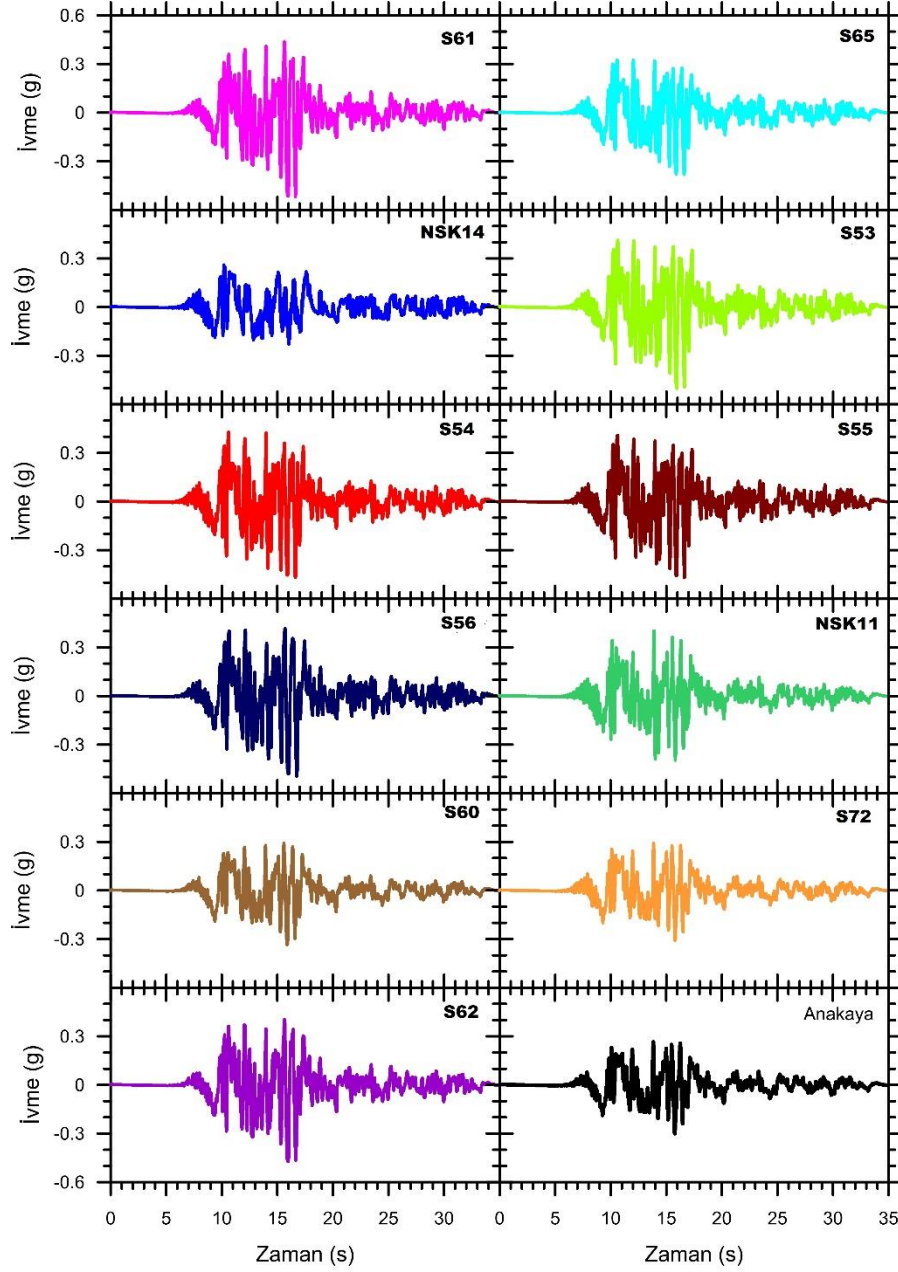
Öncelikle 4 Bölge için 11 farklı deprem kaydı kullanılarak 42 sondaj için doğrusal olmayan analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda her bir deprem ve her bir sondaj için ivme-zaman değerleri elde edilmiş ve elde edilen değerler grafiklendirilmiştir.

Doğrusal olmayan analiz çalışmaları kapsamında ilk deprem verisi olan Erzincan 1992'ye göre pik ivme S61, S53 ve S54 sondajlarında 2.5 sn'de oluşmuştur. NSK14 S60 ve S72 sondajında ise anakayaya en yakın ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.21). Bölge 2, Bölge 3 ve Bölge 4'ün doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri Ekler kısmında yer almaktadır.



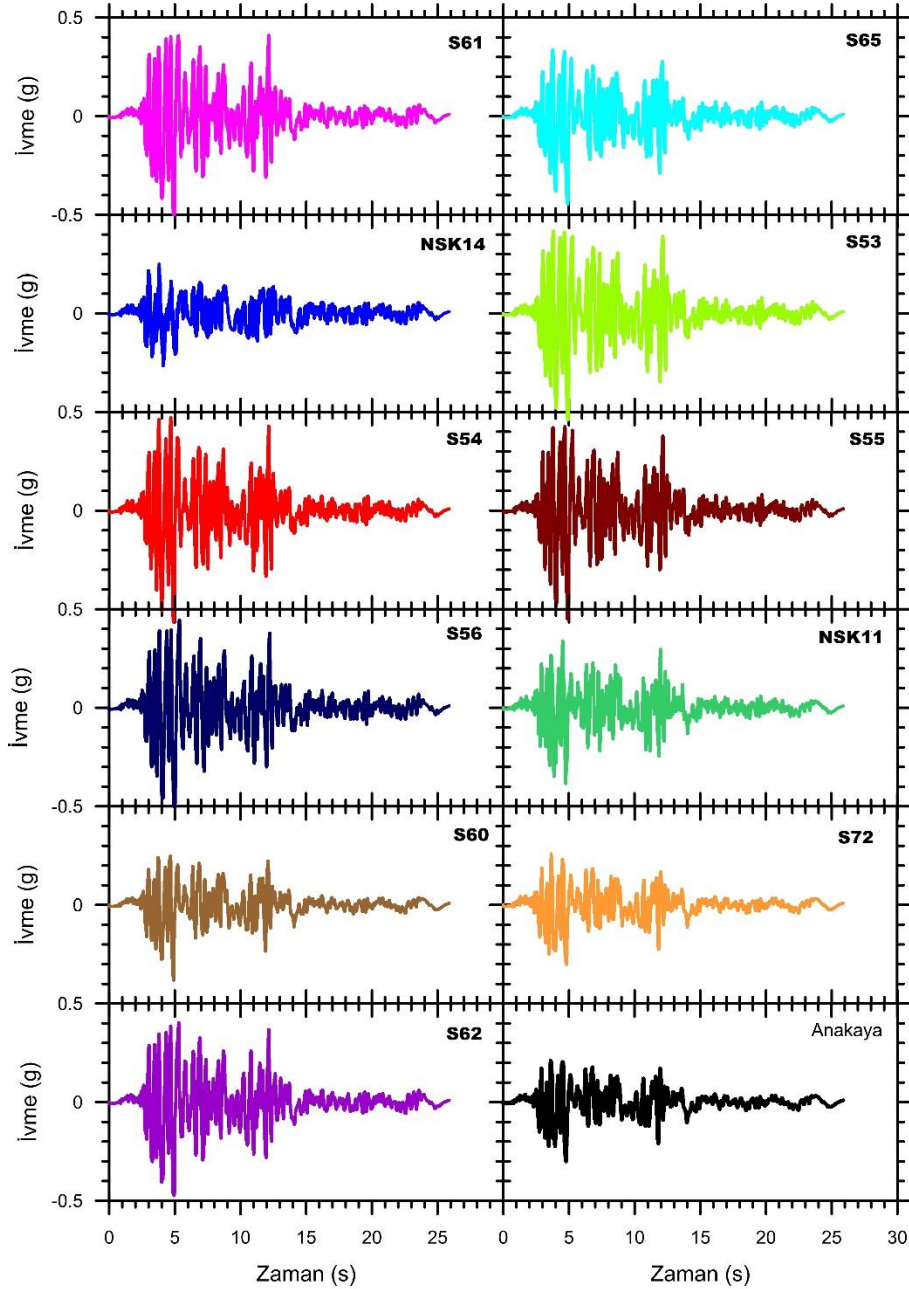
Şekil 6.21. Bölge 1 için Erzincan 1992 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Kocaeli-Yarımca 1999'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivme S61, S53 ve S54 sondajlarında ve 3.5 saniyede görülmektedir. Yine NSK14, S60 ve S72 sondajlarında ise anakayaya yakın ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.22).



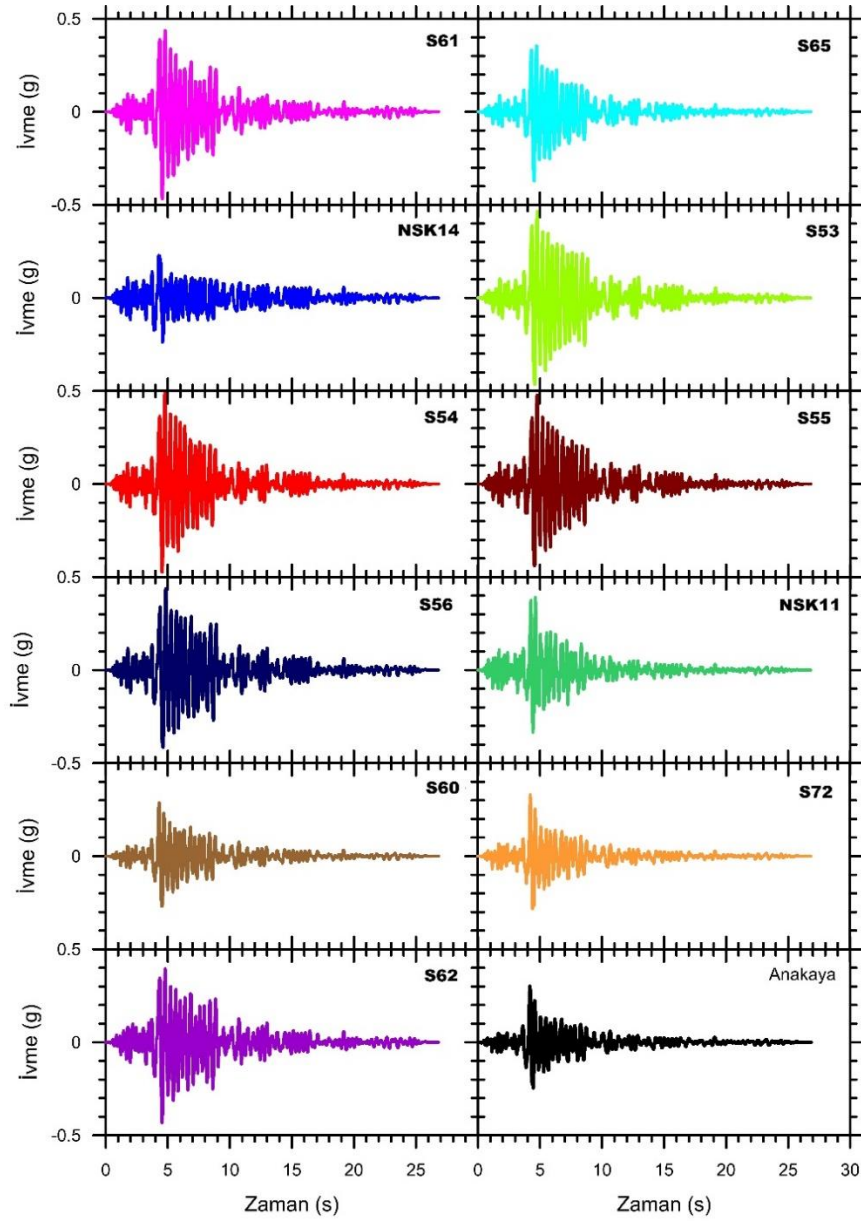
Şekil 6.22. Bölge 1 için Kocaeli- Yarımca 1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Düzce 1999'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivmeler S61, S53,S54, S55 ve S56 sondajlarında 4 ve 5 saniyelerde görülmektedir. NSK14, S60 ve S72 sondajlarında ise anakayaya en yakın ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.23).



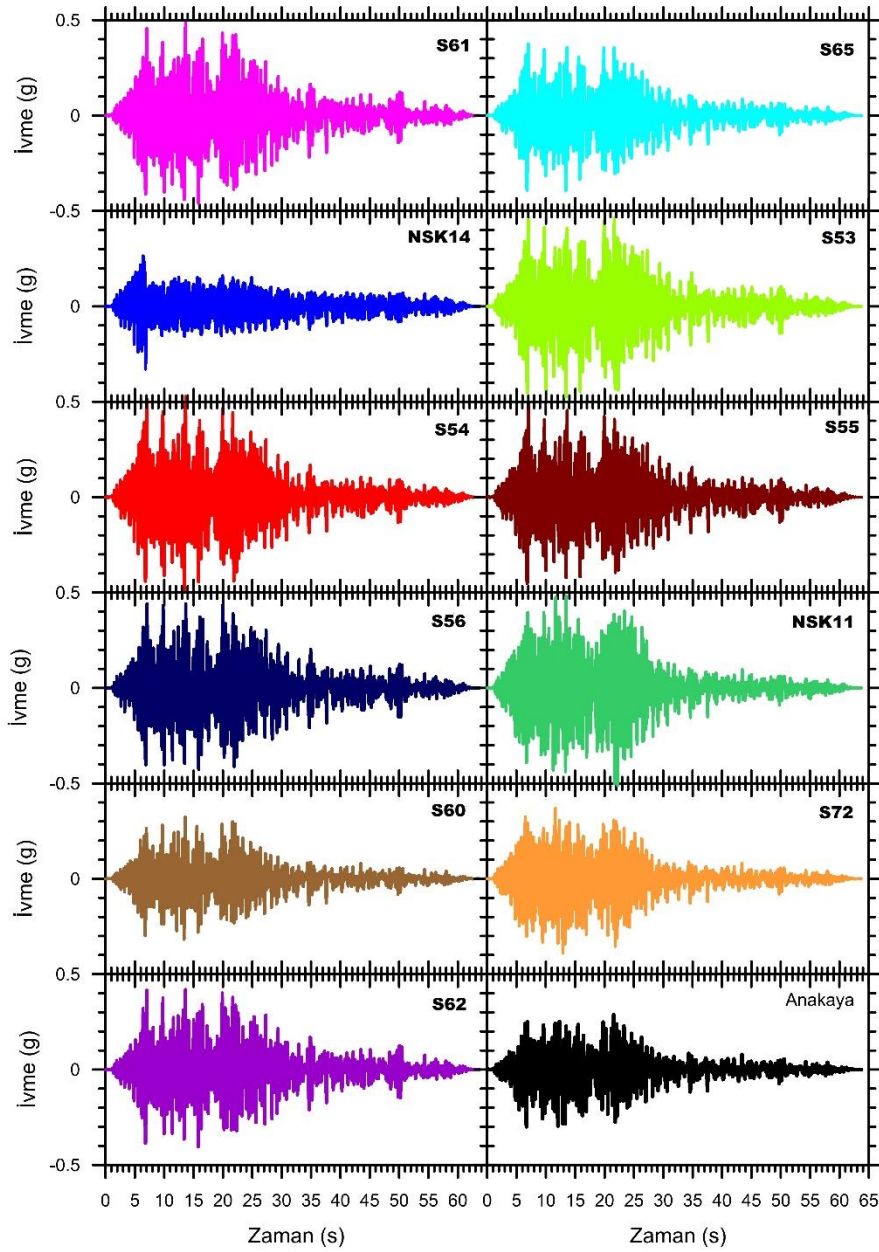
Şekil 6.23. Bölge 1 için Düzce1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Coyote 1979'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivmeler S61, S53 ve S54 sondajlarında 4.5 saniyede oluşmuştur. Anakaya pik ivme değerinin 4.5 saniyede 0.3 g olduğu, ancak NSK14 sondajında max ivmenin 4.5 saniyede 0.2 g olduğu belirlenmiştir. NSK14'ün kuvvetli yer hareketi ivmesini büyötmek yerine sönümlendiği görölmektedir. S60 ve S72 sondajlarında ise anakayaya en yakın ivme değerleri elde edilmiştir (şekil 6.24).



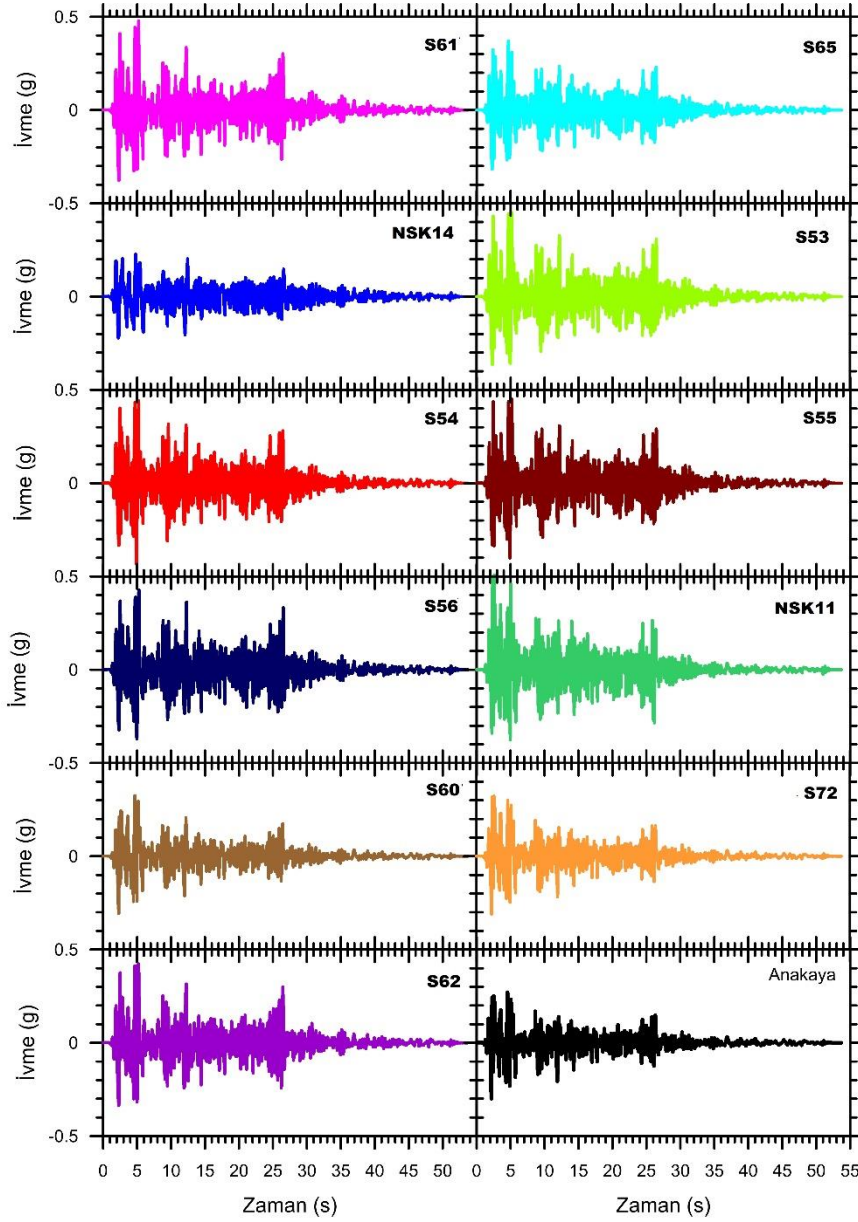
şekil 6.24. Bölge 1 için Coyote 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Imperial Valley 1 1979'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivmelerin S61 ve S54 sondajlarında 7, 10 ve 14. saniyelerde oluştuğu belirlenmiştir. S60 sondajı anakayaya yakın ivme değerleri göstermiş, NSK14'de ise anakayadan daha küçük ivme değerleri görülmüştür (Şekil 6.25).



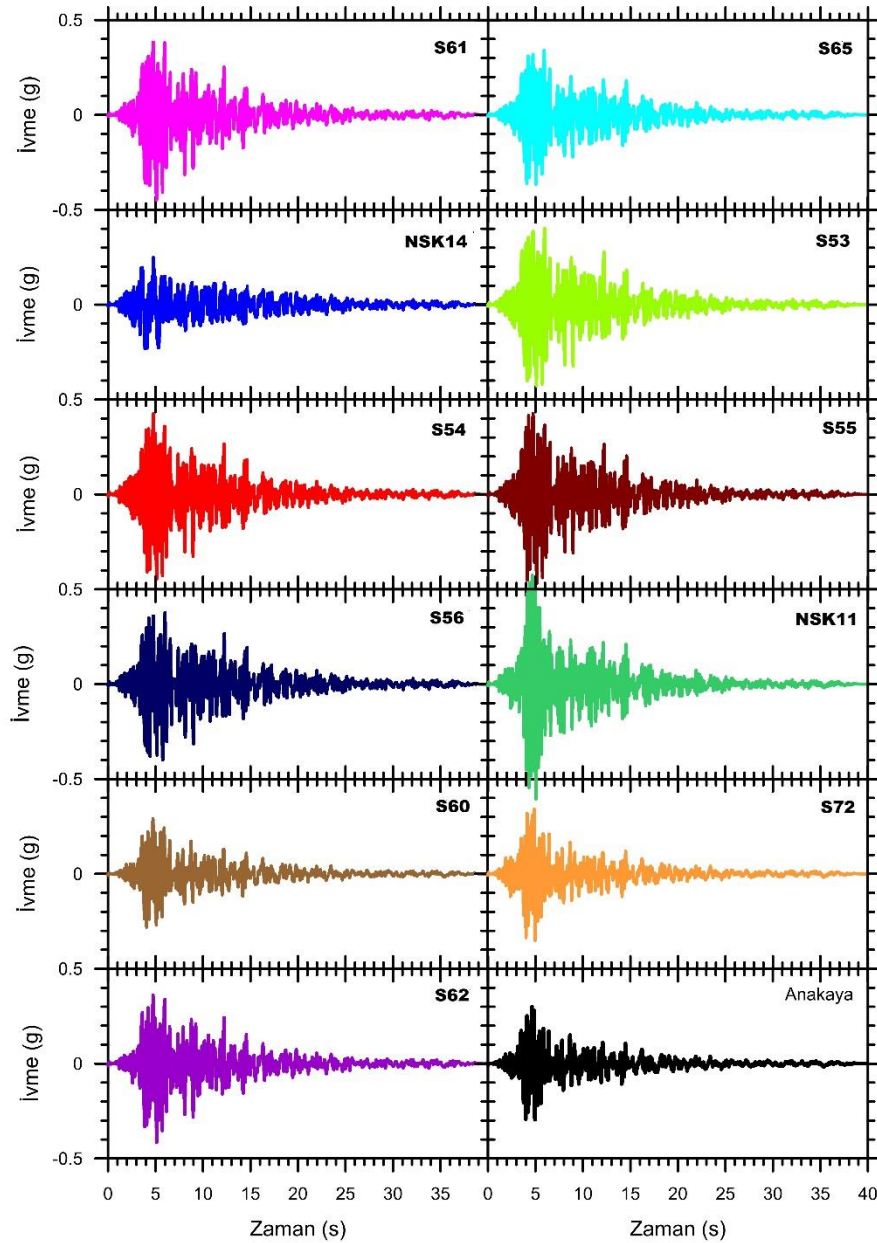
Şekil 6.25. Bölge 1 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Imperial Valley 2 1940'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivmeler S61 ve S54 sondajlarında 0.5 g olarak belirlenmiştir. S61 sondaj örneği pik ivmeye 14. saniyede, S54 ise 7 ve 14. saniyelerde ulaşmıştır. S60 sondajı anakayaya yakın ivme değerleri göstermiştir (Şekil 6.26).



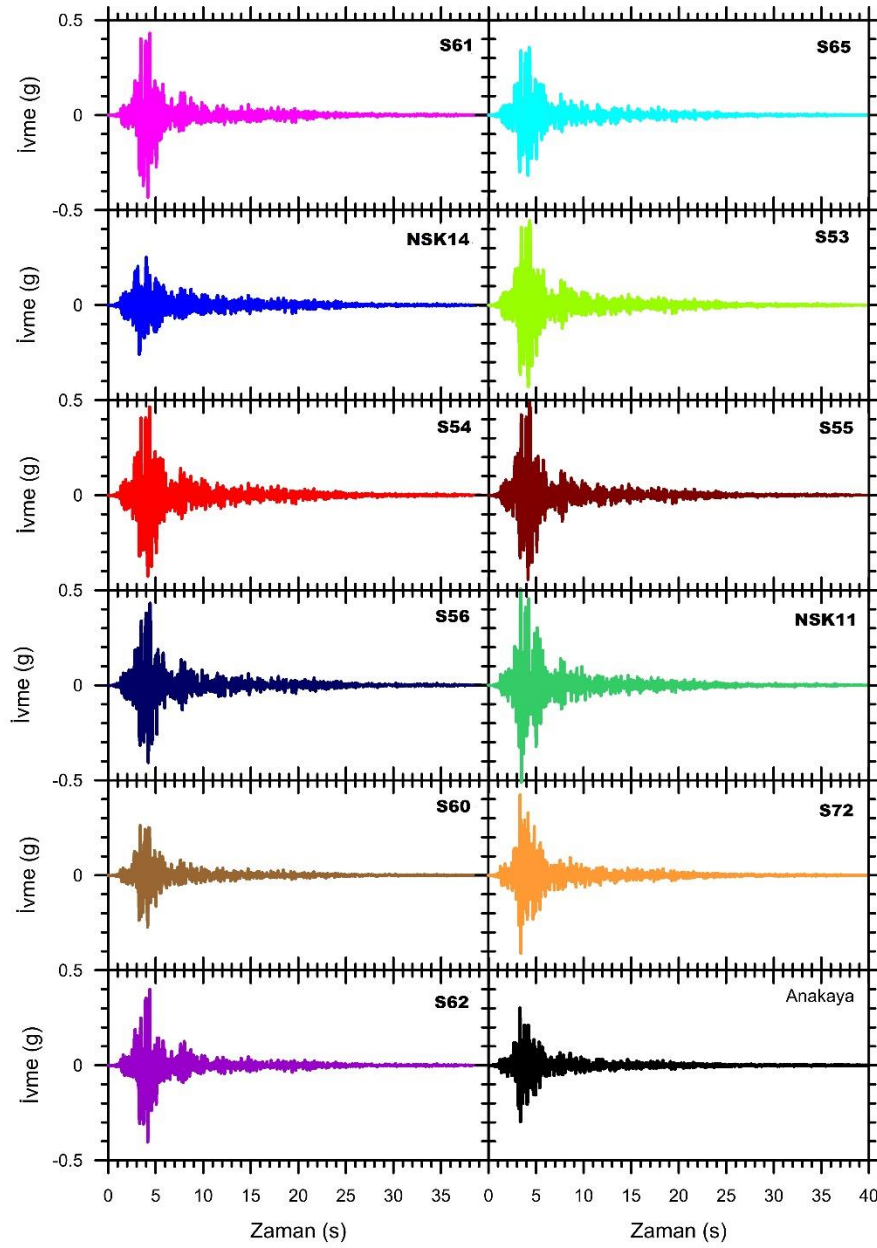
Şekil 6.26. Bölge 1 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Loma Prieta 1 1989'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivmeler NSK11 ve S55 sondajlarında 0.5 g olarak 4. saniyede oluşmuştur. S60 sondajı anakayaya yakın ivme değerleri göstermiştir. NSK14 sondajında ise pik ivme değerinde anakayaya göre daha küçük değerler görülmektedir (Şekil 6.27).



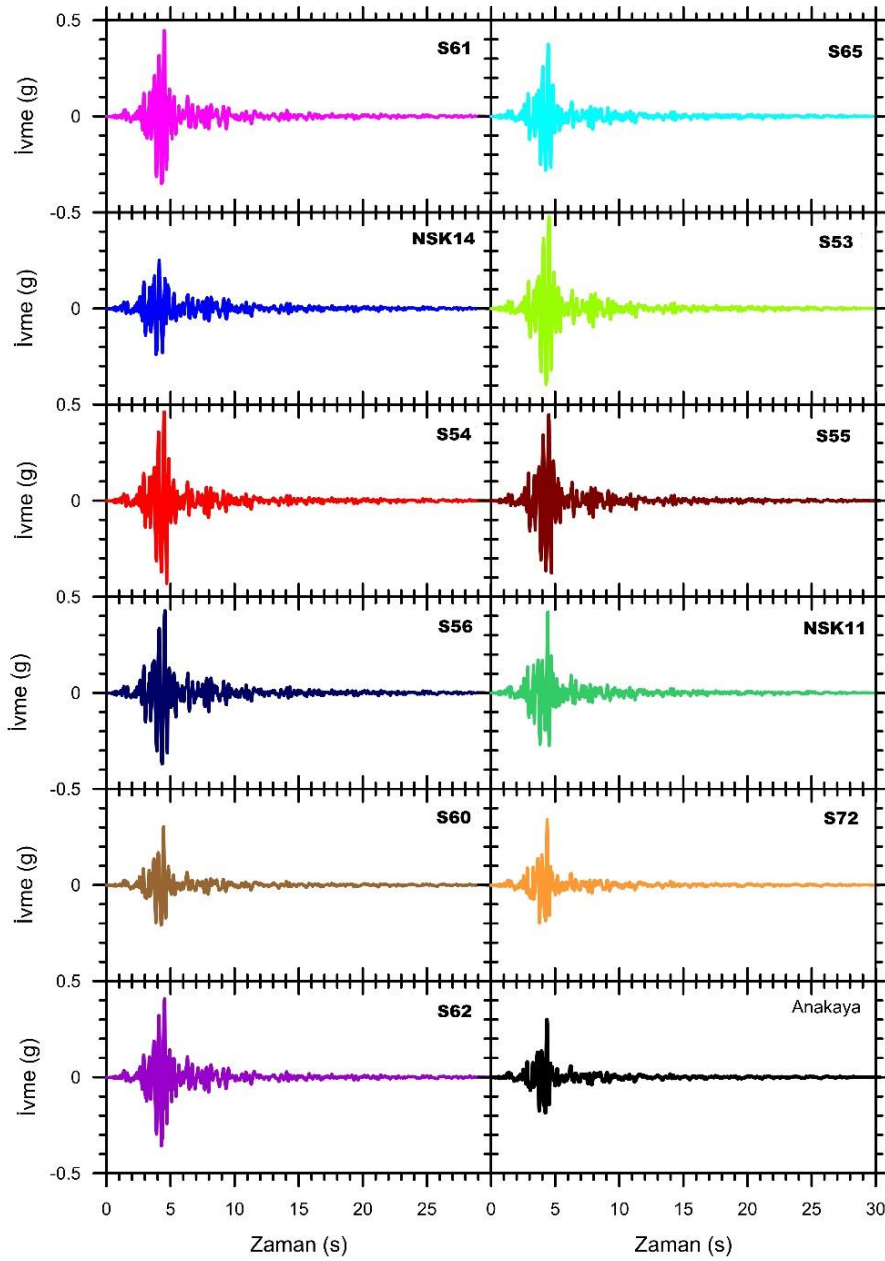
Şekil 6.27. Bölge 1 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Loma Prieta 2 1989'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivme NSK11 sondajında 0.5 g olarak 3.5 saniyede oluşmuştur. S60 sondajında pik değer yine anakayaya yakın olduğu görülmektedir. NSK14 sondajında ise pik ivme değerinde anakayaya görece daha küçük değer elde edilmiştir (Şekil 6.28).



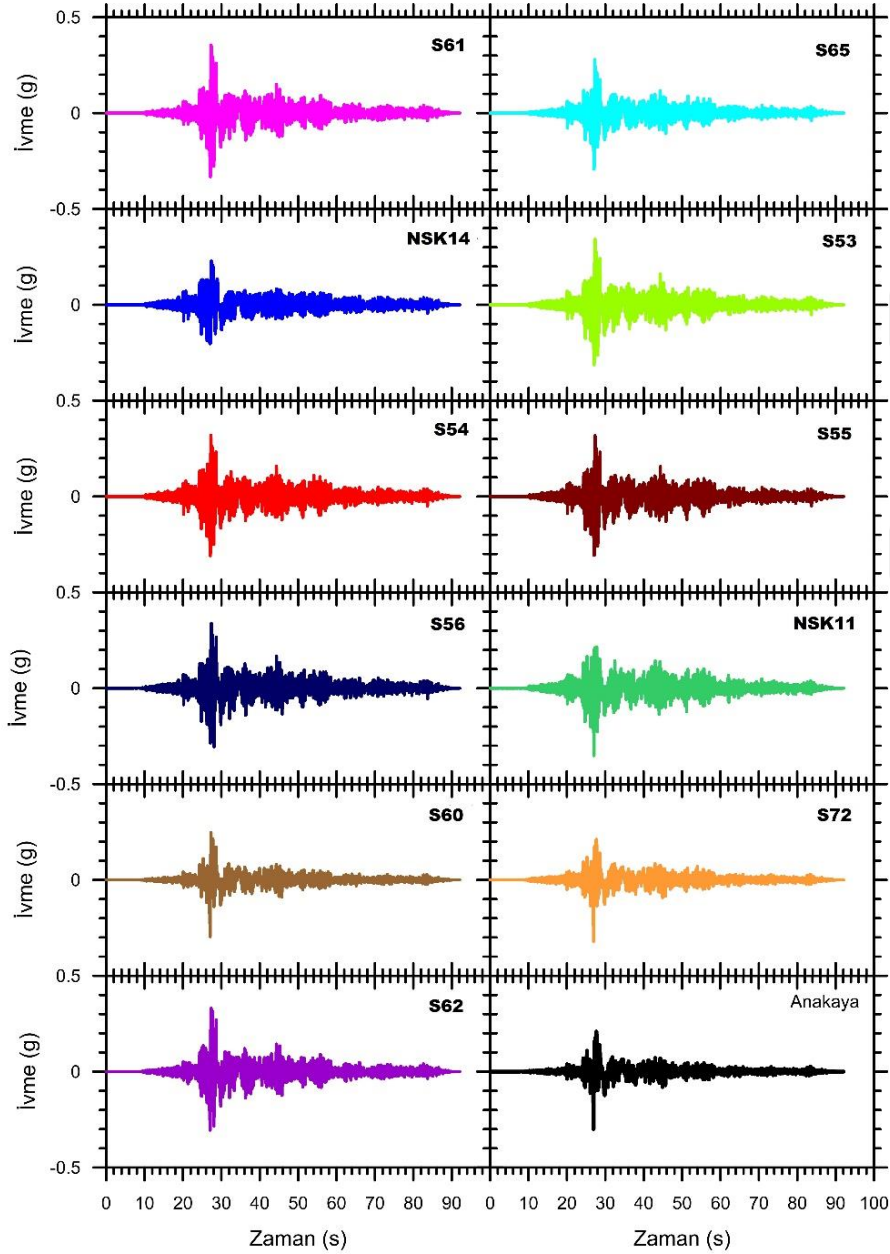
Şekil 6.28. Bölge 1 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Parkfield 1966'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivme S53 ve S54 sondajlarında yaklaşık 0.5 g olarak 4.5 saniyede görülmektedir. Anakayaya en yakın pik ivme değerini gösteren S60 ve S72 örnekleridir. NSK14 sondajında ise yine pik ivme değerinde anakayaya görece azalım görülmektedir (Şekil 6.29).



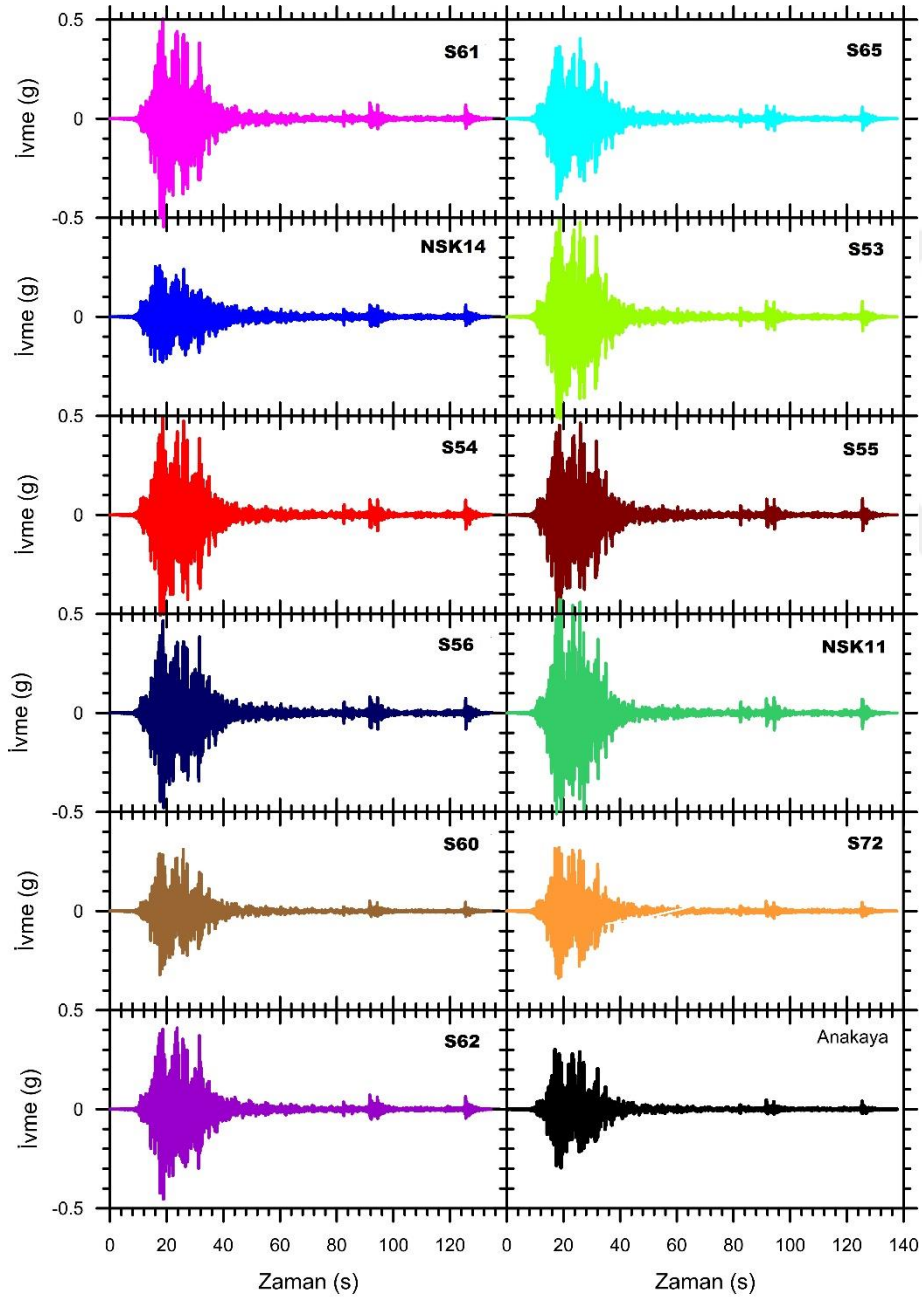
Şekil 6.29. Bölge 1 için Parkfield 1966 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Denali Alaska 2002'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivme S61, S53 ve S56 sondajlarında yaklaşık 0.35 g olarak 28. saniyede görülmektedir. Anakayaya en yakın pik ivme değerini gösteren S60'da 28. saniyede max pik ivme değeri 0.3g, NSK14 ise 28. saniyede pik ivme değerinin 0.2 g olarak belirlenmiştir (Şekil 6.30).



Şekil 6.30. Bölge 1 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

Darfield Yeni Zelanda 2010'a göre yapılan analizler sonucunda pik ivme NSK11 sondajında yaklaşık 0.6 g olarak 18. saniyede görülmektedir. Anakayaya en yakın pik ivme değerini gösteren S60 sondajında 18. saniyede pik ivme değeri 0.3g olduğu, NSK14 sondajında ise yine 18. saniyede pik ivme değerinin 0.25 g olduğu görülmektedir (Şekil 6.31).



Şekil 6.31. Bölge 1 için Darfield New Zealand 2010 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

6.2.2. Sahaya özel zeminin tepki spektrumu

Bu bölümde doğrusal olmayan davranış analiz sonuçlarından inceleme alanında yer alan 4 Bölge için tepki spektrum parametreleri elde edilmiş, elde edilen verilerden spektral ivme (Sa)- Periyot (T) grafikleri oluşturulmuştur.

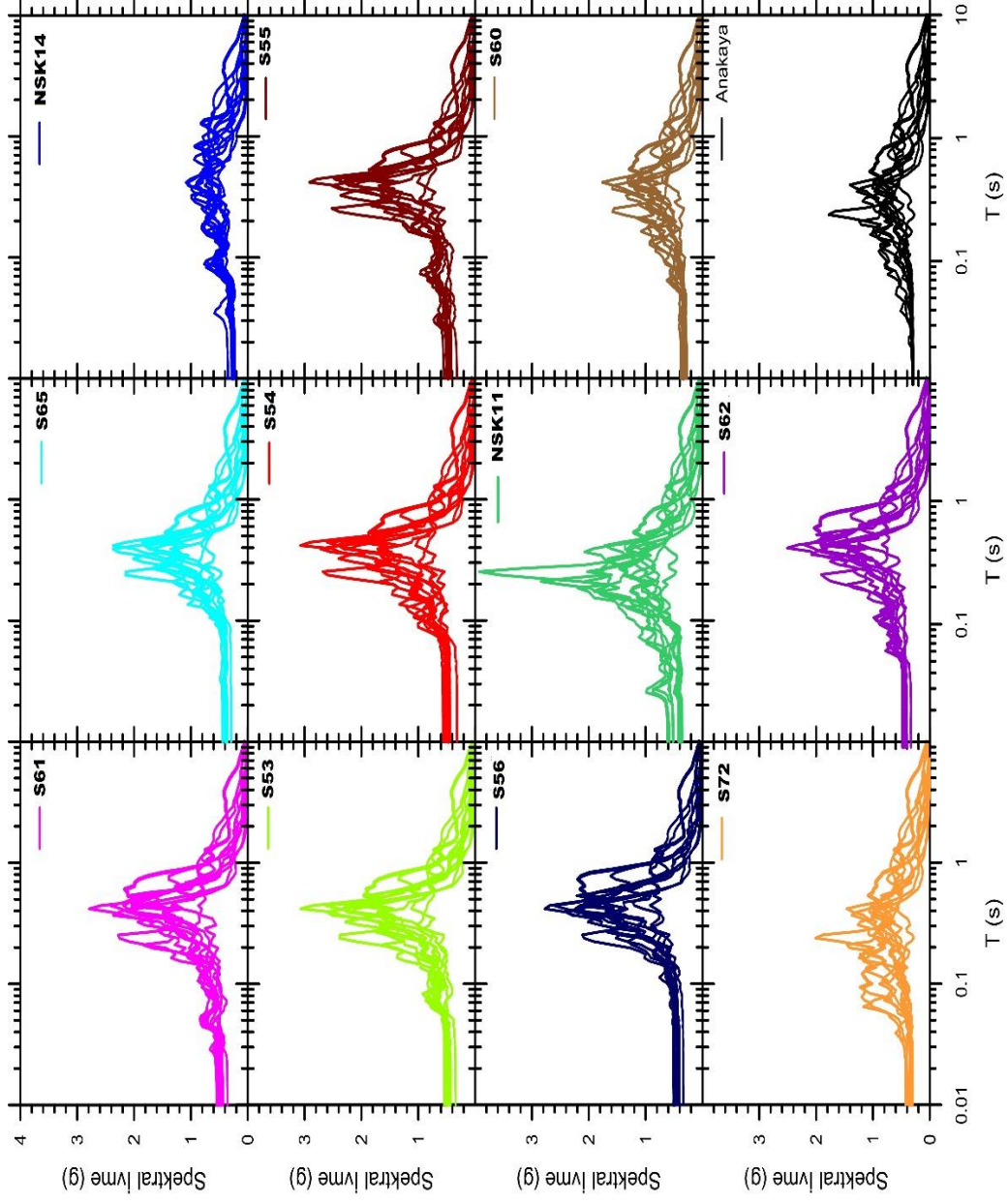
Doğrusal olmayan analiz çalışmaları sonucunda, Bölge 1 içerisinde pik değerler Sazova ve Çamlıca mahalleleri arasında bulunan NSK11 sondajında elde edilerek 4 g olarak belirlenmiştir. Bu değere 0.25 saniyede ulaşılmıştır. En düşük pik ivme değeri bu bölgede Karabayır mahallesinin üst kotlarını temsil eden Sazova Mahallesi ile Karabayır Mahallesi sınırında bulunan NSK14 sondajında oluşmuştur. Anakayada oluşan pik ivme değeri 1.8 g olmasına rağmen, NSK14 sondajında maksimum spektral ivme değeri 1.2 g olarak elde edilmiştir. Uluönder Mahallesi temsil eden S61 ve S62 sondajlarında max spektral ivme değerleri sırasıyla yaklaşık 2.8 g ve 2.4 g olarak belirlenmiş ve her iki örnekte pik değere 0.6 saniyede ulaşılmıştır. Yeşiltepe Mahallesi yer alan S65 sondajından elde edilen sonuçlarda pik spektral ivme değerinin 2.4 g olduğu ve bu değere 0.4 saniyede ulaştığı görülmektedir. Orhangazi Mahallesi sınırları içerisinde bulunan S53 sondajında maksimum spektral ivme değerinin yaklaşık 3.2 g olduğu ve bu değere 0.4 saniyede ulaştığı belirlenmiştir. Sazova Mahallesi bulunan S54, S55 ve S56 sondajlarında ise pik spektral ivme değerlerinin sırasıyla 3 g, 2.8 g, 2.8 g olduğu ve pik değerlere 0.4 saniyelerde ulaştığı görülmektedir. Ayrıca S60 ve S72 sondajlarından elde edilen Sa(g)- T (sn) grafiklerine göre, bu sondajlarda hakim periyotu tek bir değer ile ifade etmek doğru olmamakta; hakim periyot aralığının 0.2 sn-0.6 sn arasında oluştuğunu ve bu nedenle geniş bir hakim periyot varlığından söz edilmektedir (Şekil 6.32).

Bölge 2 için yapılan doğrusal olmayan analiz çalışmalarından elde edilen spektral ivme (Sa)- Periyot (T) grafiklerine göre anakayada max spektral ivme değeri 0.25 saniyede 1.8 g olarak görülmektedir. Şirintepe mahallesinin yüksek kesimlerini temsil eden S79 sondajında max spektral ivme 0.1-0.3 saniye aralığında 2 g olarak elde edilmiştir. Zincirlikuyu mahallesini temsil eden NSK12 sondajında maksimum spektral ivme 0.25 saniyede 3 g, Fevziçakmak mahallesi sınırları içerisinde bulunan LOGSK103 sondajında maksimum spektral ivme değerleri 0.25 saniyede 3.4 g olarak belirlenmiştir. Şarhöyük mahallesinde bulunan NSK3 sondajında iki pik değer olarak 2.4 g 0.25 ve 0.35 saniyelerde

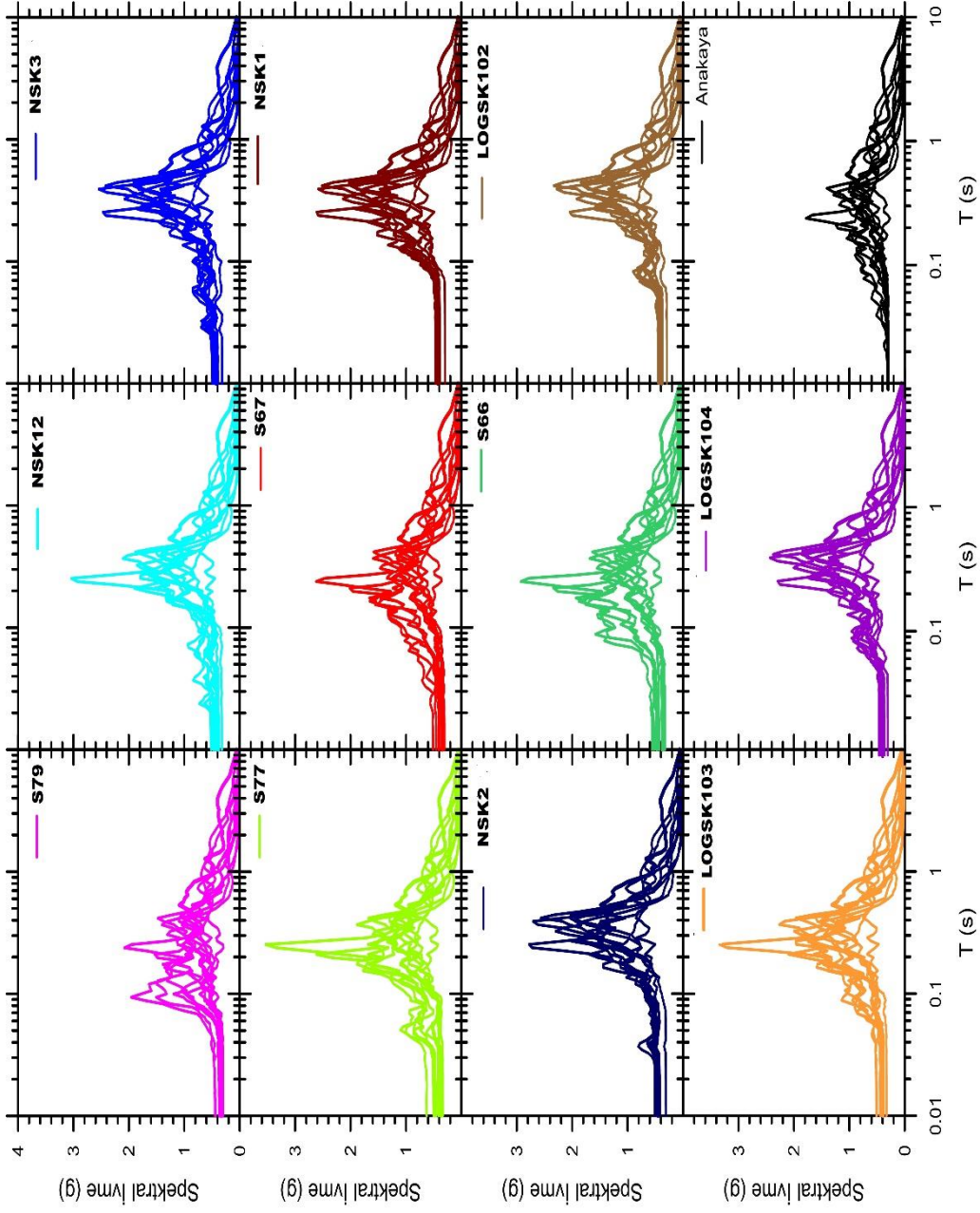
görülmektedir. Zincirlikuyu mahallesinde yer alan S77 sondajında maksimum spektral ivme değeri anakayaya göre yaklaşık 2 kat büyük 3.6 g olarak 0.25 saniyede elde edilmiştir. Muttalıp mevkiinde yer alan NSK1 ve NSK2 sondajlarında maksimum spektral ivme değerlerinin 0.25 saniyede 2.4 g ve 2.8 g olduğu görülmektedir. Dorlion mevkiinde bulunan LOGSK102 ve LOGSK104 sondajlarında maksimum spektral ivmelerin 0.25 saniyede 2.2 g ve 2.4 g değerine ulaştığı belirlenmiştir. Sütlüce mahallesinde bulunan S66 ve S67 sondajlarında spektral ivme değerinin 0.25 saniyede 2.8 g ve 2.6 g değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 6.33).

Bölge 3 için yapılan analiz sonuçlarına göre Hoşnudiye Mahallesinde bulunan S64 sondajında maksimum spektral ivme değerinin 0.4-0.8 sn aralığında 2 g olarak elde edilmiştir. Sümer Mahallesinde bulunan NSK8 ve S51 sondajlarında maksimum spektral ivme değerlerinin 0.25 saniyede sırasıyla 3.2 g ve 2.6 g olduğu; S58 sondajında ise maksimum spektral ivme değerlerinin 0.4-0.8 saniye aralığında 1.8 g olduğu görülmektedir. Ertuğrulgazi ve Sümer Mahalleleri sınırında yer alan S57 sondajında ise maksimum değer 0.25 saniyede 3.4 g olarak belirlenmiştir. Gültepe Mahallesinde bulunan S49 sondajında maksimum spektral ivme değeri 0.25 saniyede 4.2 g olarak elde edilmiştir. Büyükdere Mahallesinde bulunan S46 ve Büyükdere Mahallesinin üst kotlarında Yenikent civarında bulunan S47 sondajlarında maksimum spektral ivme değerlerinin sırasıyla 0,25 saniyede 3g ve 2.8 g olduğu görülmektedir. Göztepe Mahallesinde bulunan NSK9 sondajında maksimum spektral ivme değeri 0.25 saniyede 4.2 g olarak elde edilmiştir. Sümer ile Büyükdere Mahalleleri sınırında bulunan NSK10 sondajlarında ise maksimum spektral ivme değeri 0.25 saniyede 3 g olarak belirlenmiştir (Şekil 6.34).

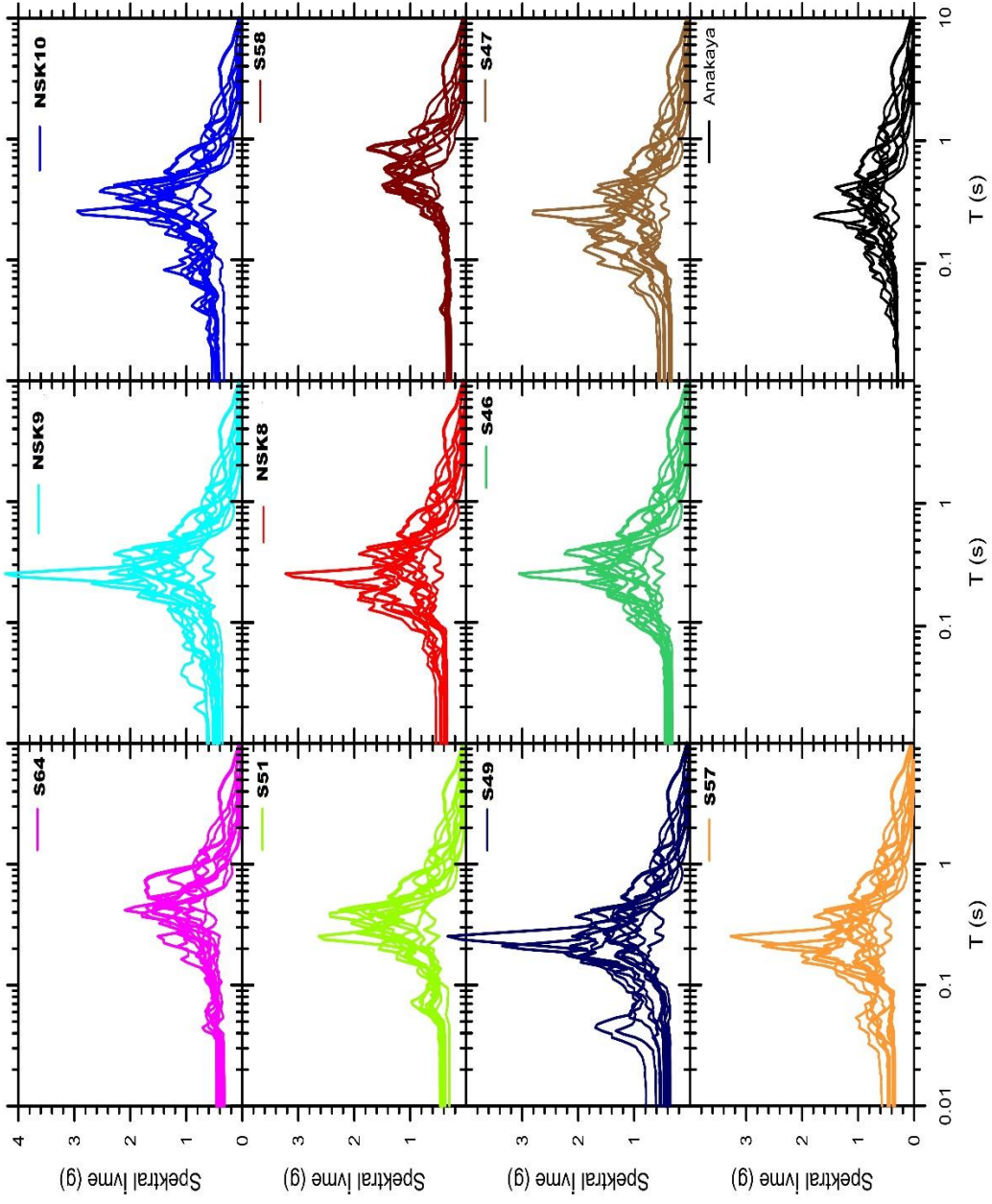
Bölge 4 için; Şeker Mahallesinde LOGSK85 sondajında maksimum spektral ivmenin 0.7 saniyede 1.8 g, LOGSK83 ve LOGSK92'de 0.25 saniyede 3.8 g, NSK5'de 0.25 saniyede 4 g, LOGSK82 sondajında ise 0.5 saniyede 2 g olarak elde edilmiştir. Arifiye Mahallesi sınırları içerisinde bulunan LOGSK80 sondajında maksimum spektral ivmenin 0.4 saniyede 2.4 g olarak belirlenmiştir. Hoşnudiye Mahallesinde bulunan NSK13 sondajı ile Şeker mahallesinde bulunan LOGSK84 sondajında, hakim periyot 0.4-0.8 sn arasında değişmekte ve max spektral ivmelerin 1.8- 2.2 g olarak elde edilmektedir. Ömerağa Mahallesinde bulunan LOGSK 81 ve Şarhöyük Mahallesinde bulunan LOGSK99 sondajlarında ise maksimum spektral ivme değerleri 0.25 saniyede 2.6 g olarak elde edilmiştir (Şekil 6.35).



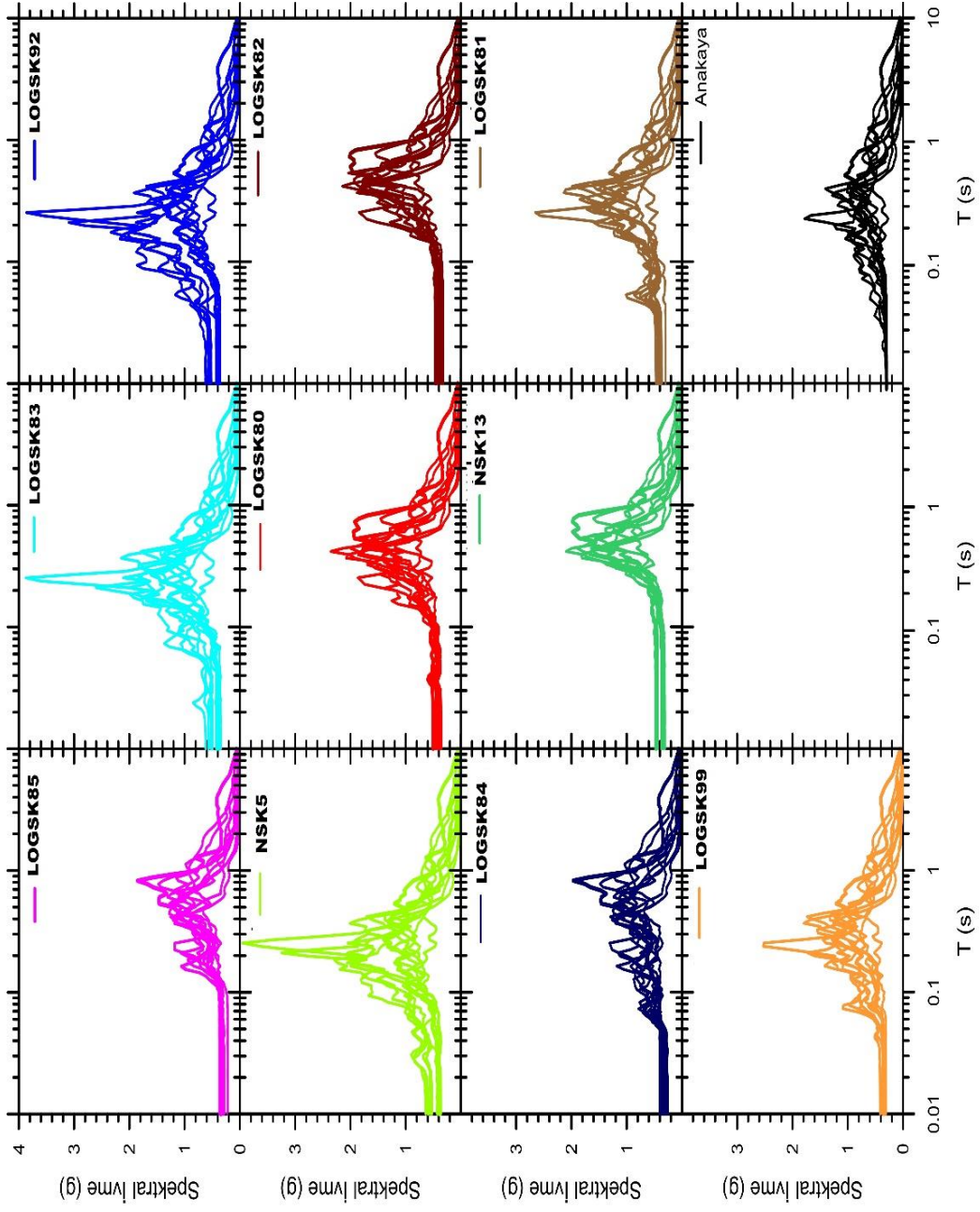
Şekil 6.32. Bölge 1 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri



Şekil 6.33. Bölge 2 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri



Şekil 6.34. Bölge 3 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri



Şekil 6.35. Bölge 4 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş spektral ivme- periyot değerleri

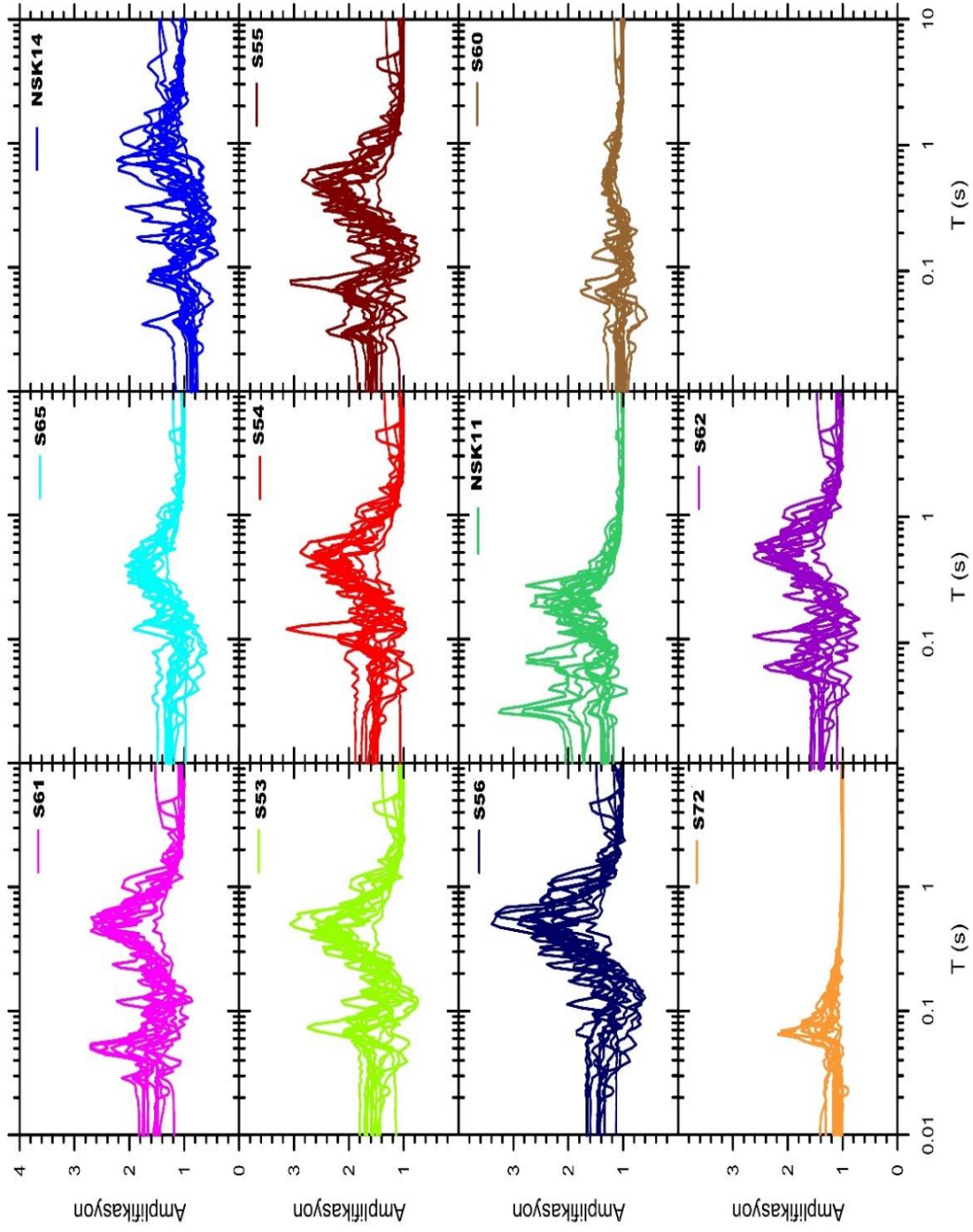
6.2.3. Sahaya özel zeminin büyütme değerleri (amplifikasyon faktörü)

Şekil 6.36'da Bölge 1 için 11 sondajda 11 farklı deprem verisi kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz çalışmaları kapsamında büyütme oranlarının 1.6 ile 3.4 arasında değiştiği ve en yüksek büyütmenin S53, en düşük büyütmenin S60 sondajlarında olduğu görülmektedir. Ayrıca elde edilen grafiklere göre $T=1$ 'den sonra yani yüksek periyotlarda davranışın çok benzer olduğu, ancak $T=0.1$ ile $T=1$ arasında davranışın farklılaştığı belirlenmiştir.

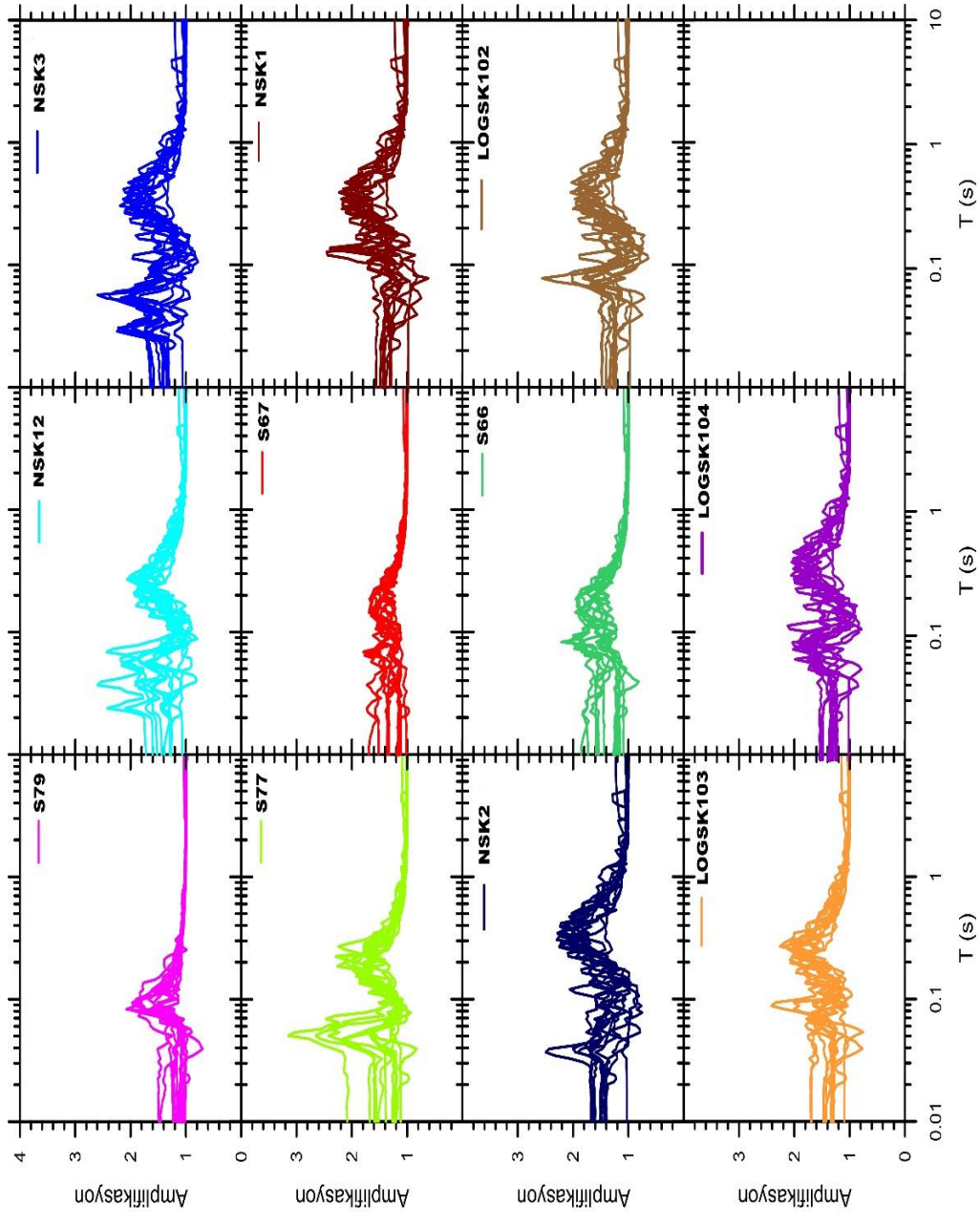
Şekil 6.37'de Bölge 2 için 11 farklı deprem kaydı kullanılarak 11 sondajda tamamlanan doğrusal olmayan analiz çalışmaları sonucunda büyütme oranlarının 1.6 ile 3.2 arasında değiştiğini ve en yüksek büyütmenin S77, en düşük büyütmenin ise S67 sondajlarında olduğu görülmektedir.

Şekil 6.38'de gösterilen Bölge 3 için 10 sondajda 11 farklı deprem kaydı kullanarak tamamlanan doğrusal olmayan analiz çalışmaları sonucunda büyütme oranlarının 2 ile 4.4 arasında değiştiğini, en yüksek amplifikasyon oranının S49 ve en düşük amplifikasyon oranının ise NSK8, S46 ve S47 sondajlarında olduğu belirlenmiştir.

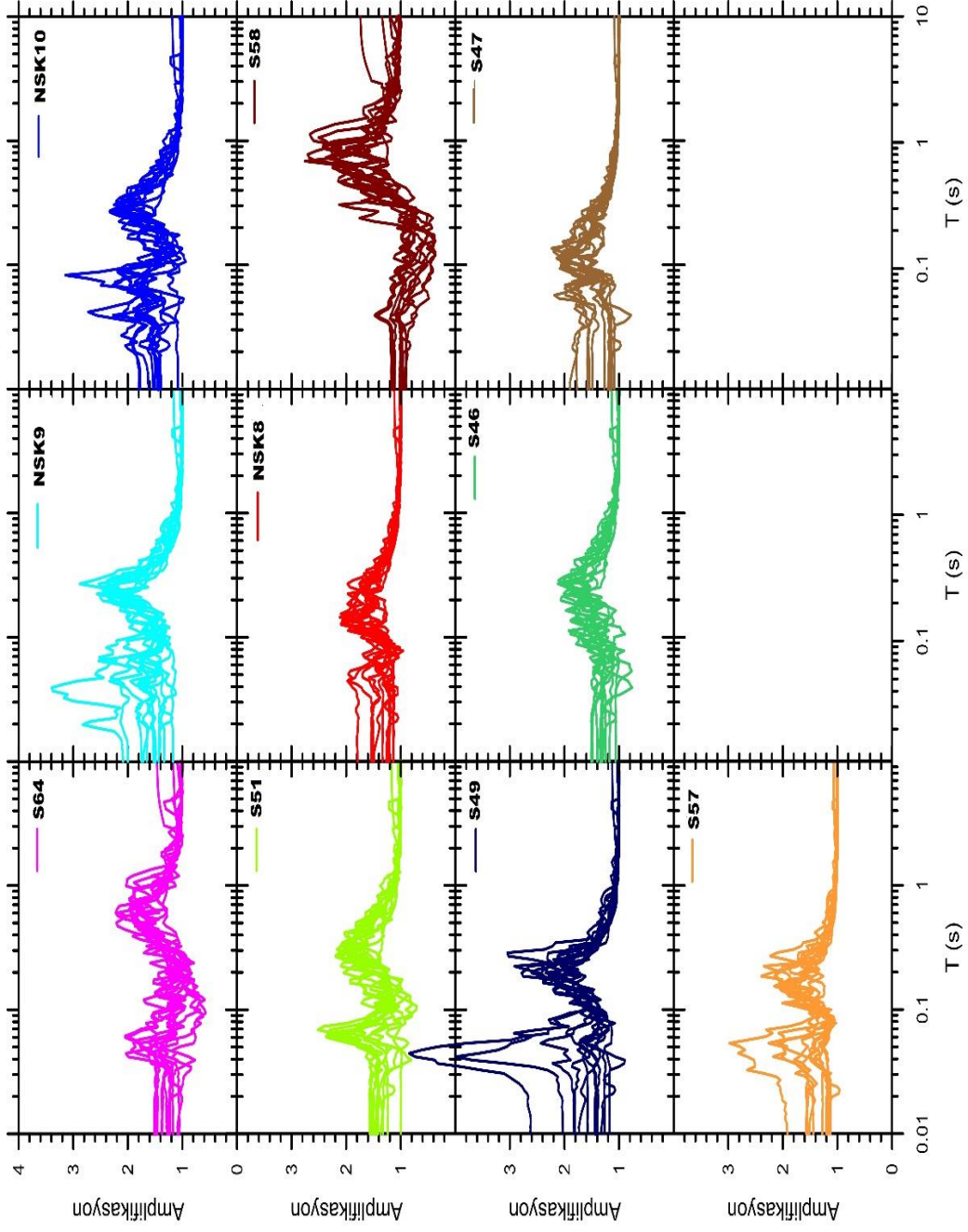
Şekil 6.39'de gösterilen Bölge 4 için 11 farklı deprem kaydı kullanarak 10 sondajda tamamlanan doğrusal olmayan analiz çalışmaları sonucunda, büyütme oranlarının 2.2 ile 3.4 arasında değiştiği, en yüksek büyütme oranının LOGSK83 ve LOGSK92 en düşük büyütme oranının ise LOGSK99 sondajlarında olduğu belirlenmiştir.



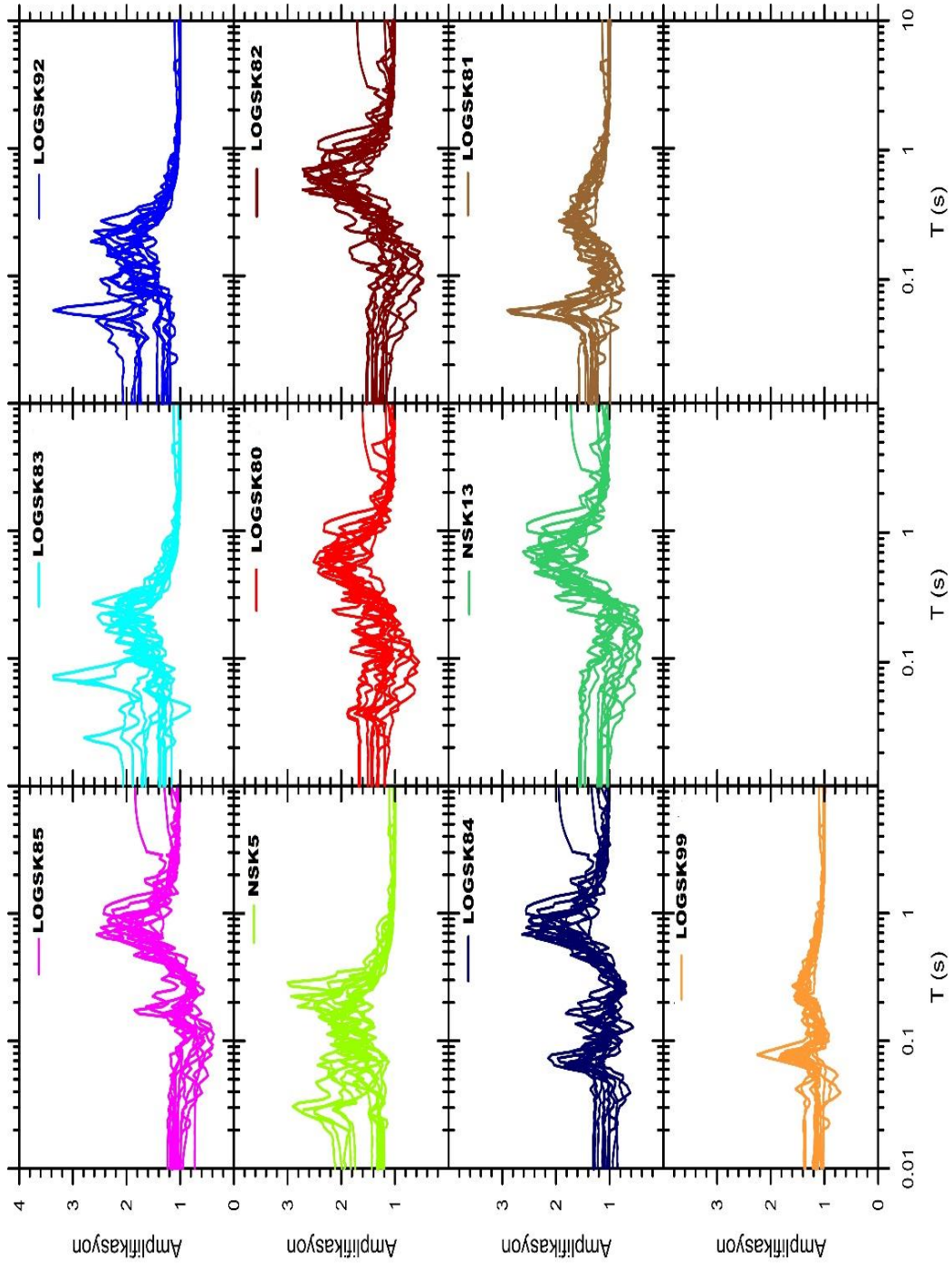
Şekil 6.36. Bölge 1 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri



Şekil 6.37. Bölge 2 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri



Şekil 6.38. Bölge 3 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri



Şekil 6.39. Bölge 4 için doğrusal olmayan analiz çalışmalarında 11 farklı deprem verisi kullanılarak elde edilmiş büyütme (amplifikasyon) değerleri

6.3. Uluslararası Yapı Kodlarına Göre Spektral Parametrelerinin Karşılaştırılması

Dinamik derinlik kabul edilen 30 m için ($V_{s,30}$) kesme dalgası hızı gibi parametreler göz önüne alınarak zemin sınıfının belirlenmesi, çoğu bina kodunun önerdiği gibi uygun bir yol olarak kabul edilir, ancak temsil edilmesi için en iyi ölçüt değildir. Özcan vd., (2018) Kayseri'deki bazı turba yataklarının dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla zemin davranış analizleri yapmışlardır. Ayrıca, çalışmalarında mevcut sismik kodları, sismik tasarım spektrumları ve Türkiye ve Avrupa'daki zemin davranış spektrumları ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, turba yataklarında deprem dalgalarının genellikle > 0.3 sn'lik dönemlerde zayıfladığı ve turba tasarım spektrumlarının Türk sismik tasarım kodları ve Avrupa İnşaat tasarım kodları ile uyumlu olmadığını belirlemişlerdir (Özcan vd., 2018).

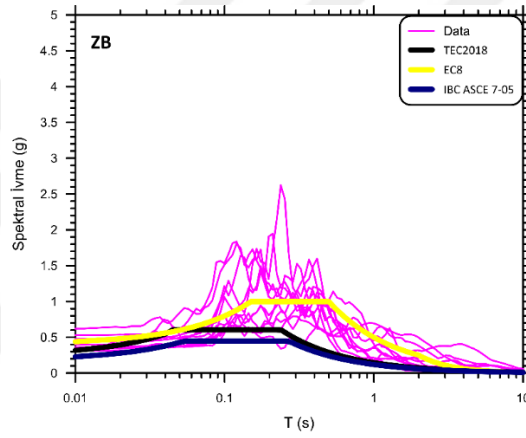
Bu tez çalışmasında Deepsoil yazılımının yardımıyla 42 kuyu için spektral davranış, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yaklaşımlar kullanılarak değerlendirilmiş; sonuçlar, belirli koşullar altında zemin sınıflarına göre zemin tepkisini tahmin eden performanslarını görmek amacıyla sismik kodları ile karşılaştırılmıştır. Belirli bölge için spektral davranışlar Eurocode 8 (EC8 2004), Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (IBC-ASCE 7, 2000) ve TBDY (2018) tarafından sunulan uluslararası yapı kodları için hesaplandı. Uluslararası yapı kodlarına göre üst 30 m (V_{s30}) ortalama kesme dalgası hızı kullanılarak yerel zemin sınıflarının belirlenmesi Çizelge 6.1'de sunulmuştur. EC8'de sadece 4 grup bulunurken, IBC 6 zemin sınıfını tanımlar. V_{s30} aralığı, EC8'e kıyasla IBC için daha geniştir, bu nedenle zemin sınıfları farklı olabilir. Örneğin, V_{s30} 750 m/s'den sahip bir zemin profili, EC8 için B sınıfı olarak sınıflandırılır, ancak IBC'YE göre C sınıfı olması önerilir. Ayrıca TDY 2007 EC8 ile benzerliklere sahipken, TBDY 2018 daha çok IBC ile çok iyi eşleşmektedir.

Çizelge 6.1. EC8 ve IBC ASCE'ye göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

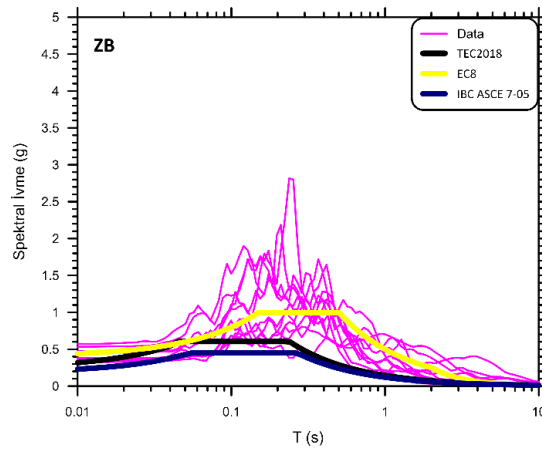
YEREL ZEMİN SINIFI		TANIMLAMA	
EC8	IBC ASCE	EC8	IBC ASCE
A	A	Kaya veya kaya benzeri jeolojik oluşum $V_{S(30)} > 800\text{m/s}$	Sert kaya $V_{S(30)} > 1524\text{m/s}$
B	B	Çok yoğun kum, çakıl veya çok sert killi çökeller $360\text{m/s} < V_{S(30)} < 800\text{m/s}$	Kaya $762\text{m/s} < V_{S(30)} < 1524\text{m/s}$
C	C	Yoğun veya orta yoğun kum, çakıl veya sert killi derin çökeller $180\text{m/s} < V_{S(30)} < 360\text{m/s}$	Çok yoğun (sert zemin) ve yumuşak kaya $366\text{m/s} < V_{S(30)} < 762\text{m/s}$
D	D	Gevşek, orta/daha az kohezyonlu çökeller $V_{S(30)} < 180\text{m/s}$	Sert (sıkı) zemin $183\text{m/s} < V_{S(30)} < 366\text{m/s}$
	E	Su tablası ile birlikte alüvyon tabakası üzerinde C tipi zemin veya kayada D tipi zemin	Yumuşak killi zemin $V_{S(30)} < 180\text{m/s}$ aşağıdaki özelliklere sahip 10 ft'den fazla zemin tabakasına sahip herhangi bir profil $PI > 20$ $w \geq 40\%$
S1	F	En az 10 m kalınlığında yumuşak kil/silt tabakası	
S2		Hassas killer, A – E veya S1 zemin tiplerine dahil olmayan başka bir zemin profili	

Bu çalışmada ulusal ve uluslararası kodlar tarafından sunulan spektrum zarfları göz önüne alınarak çalışma alanına özgü yapılan analizlerden elde edilen veriler farklı zemin sınıflarına göre kodlarla karşılaştırılmıştır. TDY 2007 artık geçerli olmadığından karşılaştırmada kullanılmamıştır. Çalışmada yapı kodlarından TBDY (2018), IBC ASCE 7-05 ve EC8 zarfları kullanılarak çalışma alanı zemin grupları ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF'ye göre spektrum parametreleri belirlenmiştir. İnceleme alanı zeminde TBDY 2018'e göre çoğunlukla ZC, ZD ve ZE zemin gruplarının baskın olduğu, birkaç lokasyonda da sahaya özgü davranış analizlerinin yapılmasının önerildiği ZF zemin grubunun olduğu görülmektedir.

Çalışma alanında ZB zemin grubunda yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri ve TBDY (2018), EC8 ve IBCASCE 7-05 spektrum zarflarını içeren grafik Şekil 6.40'da verilmiştir. Şekillerde TEC2018; TBDY (2018)'i ifade etmektedir. Bu grafiğe göre başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2 g ile 0.6 g arasında değiştiği, pik değerlerin yaklaşık 0.25 sn civarında 1.8-2.6 (g) aralığında gerçekleştiği görülmektedir. ZB zemin grubunda yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2-0.6 aralığında değiştiği, pik değerlerin ise yaklaşık 0.25 sn de 2.0-2.8 (g) arasında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 6.41).

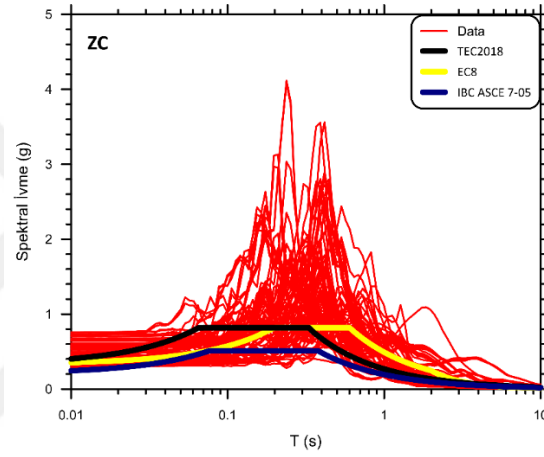


Şekil 6.40. ZB yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

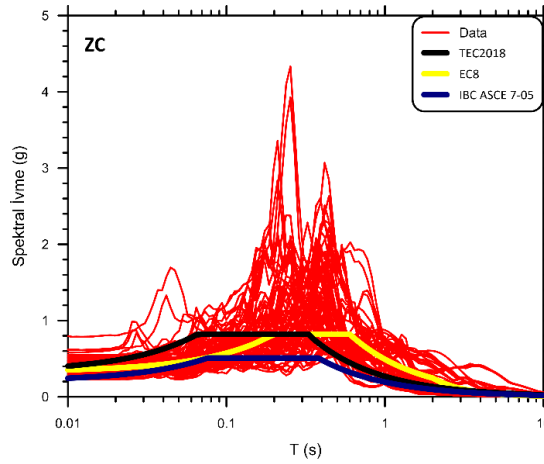


Şekil 6.41. ZB yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

İnceleme alanında ZC zemin grubunda yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri ve TBDY (2018), EC8 ve IBCASCE 7-05 spektrum zarflarını içeren grafik Şekil 6.42’de görülmektedir. Bu grafiğe göre başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2 g ile 0.8 g arasında değiştiği, pik değerlerin yaklaşık 0.2 sn civarında 2.8-4.0 (g) aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. ZC zemin grubunda yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2-0.8 (g) aralığında değiştiği, pik değerlerin ise yaklaşık 0.2 sn de 2.8-4.2 (g) arasında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 6.43).

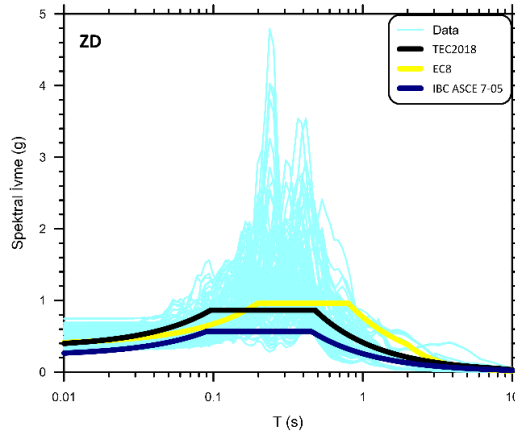


Şekil 6.42. ZC yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

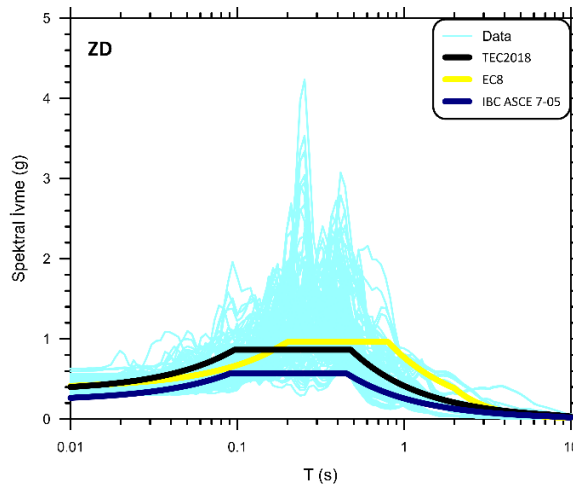


Şekil 6.43. ZC yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

Çalışma alanında ZD zemin grubunda bulunan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri ve TBDY (2018), EC8 ve IBCASCE 7-05 spektrum zarflarını içeren grafik Şekil 6.44'de verilmiştir. Bu grafiğe göre başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2 g ile 0.8 g arasında değiştiği, pik değerlerin yaklaşık 0.25 sn 3.0- 4.8 (g) aralığında olduğu görülmektedir. ZD zemin grubu için doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2-0.6 aralığında değiştiği, pik değerlerin ise yaklaşık 0.25 sn de 3.0-4.2 (g) arasında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 6.45).

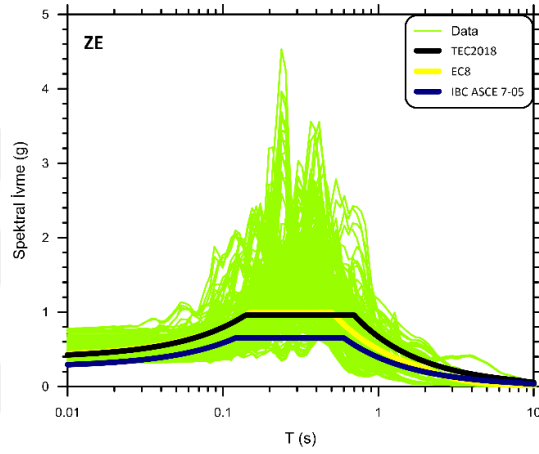


Şekil 6.44. ZD yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

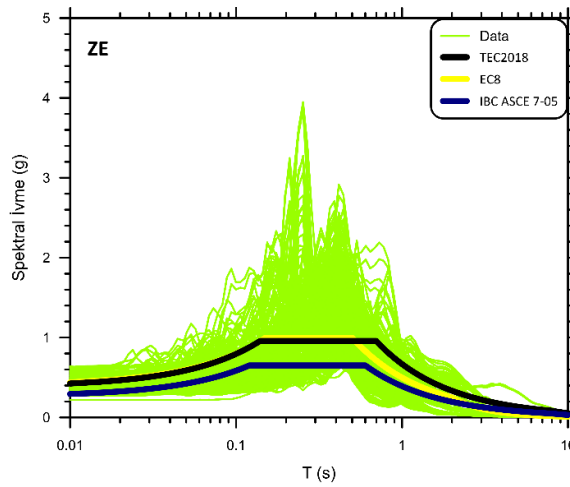


Şekil 6.45. ZD yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

İnceleme alanında ZE zemin grubunda yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri ve TBDY (2018), EC8 ve IBCASCE 7-05 spektrum zarflarını içeren grafik Şekil 6.46'da görülmektedir. Bu grafiğe göre başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2 g ile 0.8 g arasında değiştiği, pik değerlerin yaklaşık 0.2 sn civarında 3.0-4.4 (g) aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. ZE zemin grubunda yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2-0.6 (g) aralığında değiştiği, pik değerlerin ise yaklaşık 0.2 sn de 2.8-4.0 (g) arasında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 6.47).

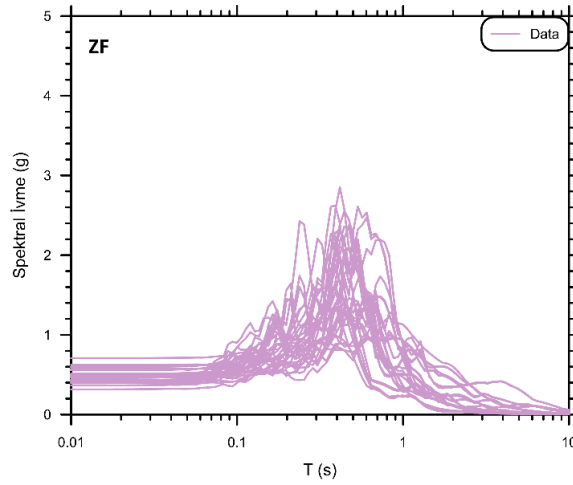


Şekil 6.46. ZE yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

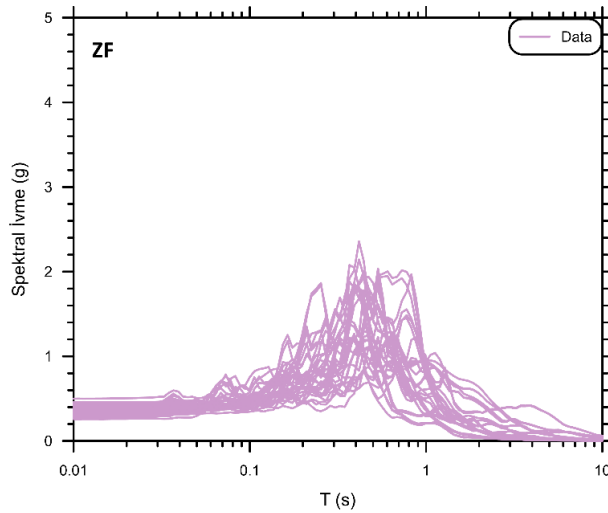


Şekil 6.47. ZE yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektrum parametrelerinin kodlarla karşılaştırılması

Çalışma alanında ZF zemin grubunda bulunan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerlerini içeren grafik Şekil 6.48’de verilmiştir. Bu grafiğe göre başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.4 g ile 0.8 g arasında değiştiği, pik değerlerin yaklaşık 0.35 sn 2.8 (g) aralığında olduğu görülmektedir. ZF zemin grubu için doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen başlangıç spektral ivme değerlerinin 0.2-0.45 (g) aralığında değiştiği, pik değerlerin ise yaklaşık 0.35 sn de 1.8-2.2 (g) arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.49).



Şekil 6.48. ZF yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri

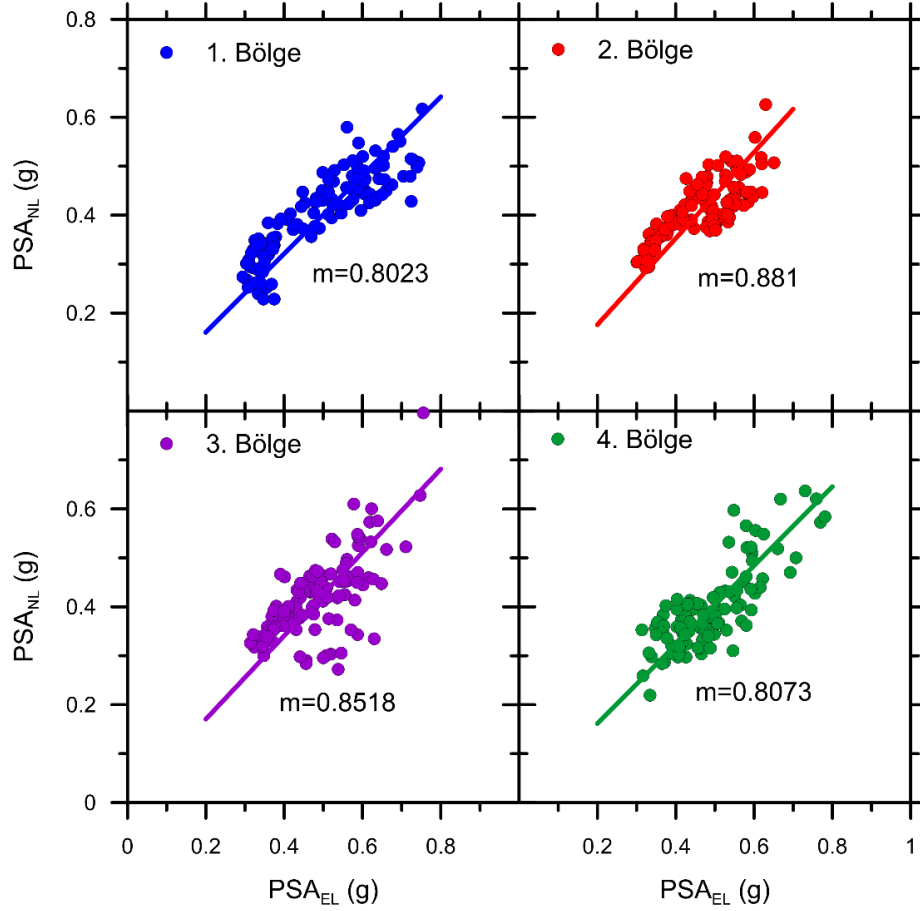


Şekil 6.49. ZF yerel zemin sınıfında yer alan sondajlardan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen spektral ivme değerleri

6.4. Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarının Doğrusal Olmayan Analizler ile Karşılaştırılması

Bu çalışmada, Eskişehir şehir merkezinde yayılım gösteren alüvyon zemin için 30 km² lik alanı temsil eden 42 sondaj ve sismik veriler kullanılarak, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir. Toplamda 462 adet eşdeğer doğrusal analiz ve aynı noktalarda 462 adet doğrusal olmayan analiz olmak üzere 924 analiz yapılmıştır. Bu analizlerden yüzeye ait zeminin spektral parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca bu analizler sonucunda Fourier genlik spektrumunda anakaya ile zemin yüzeyi arasındaki hareketin spektral hızının %5 sönümlenme durumunu temsil eden yerinde tasarım spektrumları adıyla bilinen Yarı Statik İvme Tepki Spektrumu (PSA) değerleri de elde edilmiştir. Tasarım tepki spektrumu; periyotları farklı belirli bir sönüm özelliğine (% 5) sahip bir sahanın farklı deprem kuvvetlerine verdiği tepkinin maksimumudur. Tasarım spektrumları yeni inşa edilecek yapılarda deprem yükünü belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında 4 Bölgede tamamlanmış eşdeğer doğrusal (EL) ve doğrusal olmayan (NL) analiz yöntemlerinden elde edilmiş PSA değerlerinin, T=0.01sn, T=0.1sn ve T=1sn periyotları için karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur. Yapı tasarımında bu periyotların önemli olması ve yüzey hareketi için bir yaklaşımında bulunulması amacıyla bu üç periyot kıyas olarak tercih edilmiştir.

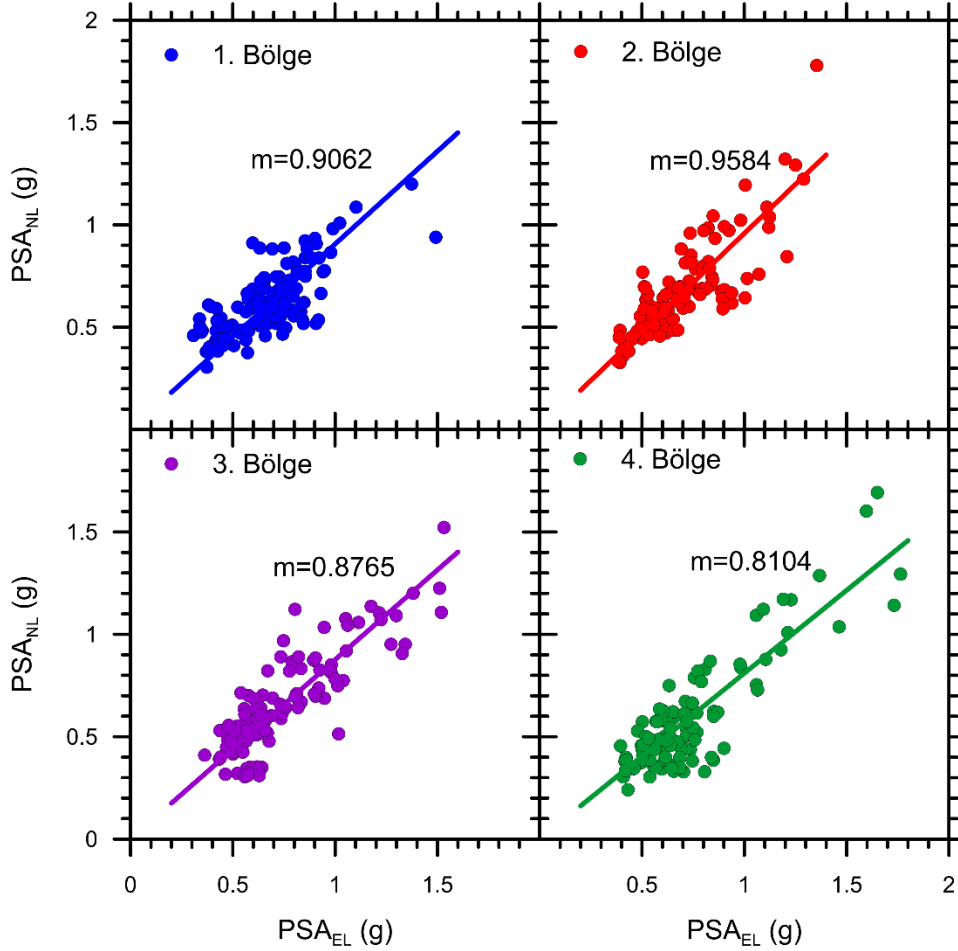
T=0.01 saniye için oluşturulan PSA grafiklerinde m değeri grafiğin eğimini göstermektedir. En düşük periyottaki spektral ivmeler (T=0.01) aslında en büyük yüzey ivmelerine yakın değerlerdir. Her bölge için oluşturulan eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin kıyaslaması Şekil 6.50' de sunulmuştur. Grafik detaylı incelendiğinde doğrusal bir ilişki gözlenmiş, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan sonuçlardan elde edilen PSA değerlerinin 2. Bölgede en yakın olduğu ve sonuçların hemen hemen her bölge için 0.3 g ile 0.8 g arasında değiştiği görülmektedir. Anakayaların en büyük ivmelerinin 0.3 g olduğu düşünülürse hemen hemen hiç bir zemin profilinin anakaya hareketini sönümlemediği gözlenmiştir. Ayrıca genel olarak eşdeğer doğrusal (EL) analiz sonuçları, doğrusal olmayan (NL) analiz sonuçlarına göre daha güvenli tarafta kaldığı görülmektedir. Bu ilişkinin aranmasındaki temel amaç, genelde gerekli bilgi ve analizinin daha karmaşık olması nedeniyle doğrusal olmayan analiz sonuçlarının, veri azlığı ve uygulamasının kolaylığı olan eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarıyla nasıl korelasyon içerdiğinin ortaya çıkarılmasıdır.



Şekil 6.50. T=0.01 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması

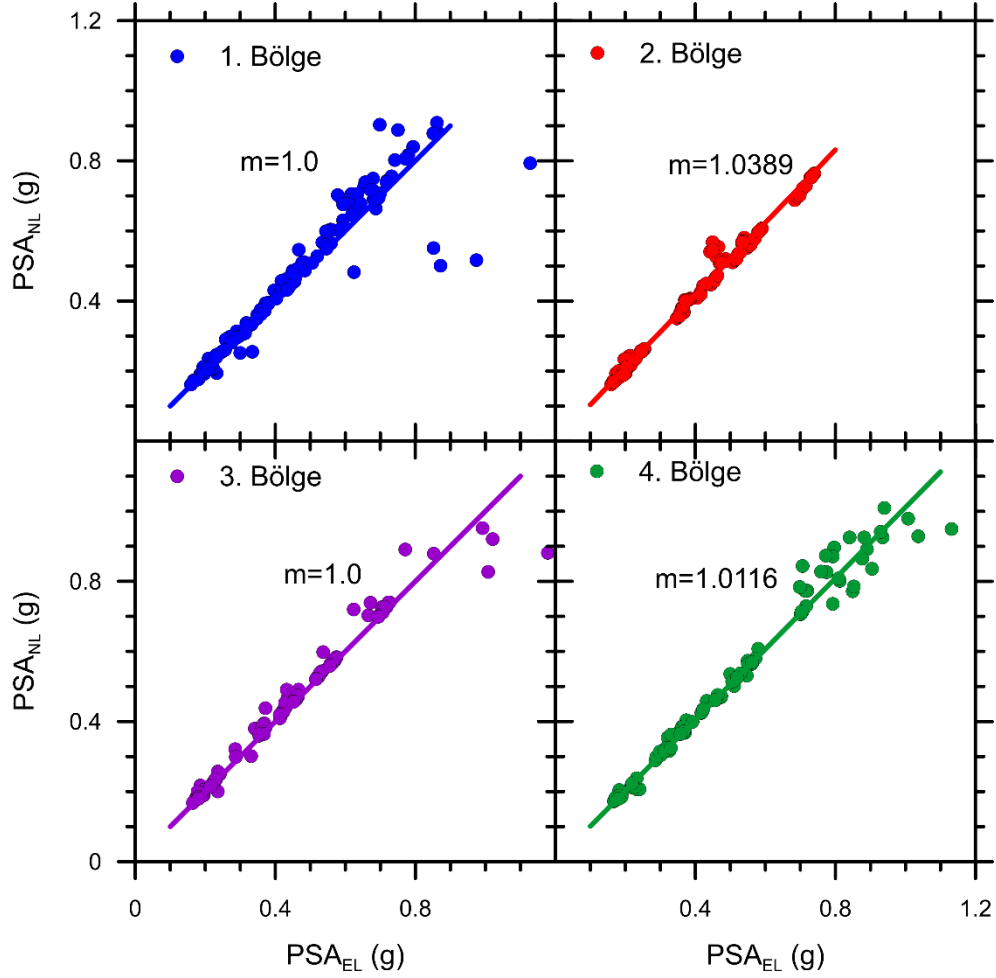
T=0.1 saniye için oluşturulan PSA grafikleri yorumlandığında 1. Bölgede PSA değerlerinin yaklaşık minimum 0.3g ile maksimum 1.5g arasında, 2. Bölgede PSA değerlerinin yaklaşık minimum 0.3 g ile 1.4 g arasında olduğu belirlenmiştir. 3. Bölgede yaklaşık minimum 0.3g ile maksimum 1.5g arasında, 4. Bölgede ise 0.4g ile 1.8g arasında değiştiği görülmektedir. Aynı zamanda eşdeğer doğrusal (EL) analiz yönteminden elde edilen sonuçlardan doğrusal olamayana (NL) göre daha büyük değerler elde edilmiştir (Şekil 6.51). Kısa periyottaki davranış spektral ivmenin başlangıca kıyasla daha büyüterek arttığını da göstermiştir ve bu iki analiz için de geçerlidir.

Grafik detaylı incelendiğinde diğer fark edilen nokta ise 2. Bölgede eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin bir nokta dışında tahmin ettiği yüzey ivmelerinin birbirlerine çok yakın olmasıdır. Ayrıca T=0.01 s'deki ilişkiye göre korelasyonun daha iyi olduğu görülmektedir.



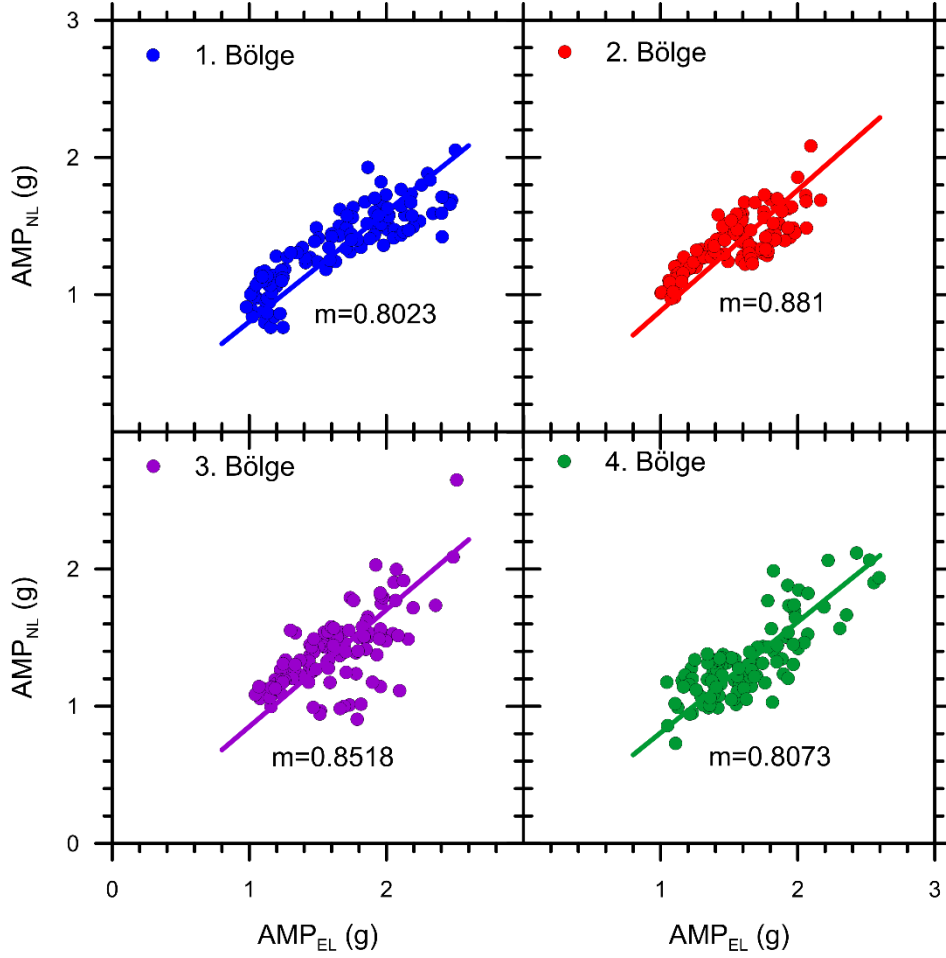
Şekil 6.51. T=0.1 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması

T=1 saniye için oluşturulan PSA grafikleri değerlendirildiğinde eğimin $m=1$ ve 1'den büyük olduğu görülmektedir. 1. Bölgede min PSA değerinin yaklaşık min 0.15g, maksimum 1.2g, 2. Bölgede min 0.2g ile maksimum 0.8g arasında, 3. Bölgede PSA değerlerinin min 0.15g ile 1.2g arasında değiştiği, 4. Bölgede ise min 0,2 g ile maksimum 1.2g arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca yine en yüksek PSA değerleri eşdeğer doğrusal analiz yönteminden elde edilmiştir (Şekil 6.52). Bu nedenle eşdeğer doğrusal analiz yönteminden elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan analiz yöntemine göre daha güvenli tarafta kalmaktadır. Bu da düşük periyotlarda eşdeğer doğrusal analizlerin yüzey tepkileri için tahminlerinin doğrusal olmayan analizlere göre daha büyük olduğu fakat artan periyotlarda ($T>1$ sn) eşdeğer doğrusal ile doğrusal olmayan analizler arasında yüzey davranışının çok yakın olduğunu göstermektedir.



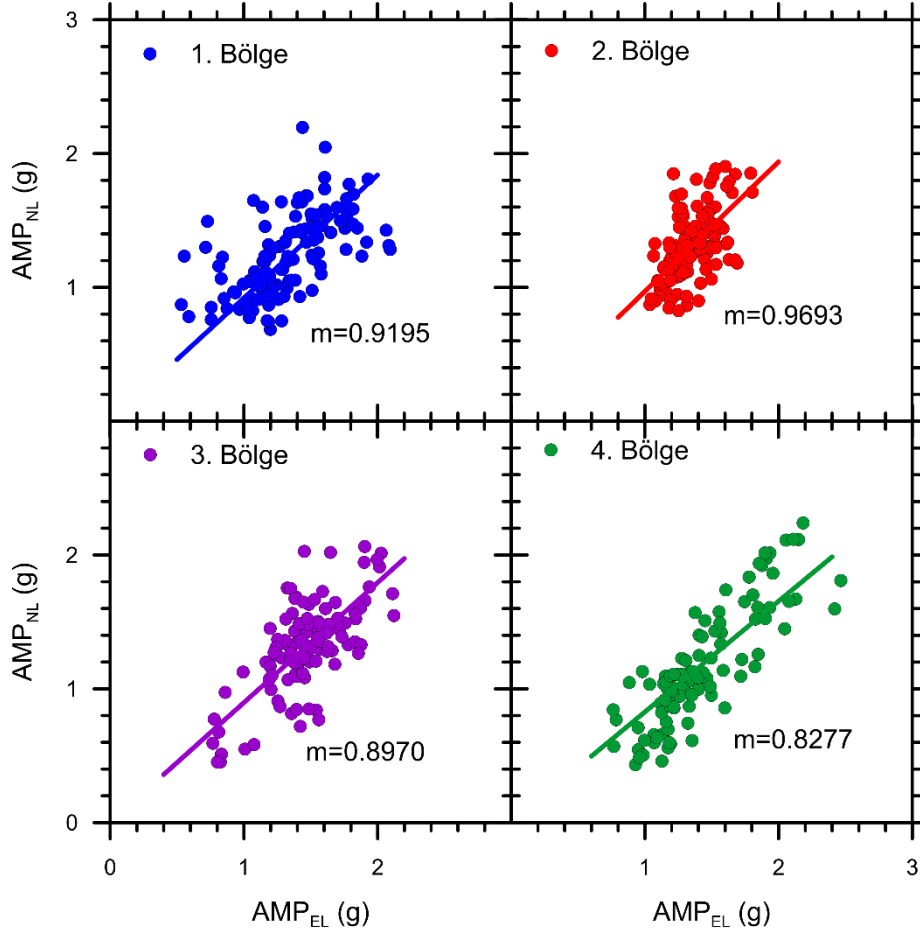
Şekil 6.52. T=1 saniyede PSA değerlerinin karşılaştırılması

Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilen büyütme (amplifikasyon) değerleri için de T=0.01, T=0.1 ve T=1 saniyeler için karşılaştırma grafikleri Şekil 7.4'te verilmiştir. T=0.01 saniyede oluşmuş büyütme değerleri 1. Bölgede 1-2.6 arasında, 2. Bölgede 1-2.2 arasında, 3. Bölgede 1.2-2.6 arasında ve 4. Bölgede 1.2-2.8 arasında değişmektedir. Burada da eşdeğer doğrusal analizlerden elde edilmiş büyütme değerlerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre güvenli tarafta kaldığı görülmektedir (Şekil 6.53).



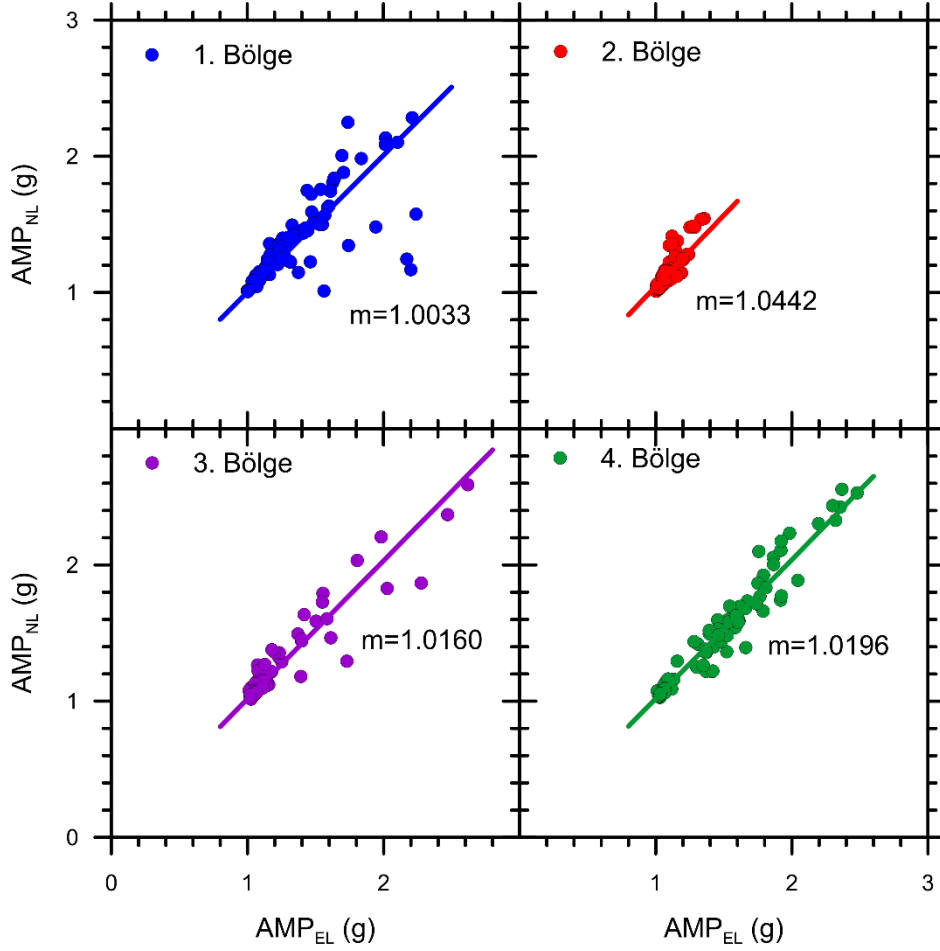
Şekil 6.53. $T=0.01$ saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması

$T=0.1$ saniyede oluşmuş büyütme değerleri 1. Bölgede 0.6-2.2 arasında, 2. Bölgede 1-1.8 arasında, 3. Bölgede 0.8-2.2 arasında ve 4. Bölgede 0.8-2.5 arasında değişmektedir. (Şekil 6.54).



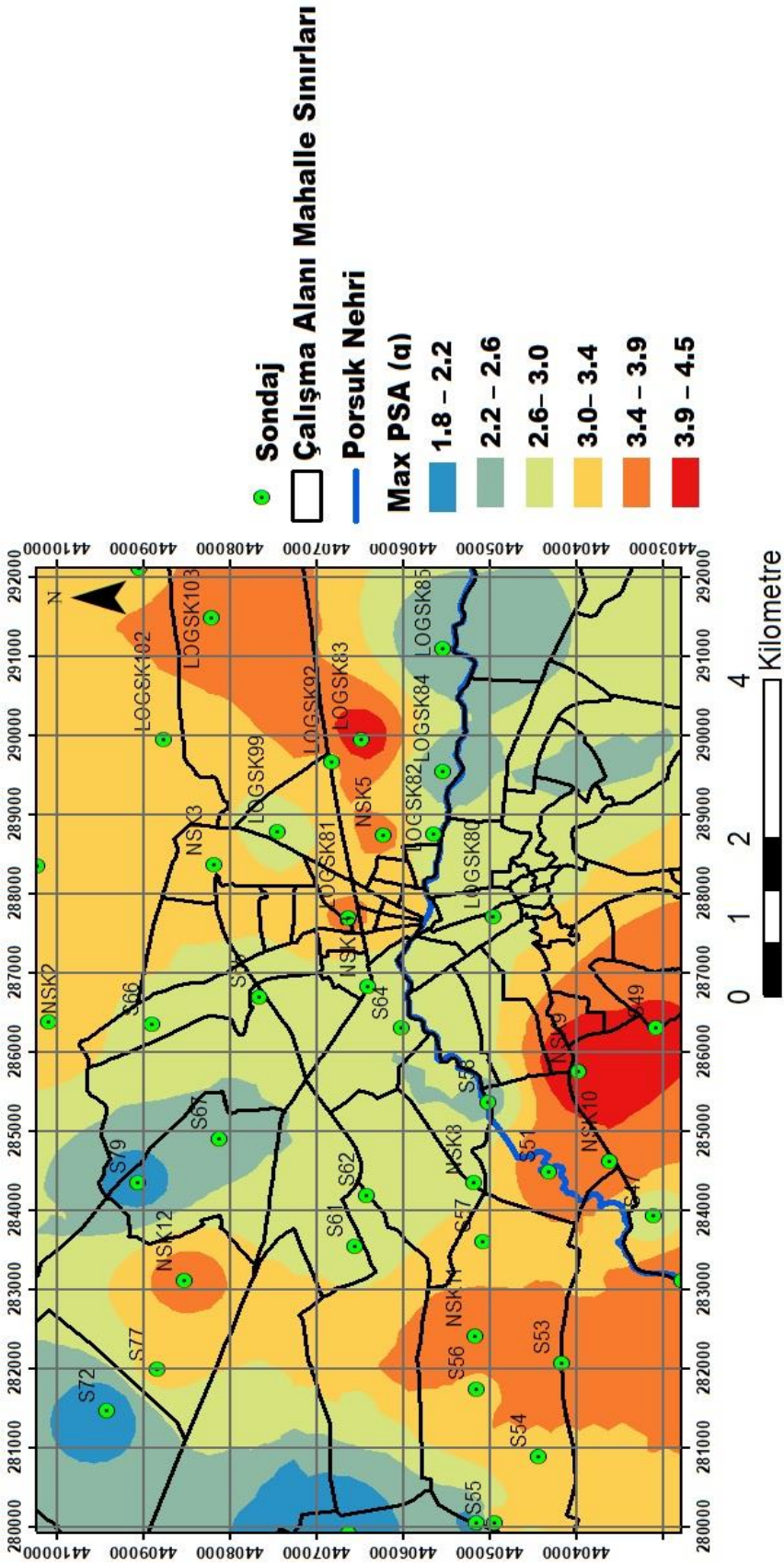
Şekil 6.54. T=0.1 saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması

T=1 saniyede oluşmuş büyütme değerleri 1. Bölgede min 1-2.3 arasında, 2. Bölgede min 1-1.4 arasında, 3. Bölgede min 1-2.6 arasında ve 4. Bölgede min 1.2-2.6 arasında değişmektedir (Şekil 6.55).



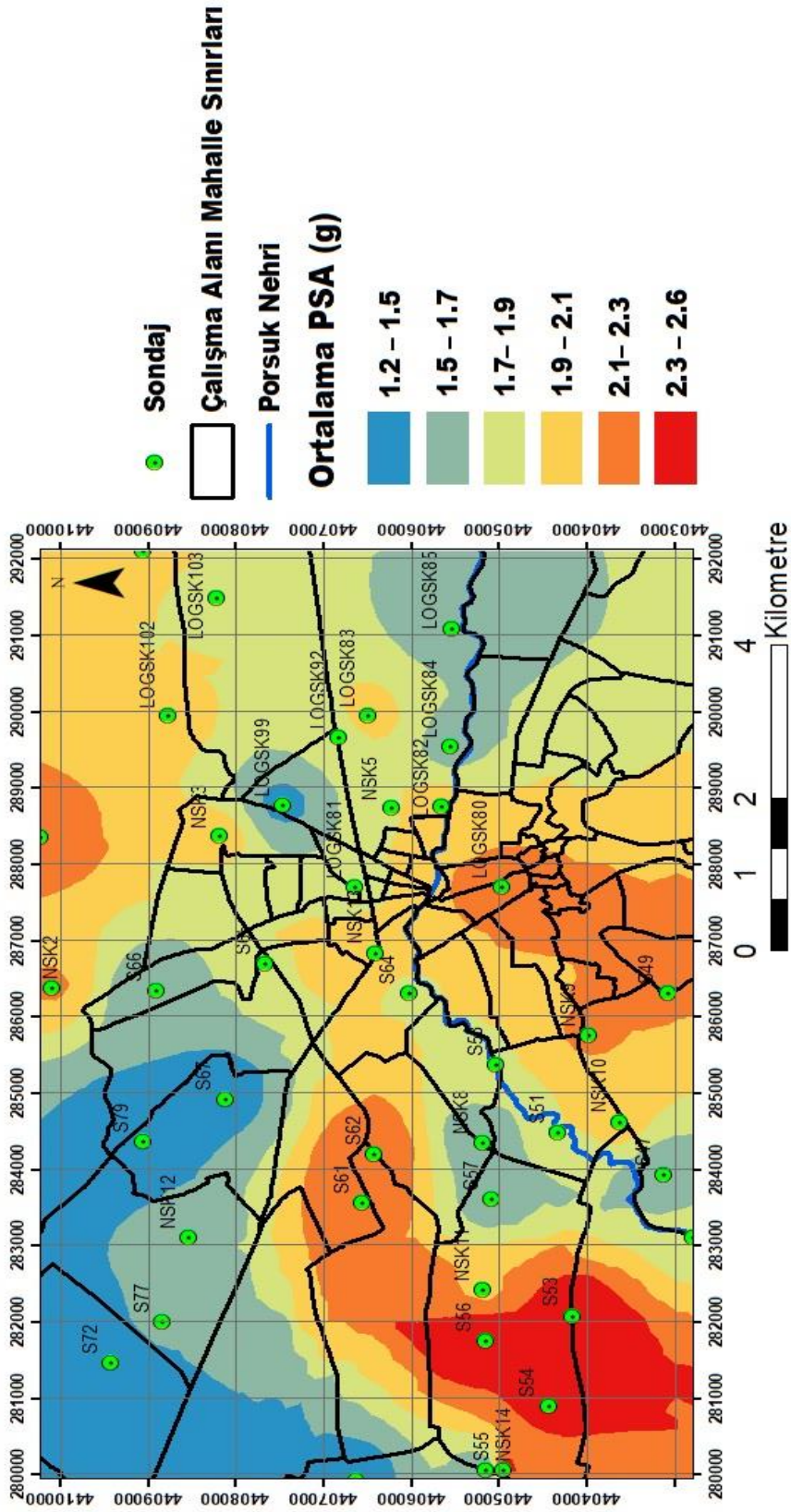
Şekil 6.55. T=1 saniyede büyütme (amp) değerlerinin karşılaştırılması

Analizler sonucunda elde edilen PSA(g) değerleri; çalışmada kullanılan 11 depreme ait maksimum değerleri kullanılarak CBS ortamında ArcGIS 10 yazılımı ve IDW enterpolasyon yöntemi ile haritalandırılmıştır. Oluşturulan haritada Maks PSA(g) değerlerinin 1.8g-4.5g arasında değiştiği görülmektedir. Şeker mahallesi sınırları içerisinde bulunan LOGSK83, LOGSK84, LOGSK85 ve NSK5 sondajlarından Maks PSA (g) değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. En yüksek PSA(g) değerleri NSK9, S49 Büyükdere ve Gültepe Mahalleleri ile LOGSK83 Şeker mahallesi temsil eden sondaj profillerinde oluşmuştur. Aşağısöğütönü mahallesinde yer alan S72 ile Şirintepe mahallesinde bulunan S79 sondajlarında daha düşük değerler elde edilmiştir (Şekil 6.56).



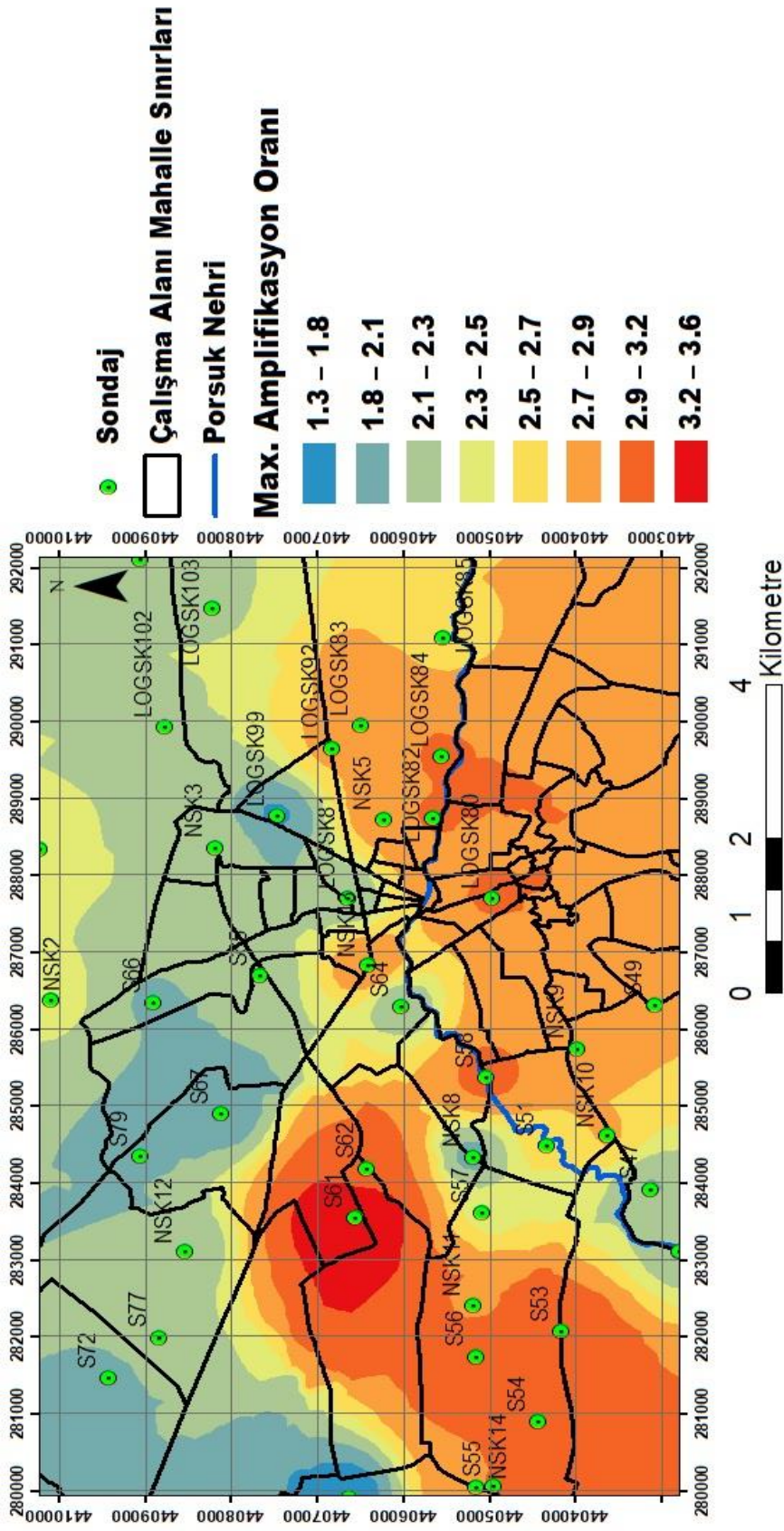
Şekil 6.56. Çalışma alanı Max PSA (g) haritası

TBDY (2018), spektral parametrelerin daha doğru belirlenebilmesi için 11 farklı depreme ait ivme kayıtlarından elde edilen sonuçların ortalamasının alınmasını önermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan 11 depremden elde edilen PSA(g) değerlerinin her bir sondaj için ortalaması alınarak "Ortalama PSA(g)" haritası CBS ortamında oluşturulmuştur. Haritaya göre PSA(g) değerlerinin 1.2g-2.6g arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler Aşağısöğütönü mahallesinde bulunan S72, Şirintepe mahallesinde bulunan S79 ve S67 ile Şarhöyük mahallesinin üst kısımlarında yer alan LOGSK99 sondajlarında oluşmuştur. En yüksek PSA(g) değerleri ise Sazova mahallesinde bulunan S53, S54 ve S56 sondajlarında 2.3 ile 2.6 arasında oluşmuştur. Bu değerlerin biraz altında PSA(g)'nin 2.1 g- 2.3g arasında değiştiği yerler; Sazova Mahallesinde NSK14 ve S55 sondajları, Çamlıca Mahallesinde S61 ve S62 sondajları, Arifiye Mahallesini temsil eden LOGSK80 ile Büyükdere Mahallesinde bulunan NSK9 ve Gültepe Mahallesinde yer alan S49 sondajlarında olduğu görülmektedir. Sazova ve Şeker mahallelerinde bulunan 5 sondajın farklı değerler görülmesi, aynı mahalle sınırlarında dahi farklılaşan zemin koşulları nedeniyle farklı PSA(g) değerlerinin olabileceğini göstermektedir (Şekil 6.57).



Şekil 6.57. Çalışma alanı Ortalama PSA (g) haritası

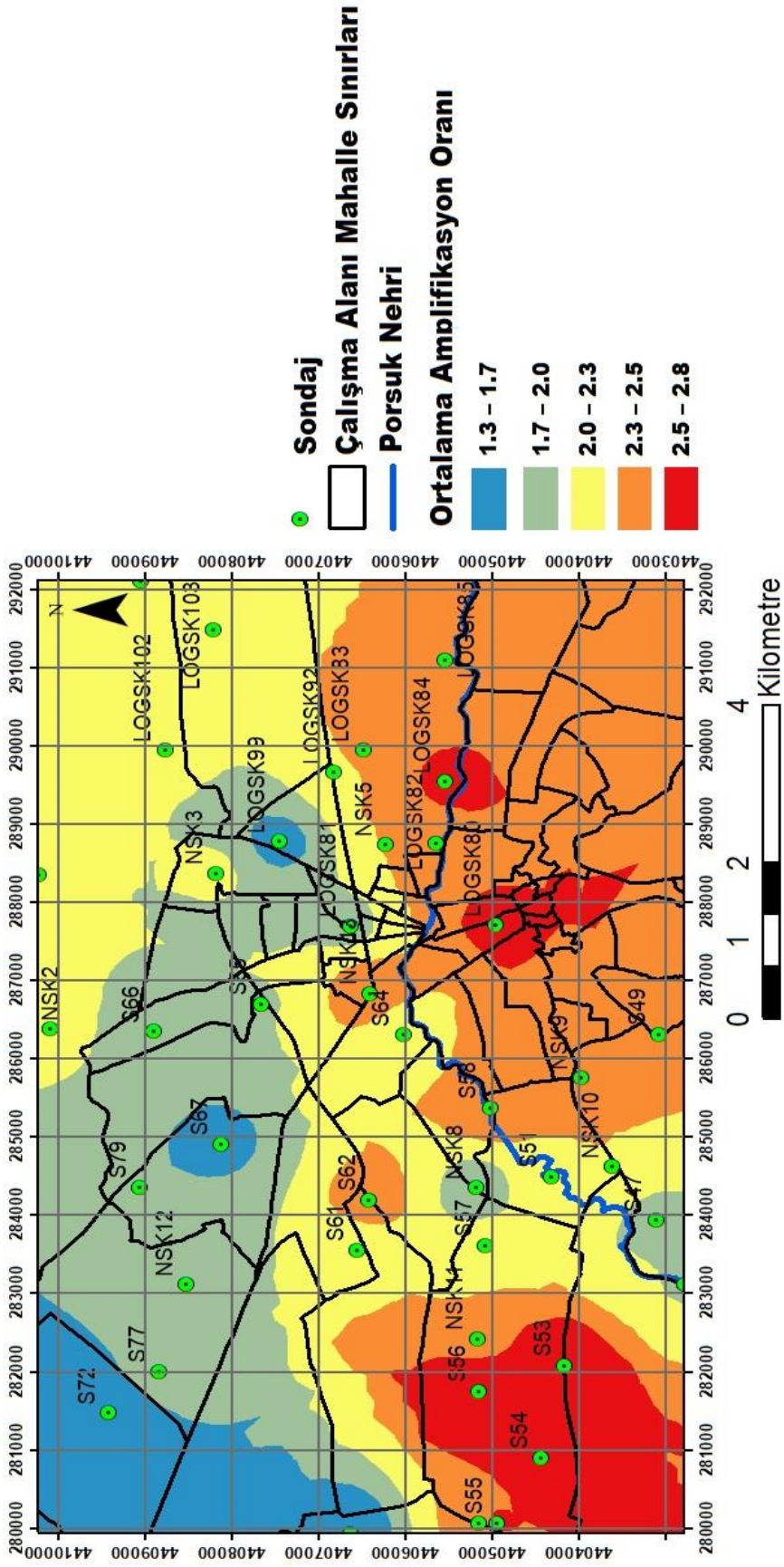
Analizler sonucunda belirlenen amplifikasyon (büyütme) değerleri de CBS ortamında ArcGIS 10 yazılımında IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak haritalanmıştır. Öncelikle çalışma alanındaki 42 sondaj profilinden elde edilen büyüme değerlerinden maksimum büyüme değerleri alınarak her bir sondaj profili için öz nitelik oluşturulmuş ve oluşturulan öz nitelikler konumsal olarak tanımlanarak çalışma alanı "Maksimum Amplifikasyon Oranı" haritası ortaya konmuştur. Bu haritaya göre en büyük büyüme değerlerinin Çamlıca mahallesinde bulunan S61 sondajında 3.6 olarak elde edilmiştir. Büyütme değerlerinin 2.9 ile 3.2 arasında olduğu yerler, Sazova Mahallesinde S53, S54, S55, S56, NSK11 ve NSK14, Çamlıca Mahallesi sınırında bulunan S62, Sümer mahallesinde S58, Arifiye Mahallesinde yer alan LOGSK80 ile Şeker Mahallesinin Porsuk Nehri sınırında bulunan LOGSK82 ve LOGSK84 sondajlarıdır. En düşük amplifikasyon oranları ise 1.3 ile 1.8 arasında değerlerin görüldüğü, Aşağısöğütönü mahallesinde S72, Şirintepe mahallesinde S79 ve S67, Sütlüce mahallesinde S66 ve Şarhöyük mahallesinde S66 sondajlarıdır (Şekil 6.58).



Şekil 6.58. Çalışma alanı Max Amplifikasyon Oranı haritası

Analizler kapsamında kullanılan depremlerden elde edilen ve amplifikasyon değerlerinin her bir sondaj için ortalamasının alındığı "Ortalama Amplifikasyon Haritası" Şekil 6.59'da verilmiştir. Bu haritaya göre çalışma alanı büyütme değerlerinin 1.3 ile 2.8 arasında değiştiği görülmektedir. En büyük büyütme değerleri Sazova mahallesinde S53, S54, S56, NSK14, Arifiye mahallesinde yer alan LOGSK80 ile Şeker mahallesinin Porsuk Nehri sınırında yer alan LOGSK84 sondajlarında oluşmuştur. En düşük büyütme oranları ise Aşağısöğütünü mahallesinde S72, Şirintepe mahallesinde S67 ve Şarhöyük mahallesinde S66 sondajlarında 1.3 ile 1.7 arasında oluşmuştur.





Şekil 6.59. Çalışma alanı Ortalama Amplifikasyon Oranı haritası

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analizleri sonucunda kuvvetli yer hareketindeki spektral parametrelerinin zemin yüzeyindeki değişimi belirlenmiş ve kullanılan her iki yönteme ait sonuçların bir karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- i. Çalışma kapsamında 42 sondaj profili ve bu sondajlar ile ilişkilendirilen arazide aynı noktalarda gerçekleştirilmiş sismik kırılma ve yansıma çalışmalarından elde edilen veriler ışığında TDY (2007) ve TBDY (2018)'e göre çalışma alanı zemin sınıfı haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara göre çalışma alanı zemininin TDY (2007)' e göre genel olarak Z3 ve Z4 zemin grubunda yer alırken, TBDY (2018)' e göre ZD, ZE ve ZF zemin grubunda yer aldığı görülmektedir.
- ii. Çalışmada TBDY (2018)'in önerdiği şekilde 11 farklı gerçek depreme ait ivme kaydı kullanılarak sahaya özgü eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir.
- iii. Analizlerde AFAD'ın Eskişehir için önerdiği PGA değerlerini göz önüne alarak 11 farklı depreme ait ivme kaydı 0.3g olarak ölçeklendirilerek analizlerde kullanılmıştır.
- iv. Günümüzde yapı tasarımında Eskişehir için aktif kullanılan AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasında inceleme alanı için mahalle bazlı PGA (g) değerleri 0.272-0.295 arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Ancak bu tez çalışması kapsamında yapılan eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda oluşturulan ivme-zaman grafiklerine göre bazı sondajlar sismik anakaya ivme kaydına göre büyük ivme değerleri gösterirken, bazı sondajların ise anakaya yakın davranışlar gösterdiği belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen ivme-zaman grafiklerine göre çalışma alanı PGA değerleri aralığının 0.31g-0.62g arasında değiştiği belirlenmiştir.

- v. Dinamik davranış analizlerinde sahaya özgü spektral parametrelerin ortaya konması ve yapıların bu parametrelere göre tasarımı amaçlanmaktadır. Analizler sonucunda çalışma alanını temsil eden 42 sondaj örneği için spektral parametreler belirlenmiş, her bir sondaja ait S_a (spektral ivme) – T (periyot) grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklere göre her iki analiz yöntemine göre pik spektral ivmelerin daha çok düşük periyotlarda gerçekleştiği; $T=1$ sn'den sonra ise yakın değerler gösterdiği göstermektedir. Bölge 1'de en yüksek spektral ivmelerin daha çok S53, S54, S55, S56, NSK11 sondajlarının yer aldığı Sazova Mahalleleri ile S61, S62 sondajlarının bulunduğu Çamlıca Mahallelerinde olduğu belirlenmiştir. En düşük spektral ivmeler ise S72 sondajının bulunduğu Aşağısöğütönü Mahallesi ile Batıkent Mahallesi'nin üst kotlarında yer alan S60 sondajında oluşmuştur. Bölge 2'de en yüksek spektral ivmeler LOGSK103 sondajının yer aldığı Fevziçakmak Mahallesinde yaklaşık 0.4 g ve NSK3 sondajının yer aldığı Zafer Mahallesinde 0.38 g olarak elde edilmiştir. En düşük spektral ivmenin Yeşiltepe Mahallesinde bulunan S79 sondajında 0.2 g olarak elde edilmiştir. Bölge 3'de en yüksek spektral ivmenin Akarbaşı Mahallesinde bulunan NSK9 sondajında 0.45 g olduğu, en düşük spektral ivmenin ise Yeniket Mahallesi civarında yer alan S47 sondajında 0.28 g olduğu belirlenmiştir. Bölge 4'te ise en yüksek spektral ivmenin Şeker Mahallesinde yer alan LOGSK83 sondajında 0.45 g olarak, en düşük spektral ivmenin ise Şarhöyük Mahallesinde bulunan LOGSK99 sondajında 0.26 g olarak elde edilmiştir.
- vi. Çalışma kapsamında eşdeğer doğrusal-doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre çizilen $S_a(g)$ - T (sn) grafiklerine bakıldığında, S60, S72, S58, S79, S64, LOGSK84 ve NSK13 gibi sondajlarda max spektral ivmeler geniş bir aralıkta oluşmakta ve bu nedenle tek bir hakim periyot varlığından ziyade geniş bir aralığı temsil eden hakim periyotlarlar görülmektedir. Yapı tasarımında dinamik kuvvetler altında, yapı doğal periyodu ile zemin hakim periyodunun çakışması durumunda rezonans etkisi oluşarak yapılarda büyük hasarlar oluşabilmektedir. Bu nedenle geniş aralığı temsil eden hakim periyot varlığında tek bir hakim periyota kıyasla çakışma olasılığının daha az olması, bu parametrelerin depreme karşı güvenli yapı tasarımı için önemini ortaya koymaktadır.

- vii. Çalışmada elastik tasarım deprem yükünün hesabında kullanılan pseudo tepki spektrumu olarak da ifade edilen PSA (tasarım tepki spektrumu) değerleri analizler sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen PSA değerlerinden çalışma alanı için öncelikle "Maksimum PSA(g)" haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritaya göre PSA(g) değerlerinin 1.8 g-4.5 g arasında değiştiği görülmektedir. En büyük PSA (g) değerlerinin de Şeker mahallesi ile Büyükdere mahallesinde olduğu görülmektedir. Çalışmada ayrıca her bir sondaj için PSA(g) değerlerinin 11 depremden elde edilen sonuçlarının ortalaması alınarak "Ortalama PSA (g)" haritası da oluşturulmuştur.
- viii. Çalışmada "Maksimum Amplifikasyon Oranı" haritası da oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritaya göre büyütme oranlarının 1.3 ile 3.6 arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca amplifikasyon oranlarının her bir sondaj için 11 depremin ortalaması alınarak "Ortalama Amplifikasyon Oranı" haritası da ortaya konmuştur. Bu haritaya göre zeminin ortalama büyütme değerleri 1.3 ile 2.8 arasında değişmektedir.
- ix. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarından elde edilen tüm veriler her bir sondaj için karşılaştırılmıştır. Eşdeğer doğrusal analiz yönteminden elde edilen sonuçların doğrusal olmayan analiz yönteminden elde edilen sonuçlara göre daha güvenli tarafta kaldığı gözlenmiştir. Çalışmada ZF zemin grubu olarak tanımlanan üç sondaj (LOGSK80, LOGSK82 ve LOGSK84) için TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan analizlerin yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Çalışma kapsamında bu üç sondaj için yapılan eşdeğer doğrusal analizler ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilen spektrum parametreleri karşılaştırıldığında eşdeğer doğrusal analizlerden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu görülmektedir. Bu üç sondajın zemin profilinde 10 m'den sonra çakıllı zemin grupları yer almaktadır. Ancak TBDY (2018)'e göre ZE zemin grubunda bulunan, yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu ve 30 m dinamik derinlik içinde çakıllı zemin sınıfı buldurmeyen LOGSK83 sondajında doğrusal olmayan analiz sonuçlarından eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre daha büyük amplifikasyon değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle ZE zemin grubunda olsa dahi, yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu ve 30 m derinlik içerisinde iri daneli zemin grubunun az olduğu ya da bulunmadığı zemin

profilleri için doğrusal olmayan analizlerin yapılması gerekmektedir.

- x. Çalışma alanı sınırları içerisinde bulunan Sazova, Çamlıca ve Şeker mahalleleri kayma dalgası hızları en düşük olan mahallelerdir. Ancak bunların içinden özellikle Sazova Mahallesi en düşük kayma dalgası hızı değerleri ölçülmüştür. Sazova mahallesinde bulunan NSK14 sondajında yapılan analizler sonucunda Erzincan depreminde frekansın değiştiği davranış göze çarpmaktadır. NSK14'ün zemin özellikleri incelendiğinde aynı mahallede yer alan diğer sondajlara göre daha yüksek plastisiteli ince daneli zemin sınıflarından oluştuğu görülmektedir. Burada zeminin kayma dalgası hızının düşük ve PI'nin yüksek olması nedeniyle, Erzincan depreminin karakteristik özelliklerinin de etkisiyle dinamik yükler altında zemin frekans özelliğini değiştirecek davranış göstermiştir.
- xi. Çalışma alanında Batıkent Mahallesi'nin üst kotlarında bulunan S60 sondajı ile Aşağısöğütünü Mahallesi'nde yer alan S72 sondajlarında eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden anakayaya yakın ivme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yine aynı sondajlarda en küçük PSA (g) ve büyütme değerleri elde edilmiştir. Bu sondajlar detaylı incelendiğinde S60 sondajında yeraltı suyu seviyesinin 10.5 m, S72 sondajında ise 13.40 m olduğu; SPT-N değerlerinin oldukça yüksek ve zemin özelliklerinin düşük plastisiteli kil-silt zeminlerinden iri daneli zeminlere geçiş yaptığı görülmektedir. Ayrıca her iki mahallede yapılan sismik çalışmalardan zeminin kayma dalgası hızı değerlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek kayma dalgası hızı, büyük SPT-N, düşük yeraltı suyu seviyesi ve düşük plastisiteli ince daneli zemin varlığı nedeniyle zemin, dinamik yükler altında anakayaya yakın ivme değerleri göstermiştir.
- xii. Çalışmada eşdeğer doğrusal-doğrusal olmayan analizler sonucunda oluşturulan Amplifikasyon-T (sn) grafiklerine göre; plastisitesi ve yeraltı suyu seviyesi yüksek, kayma dalgası düşük zemin profillerinin (yumuşak zemin) (örn: NSK14, S54, S54, S55, S56 vb...) daha sert-sıkı zemin profillerine (S60, S72 vb.) göre 0.5 sn üzerindeki periyotlarda daha yüksek amplifikasyon değerleri göstermektedir. Ayrıca bu periyotlarda zemin sertliği azaldıkça büyütme oranları artmakta, bu nedenle aynı bölgede bulunsada dahi tek tip davranış spektrumu kullanmak doğru olmamaktadır.

- xiii. Sazova Mahallesiinde (NSK11, NSK14, S53, S54, S55, S56, NSK14) ve Şeker Mahallesiinde (NSK5, LOGSK 82, LOGSK84, LOGSK85, LOGSK83) yer alan sondajlara yapılan analizler sonucunda zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak farklı spektral parametreler elde edilmiş ve amplifikasyonlarda aynı periyotlarda farklı davranış göstererek en yüksek amplifikasyon, farklı periyotlarda oluşmuştur. Bu sebeple yüzölçümü olarak büyük mahallelerde zemin özelliklerinin farklılık göstermesi nedeniyle, tek bir değerden ziyade daha çok noktada davranış analizleri yapılarak spektral parametreler belirlenmelidir.
- xiv. Tez çalışması kapsamında spektral ivme değerlerinin ulusal ve uluslararası yapı kodları kapsamında değerlendirilmesi amacıyla inceleme alanı içerisinde yer alan farklı yerel zemin sınıflarına göre kodların spektrum zarflarının ve eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilmiş spektral ivme değerlerinin yer aldığı grafikler çizilmiştir. Bu grafiklere göre özellikle ZC, ZD ve ZE zemin grupları için ülkemizde güncel kullanılan TBDY (2018)'nin EC8 ve IBC ASCE 7-05 ile iyi bir eşleşme gösterdiği görülmektedir. Ancak verilere daha iyi uyum sağlaması için TBDY (2018) spektrum zarfında S_{DS} (yatay elastik tasarım tepki spektrumu) değerlerini temsil eden düz kısmının biraz daha sağda (0.2 sn ile 1.0 sn arasındaki periyotlarda) ve daha yukarıda (daha yüksek spektral ivme değerleri) olması gerekmektedir. Uluslararası yapı kodları EC8 ve IBC ASCE 7-05'nin verilere göre düz kısımları çok düşük olmasına rağmen, özellikle EC8'in köşe frekansları TBDY (2018) ve IBC ASCE 7-05' ye göre verileri daha iyi temsil eden bir performans göstermiştir. EC8, 0.2 sn ve üzerinde diğer yapı kodlarına kıyasla verilerle mükemmel şekilde eşleşmektedir.
- xv. Bu tez çalışmasında TBDY (2018)'de kullanımı istenen eşdeğer doğrusal-doğrusal olmayan analizler sonucunda belirlenen spektral parametreler ve amplifikasyonlar, hem grafiksel veri hem de 1000 m × 1000 m gridli haritalanmış haliyle kullanıcıya sunulmaktadır. Bu nedenle bu çalışma Eskişehir şehir merkezinin büyük kısmı için TBDY (2018)'de yapı-zemin etkileşimini davranış analizleriyle ortaya koyma ve bu verileri kullanarak güvenli yapıların tasarımı çalışmalarına katkı sağlamaktadır.

- xvi. Ayrıca bu çalışmada kullanılan Deepsoil yazılımının ücretsiz kullanıcıya sunulması, hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizleri yapabilmesi nedeniyle, ülkemizde zemin davranış analizleri konularında çalışacak araştırmacılara kullanımında örnek teşkil etmektedir.
- xvii. Zeminin jeolojik yapısının çok değişken olduğu göz önüne alınarak, çalışma alanı mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında, kullanılan deprem verisi artırılıp, daha fazla sondaj ve sismik veri ile desteklenerek daha küçük ölçekli davranış analizleri (örn 500 ×500 m) ile güvenli yapı tasarım çalışmalarına Eskişehir kent merkezi için öncülük edebilir.
- xviii. Günümüzde sentetik deprem kayıtları kullanılarak zemin davranış analizlerinin yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmanın devamında sentetik deprem kayıtları ile analizler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adampira M., Alielahi H., Panji M., Koohsari H., 2014, Comparison of equivalent linear and nonlinear methods in seismic analysis of liquefiable site response due to near-fault incident waves: a case study. *Arab J Geosci*;8(5):3103–18
- Afacan, K. B., 2014, "Evaluation of Nonlinear Site Response of Soft Clay Using Centrifuge Models", Doktora Tezi, University of California, Los Angeles, 147p.
- Afacan, K. B., Yniesta, S., Shafiee, A., Stewart, J. P., & Brandenburg, S. J., 2019, Total Stress Analysis of Soft Clay Ground Response in Centrifuge Models. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(10), 04019061. doi:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002115
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2016, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağı.
- Akdoğan, P., 2019, Dynamic Soil Amplification In Saturated Soil Profiles Using Effective Stress Based Nonlinear Methods, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Akdeniz, E., 2012, Eskişehir Zemini İçin Kayma Dalgası Hizi (Vs) İle Standart Penetrasyon (SPT) Sayısı Arasındaki İlişkinin Modellenmesi, Yüksek lisans, Anadolu Üniversitesi.
- Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Ecevitoğlu, B., 2011a, Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli, Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği. 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11). Elazığ, Turkey.
- Akdeniz, E., Mutlu, S., Pekkan, E., Tün, M., Avdan, U., Güney, Y., Tuncan, A., 2011b, Determination of 3D Modelling Method of Soil Classes. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM.
- Akın, M., 2009, Seismic Microzonation of Erbaa (Tokat-Turkey) Located Along Eastern Segment of The North Anatolian Fault Zone (NAFZ), Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, 416s.
- Akın, M. K., Kramer, S. L., Topal, T., 2016, Dynamic soil characterization and site response estimation for Erbaa, Tokat (Turkey). *Natural Hazards*, 82(3), 1833–1868. doi:10.1007/s11069-016-2274-4
- Aksu, B., 2014, Erzurum Şehir Merkezinde Kuzey Güney Doğrultulu Bir Hat Boyunca Yer Alan Yapı Stoğunun, Zemin Ve Yapı Periyodu Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Alim, C., 2006, Arazi Zemin Dinamik Davranışının Bir ve İki Boyutlu Analizlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altunel, E., Barka, A., 1998, Eskişehir Fay Zonu' nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi, TJB, c: 41, no: 2, s. 41-52.
- Ansal, A., Tonuk, G., Demircioglu, M., Bayraklı, Y., Sesetyan, K., Erdik, M., 2006, Ground motion parameters for vulnerability assessment. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Paper Number: 1790.
- Arduino, P., Kramer, S.L., 2009, Site response. In: CEE 526 Geotechnical Earthquake Engineering lecture notes, University of Washington, Seattle, WA-USA.
- Aslan, Ö., 2015, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Yapısal Hasarları Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Assimaki, D., Kausel, E., Whittle, A. J., 2000, Model for dynamic shear modulus and damping for granular soils, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 126(10), 859-869.
- Avdan, U., Tün, M., Pekkan, E., Altan, M., 2006, Analysis of Urbanization Change According to NEHRP Soil Classification Map.
- Bailey E. B., Mc Callien W. J., 1953, Serpantin lavas, the Ankara melange and the Anatolian thrust: Trans. Roy. Soc. Edin. LXII, II, 403 - 442.
- Bard, P.-Y., 1994, Effects of surface geology on ground motion, recent results and remaining issues. 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Balkema, Rotterdam, 305-323.
- Bard, P.-Y., 1999, Strong motion and site effects: General Report. 2nd International Conference on Geotechnical Engineering, Lisbon, 21-25 June 1999.
- Bardet, J., P., Ichii, K., And Lin, C., H., 2000, Eera, A Computer Program for Equivalent-Linear Earthquake Site Response Analyses of Layers Soil Deposits, University of Southern Colifornia Department of Civil Engineering, August, Page:1 –40.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1995, The İsparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- Beyhan, G., Keskinsezer, A., Beyhan, S., 2017, A comparative study on Soil Properties and Applications Review with EERA and NERA in İstanbul-MARMARAY Project between Kazlıçeşme to Sirkeci, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 5 No. 1 (2017) doi: 10.21533/pen.v5i1.78.
- Bolisetti, C., Whittaker, A. S., Mason, H. B., Almufti, I., 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.
- Brandes, H.G., 2003, Geotechnical and foundation aspects. In: Chen, W-F., Scawthorn, C., (eds.), *Earthquake Engineering Handbook*, CRC Press, Chapter 7, 61 pp.
- Carlton, B., Tokimatsu, K., 2016, Comparison of equivalent linear and nonlinear site response analysis results and model to estimate maximum shear strain. *Earthquake Engineering Research Institute*, 32 (3) 1867-1887.
- Cassaró, M. A., E. M. Romero (editors), 1987, *The Mexico City Earthquake-1985*, ASCE, New York.
- Civelekler, E., Pekkan, E., Güney, Y., 2020, *The Application of GIS to Determine Geotechnical Soil Model: Eskisehir-Tepebaşı Area (Değerlendirmede)*
- Çokar, T., 2012 *Gyte Çayırova Kampüsü Zemininin Eşdeğer Lineer Analiz Yöntemi Kullanılarak Davranış Analizlerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Darendeli, M.B., 2001, Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves. Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin, Austin, Tex.
- Dobry, R., Vucetic, M., 1987, Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits. *Proceedings, International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils*, Mexico City, Published by Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, A.C., 2, 49-85.
- Dönmezçelik, K., 2015, *Erzincan İlinde İmara Açık Alanda Zemin Büyütme Analizleri Hakkında Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Erdil, E. F., 2013, *Yapı Zemin Etkileşiminin Antalya İli ölçeğinde Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Edinçliler, A., Çalikoğlu, M., 2018, Nonlinear Site Response Analysis for the Izmir Region: A Case Study. Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture, 2 (2), 51-58. Retrieved from. <http://dergipark.gov.tr/ejcar/issue/39134/432410>
- Edinçliler, A., Sezgin Tuncay, G., 2018, Nonlinear and Equivalent Linear Site Response Analysis for the Bodrum Region. Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture, 2(2), 59-68. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejcar/issue/39134/432262>
- Elnashai, A., Sarno L.D., 2008, Fundamentals of Earthquake Engineering. John_Wiley & Sons Inc.
- Erdik, M., Demircioglu, M., Sesetyan, K., Durukal, E., 2005, Assessment of earthquake hazard for Bakirkoy, Gemlik, Bandırma, Tekirdag and Korfez. WB MEER Project-A3 Component, Microzonation and Hazard Vulnerability Studies for Disaster Mitigation in Pilot Municipalities, Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Engineering Research Institute.
- Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dirik, M., Çuhadar, G., 1976, Eskişehir Ve İnönü Ovaları Hidrojeoloji Haritası. T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Jeoteknik Hizmetler Ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı.
- Eskişar, T., 2008, İzmir Körfezi Kuzey Kıyılarının Zemin Özelliklerinin Ve Geoteknik Sorunlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Küçükayman, A., 1984-1985, Eskişehir civarının jeolojisi ve su kaynakları, MTA Dergisi, 103/104, s. 40-54, Ankara.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H.J., 1996, Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9973, 87 s., Ankara.
- Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., Akdeniz, E. ve ... 2013; Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması. Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Proje No:080240.
- Hanumantharao, C., Ramana, G.V., 2008, Dynamic soil properties for microzonation of Delhi, India. J. Earth Syst. Sci., 117 (2): 719-730.
- Hashash, Y. M. A., Park, D., 2001, Non-linear one-dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi embayment, Engineering Geology 62 (2001) 185-206.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hashash, Y. M. A., Phillips, C., Groholski, D. R., 2010, Recent Advances in Non-Linear Site Response Analysis, 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, May 24-29, San Diego, Paper no. OSP 4.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., Park, D., 2016, DEEPSOIL 6.1, User Manual, Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hashash, Y. M., Musgrove, M. I., Harmon, J. A., Okan, I., Groholski, D. R., Philips, C. A., Park, D., 2017, DEEPSOIL 7.0, User Manual. Urbana-Champaing.
- Haşal M. E., 2009, Topoğrafik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hudson, M., Idriss, I. M., Beikae, M., 2003). QUAD4M: A computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base. rev. 2003, Center for Geotechnical Modeling Dept. of Civil and Environmental Engineering University of California Davis.
- Hosseini Mir Mohammad, S. M.; Asadolahi Pajouh, M., Hosseini, F. Mir Mohammad Hosseini, F., 2010, The Limitations of Equivalent Linear Site Response Analysis Considering Soil Nonlinearity Properties, International Conf erences on Recent Advances in Geotechnical Ear thquake Engineering and Soil Dynamics. 14.
- Ishihara, K., 1996, Soil Behavior in Earthquake Geotechnics, Clarendon Press, Oxford.
- İnce, G. Ç., 2005, Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahraman, S., 2010, Sivrihisahar-Kayakent (Eskişehir) Arasındaki Bölgenin Neojen-Kuvaterner Tektoniği (KB-Orta Anadolu, Türkiye), Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kale, P., 2008, Yerel Arazi Etkilerinin Bir ve İki Boyutlu Analizlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karasu, M. E., 2009, Bakırköy İlçesinin Mikrobölgelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kawase, H., 2003, Site effects on strong ground motions. In: Lee et al. (Editors), International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Vol. 81B, Chapter 61, Academic Press, 1013-1030.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ketin, İ., 1948, Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. Geol. Rund. 36:77–83.
- Khanbabazadeh, H., 2014, Anakaya Eğiminin Zemin Büyütmesine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, H., 2017, Geoteknik Deprem Mühendisliği Notları, <http://imoistanbul.org/imoarsiv/geoteknik-kurs-notlari-2017/2-3%20aralik/havvanur-kilic-2.pdf>
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M.G., Arslan, M H., 2018 Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre Karşılaştırılması, Selçuk-Teknik Dergisi Cilt 17, Sayı:2-2018, ISSN 1302-6178.
- Kudo, K., 1995, Prsticsl Estimators of Site Response. State-of-art. Report. 5th. Int. Conf. Seis. Zonation, Nice, France, AFPS/EERI, Quest Editions, 3, 1878-1907.
- Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earhquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Kramer, S. L., 2003, Geoteknik Deprem Muhendisliđi (Doc. Dr. Kamil Kayabalı, Çev.). Ankara, Gazi Kitabevi, 708 s.
- Luna, R., Jadi, H., 2000, Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods. Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure-Geophysics 2000, Federal Highway Administration, Saint Louis, MO, Paper No. 3-1.
- Matasovic, N., Vucetic, M., 1993, Cyclic Characterization of Liquefiable Sands, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 119(11), 1805-1822.
- Matsuoka, M., Wakamatsu, K., Fujimoto, K., Midorikawa, S., 2006, Average shearwave velocity mapping using Japan engineering geomorphologic classification map. Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE, 23(1), 57-68.
- McKenzie D. P., 1978, Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and Surrounding Regions. Geophys. J. Astr. Soc, 55, 217-254.
- Mert, M., 2018, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerle Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121 s., Eskişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mirshekari, M., Ghayoomi, M., 2015, Simplified Equivalent Linear and Nonlinear Site Response Analysis of Partially Saturated Soil Layers. IFCEE 2015.doi:10.1061/9780784479087.197.
- Mulas, J., 2002, Microzonación de la respuesta sísmica del terreno por factores locales. In: Ayala and Olcina (Editors), Riesgos Naturales, Ariel Ciencia, Barcelona, 345-36.
- Naeim, F., The Seismic Design Handbook. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2001.
- Ocakoğlu, F., Altunel, E., Yalçın, Ç., 2005, Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimentolojik gelişimi. Final Raporu. Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu: Osmangazi Üniversitesi.
- Ohsaki, Y., 1976, Spectral Analysis of Earthquake Wave (Janponca) (Türkçe Çeviren Muzaffer İpek) s:209-268.
- Okay, A.I., 1984, Kuzeybatı Anadolu'da Yer Alan Metamorfik Kuşaklar. Ketin Sempozyumu, 20-21 Şubat 1984, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını: 83-92
- Orhan, A., 2005, Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi'nin Uygulanması. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi.
- Ölmez, E. Ve Yücel, B. (1985). Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları. Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ölmez, E., Demirel, Z., Uzel, Ö. F., 1986, Eskişehir Es-1 Ve Es-2 Sıcaksu Sondajları Kuyu Bitirme Raporu. Enerji Hammadde Etüd Ve Arama Dairesi: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Özcan N.T., Ulusay, R., Işık, N.S., 2018, Assessment of dynamic site response of the peat deposits at an industrial site (Turkey) and comparison with some seismic design codes, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, DOI:10.1007/s10064-018-1285-7.
- Özmen, H. B., 2018, Eskişehir İli Sismik Tehlike Analizi'', Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 98 s., Eskişehir.
- PEER, P. E., 2006, PEER ground motion database. Berkeley: <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.
- Phillips, C., Hashash, Y. M., 2009, Damping formulation for nonlinear 1D site response analyses, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29(7), 1143–1158.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pitilakis, K. D., Anastasiadis, A. J., 1998, Soil and site characterization for seismic response analysis. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, Balkema, 65-90.
- Pitilakis, K., 2004 a, Recent advances in earthquake geotechnical engineering and microzonation, Ansal, A., eds., Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 139-193.
- Pitilakis, K. D., 2004 b, Site Effects. Chapter 5. In: A. Ansal, (Editor), Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Kluwer Academic Publishers, 139-197.
- Pruiksma, J. P., 2016, Nonlinear and equivalent linear site response analysis for the groningen area. TNO Report, TNO 2016 R10460, 1-30.
- Schnabel, P. B., Lysmer, J., Seed H. B., 1972, SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1970, Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis, Report No. EERC 70-10, University of California, Berkeley, USA, 1970.
- Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M., Tokimatsu, K., 1984, Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(11), 1016-1032.
- Seed, H. B., Wong, R.T., Idriss I. M., Tokimatsu, K., 1986, Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. J Geotech Eng 112:1016–1032. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1986\)112:11\(1016\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:11(1016))
- Seed, H. B., Idriss, 1991 (Mean Limit), 2017, DEEPSOIL 7.0, User Manual. Urbana-Champaign.
- Sarıız, K. Oruç, N., 1989, Eskişehir Yöresi'nin Jeolojisi ve Jeotermal Özellikleri. Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C.V, S.2, 59-81.
- Selçuk, M. E., Kılıç, H., Özyayın, K., 2007, Comparison of linear and non-linear site response analysis of deep soils. Sixth National Conference on Earthquake Engineering. Istanbul, 187-198.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

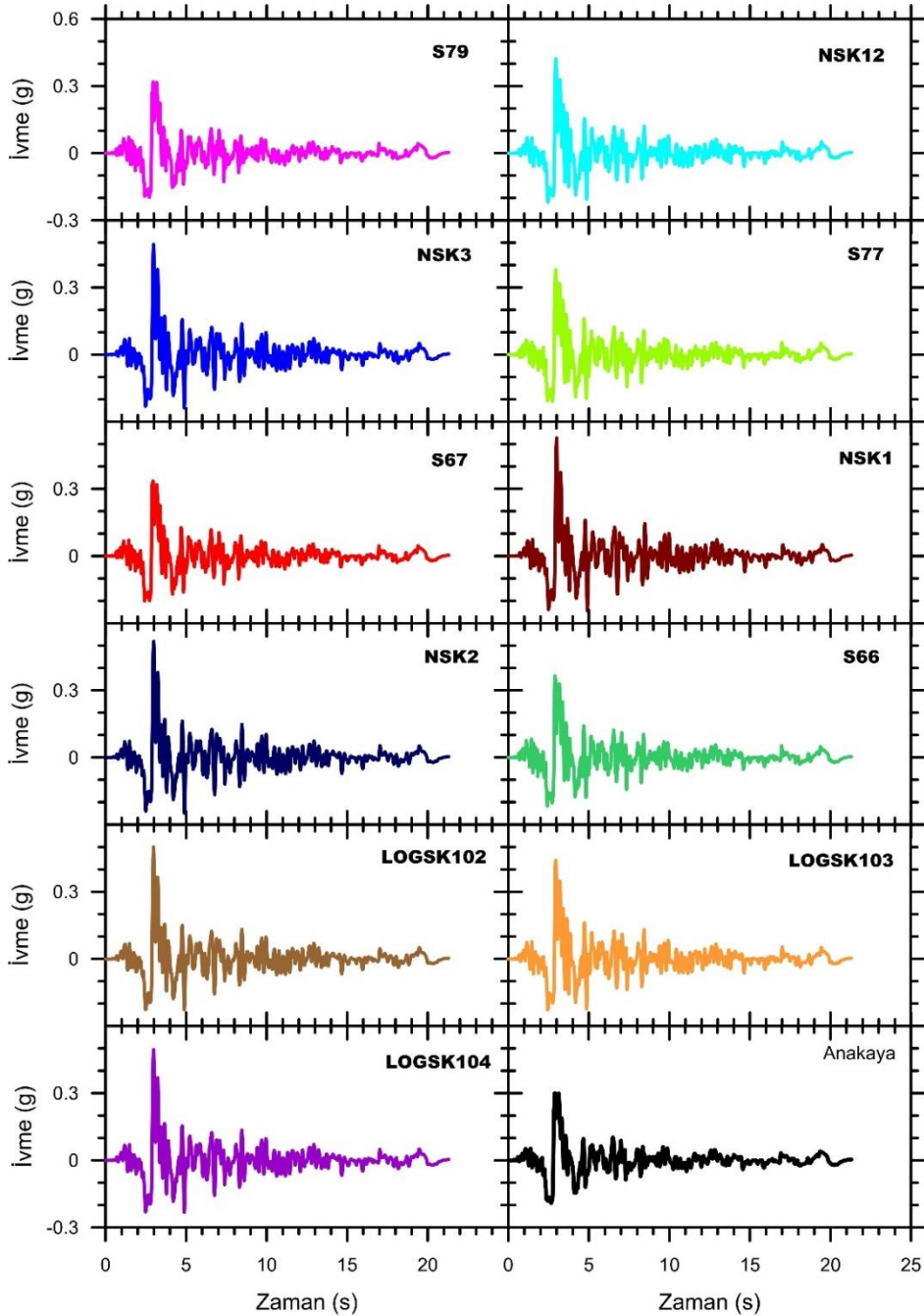
- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G. B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S., Aldas, G. G. U., 2015, Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies, *Turk. J. Earth Sci.*, 24, 1–20, doi:10.3906/yer-1406-5.
- Sönmezer, Y. B., 2016, Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi Ve Sismik Mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Sönmezer, Y.B., Bas, S., Akbas, S. O. And Isik, N.S., 2018, Linear and nonlinear site response analyses to determine dynamic soil properties of Kırıkkale, *Geomechanics and Engineering*, *Geomechanics and Engineering*, Vol. 16, No. 4 (2018) 435-448. <https://doi.org/10.12989/gae.2018.16.4.435>
- Sugito, M., Goda, H., Masuda, T., 1994, Frequency dependent equi-linearized technique for seismic response analysis of multi-layered ground, *Doboku Gakkai Rombun Hokokushu/Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, 493(3-2), 49-58.
- Sun, J.I., Golesorkhi, R., Seed, H.B., 1988, Dynamic Moduli and Damping Ratios for Cohesive Soils. Report No. UCB/EERC-88/15. University of Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, California, USA.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Boray, A., 1987, Active faults and seismicity in Turkey. MTA Report No: 8174. Ankara, Turkey: MTA.
- Şengör, A. M. C., 1979, The North Anatolian Transform Fault: its age, Offset and Tectonic Significance. *J. Geol. Soc. Lond.* 136: 269–282.
- Şengör A. M. C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics* 75, 181–241.
- Şengör A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle KT, Christie-Blick N, editors. *StrikeSlip Faulting and Basin Formation*. Tulsa, OK, USA: SEPM, pp. 227–264.
- Tokay, F., Altunel, E., 2005, Neotectonic Activity of Eskişehir Fault Zone around İnönü-Dodurga. *Journal of MTA* 130: 1-15.
- Tohumcu P., 2016, Ders 5 Yer Tepki Analizleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, <http://makgunjeofizik.com/lecture/Temel%20Kaynak.%20Yer%20Tepki%20Analizleri%20tohumcu.pdf>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

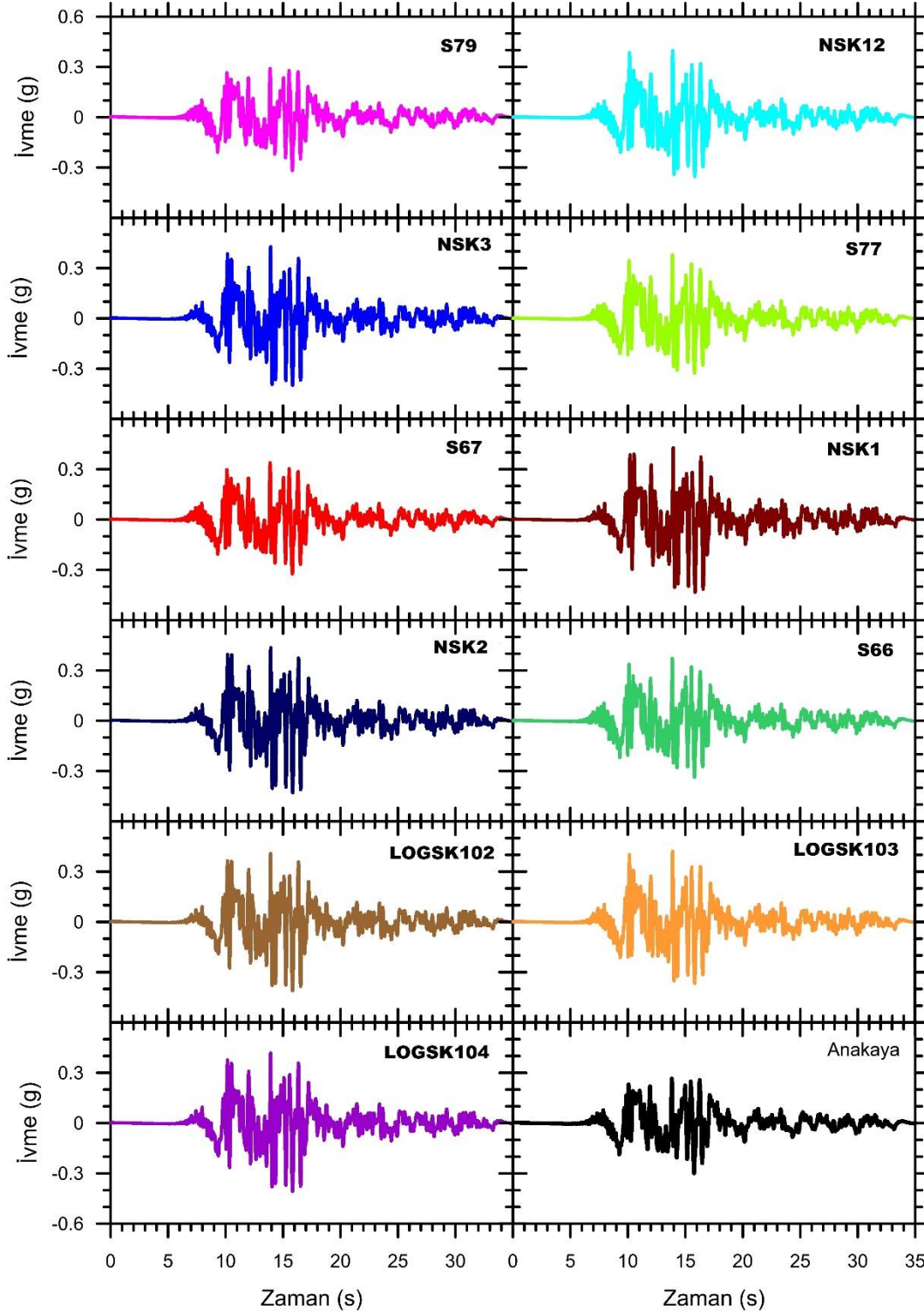
- Tosun, H., Orhan, A., 2007, Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zemininin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20 (2), 43-64. <https://dergipark.org.tr/pub/ogum>
- Tönük, G., 2009, Saha Davranış Analizlerine Etki Eden Faktörler, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği, İstanbul.
- Tün, M., 2013, Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi Ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üsküloğlu, Ö., 2010, 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük Depreminin (Mw=7.4) Yalova'da Oluşturduğu İvme Değerlerinin Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1988, Degradation of marine clays under cyclic loading. J Geotech Eng 114:133–149. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1988\)114:2\(133\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1988)114:2(133))
- Vucetic, M., Dobry, R., 1989, Degradation of marine clays under cyclic loading, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Cilt 114, No 2, 133-149. 1989.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1991, Effect of soil plasticity on cyclic response. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117 (1): 89-107, 1991.
- Watson, D. F., Philip, G.M., 1985, A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation., Geoprocessing, 2.
- Yağcı, B., 2005, Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Yıldırım, A., Gürsoy, T., 1985, Eskişehir İl Merkezi Ve Yakın Çevresi Detay Jeotermal Gravite Etüdü. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Yılmaz G., Özsoy E. A., 2002, Eskişehir'in Jeolojisi, Geotekniği ve 1999 Depreminin Mevcut Yapılar Üzerinde Etkisi, İmo Kütüphan, e kütüphane. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11631.pdf>
- Zhang, J., Andrus, R.D., Juang, H., 2005, Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships. Journal of Geotechnical Engineering, 131 (4) pp. 453-464

EK AÇIKLAMALAR

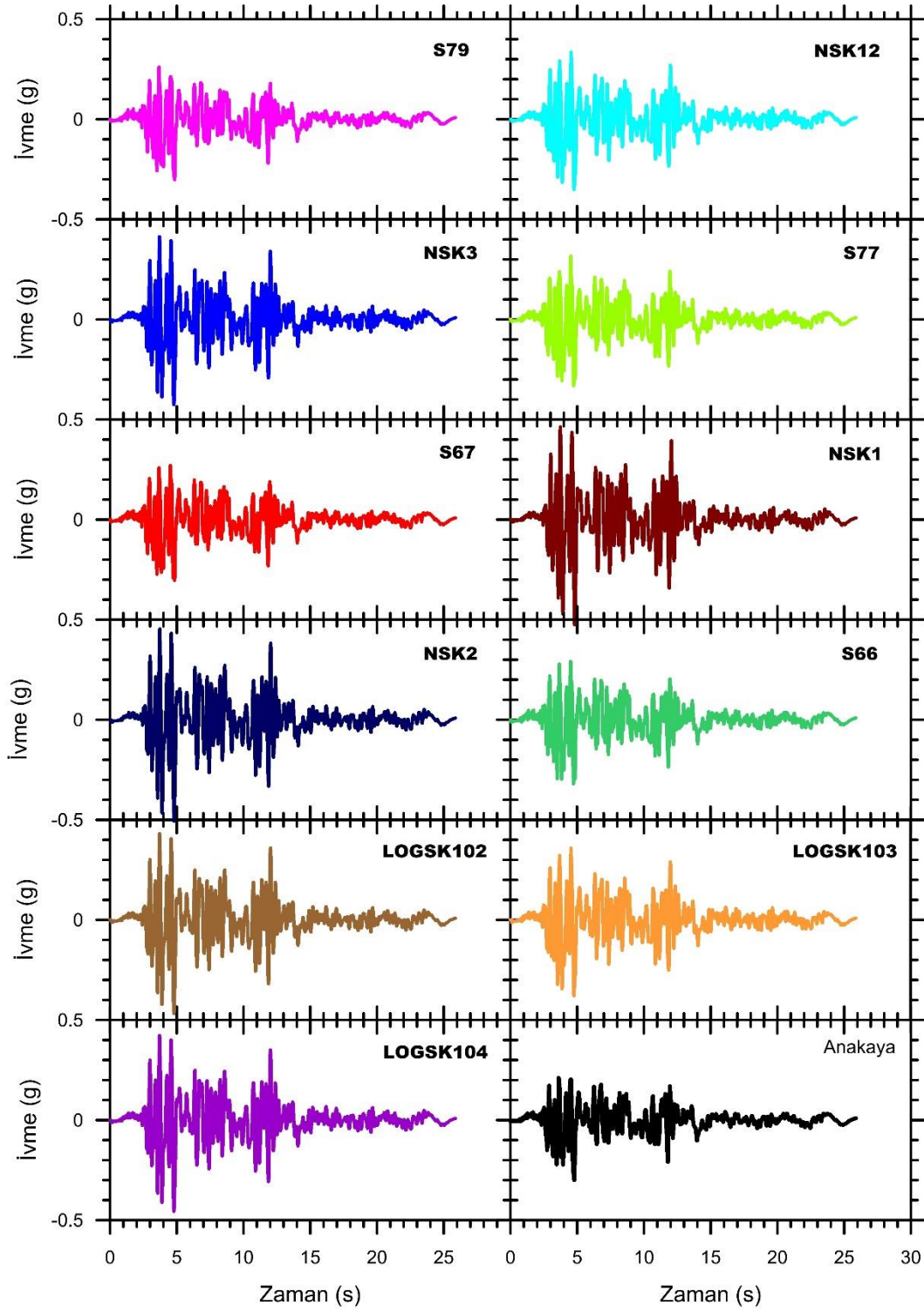
Ek Açıklama-A:Bölge 2 11 farklı deprem verilerine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemleri sonuçları



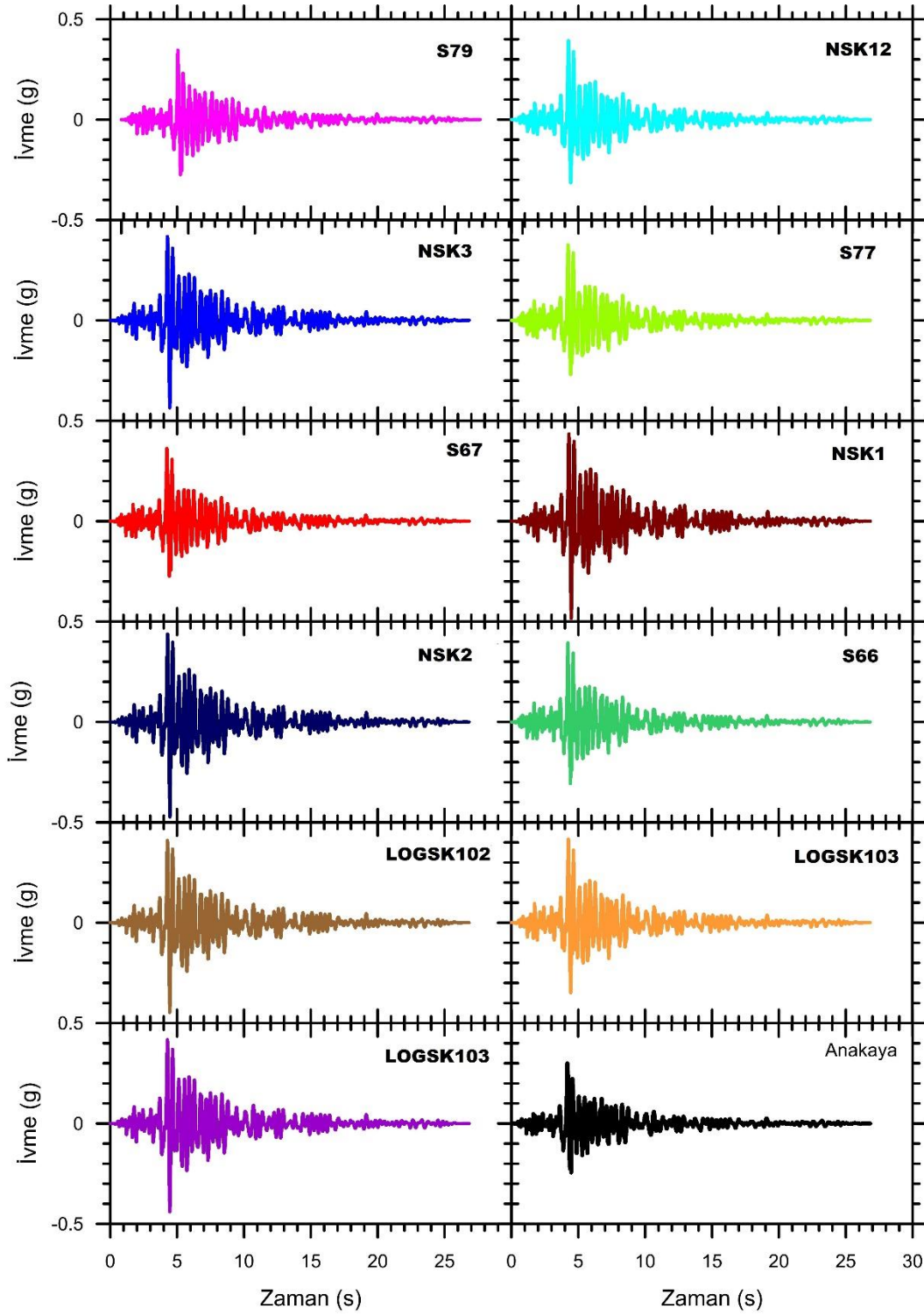
A1. Bölge 2 için Erzincan 1992 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



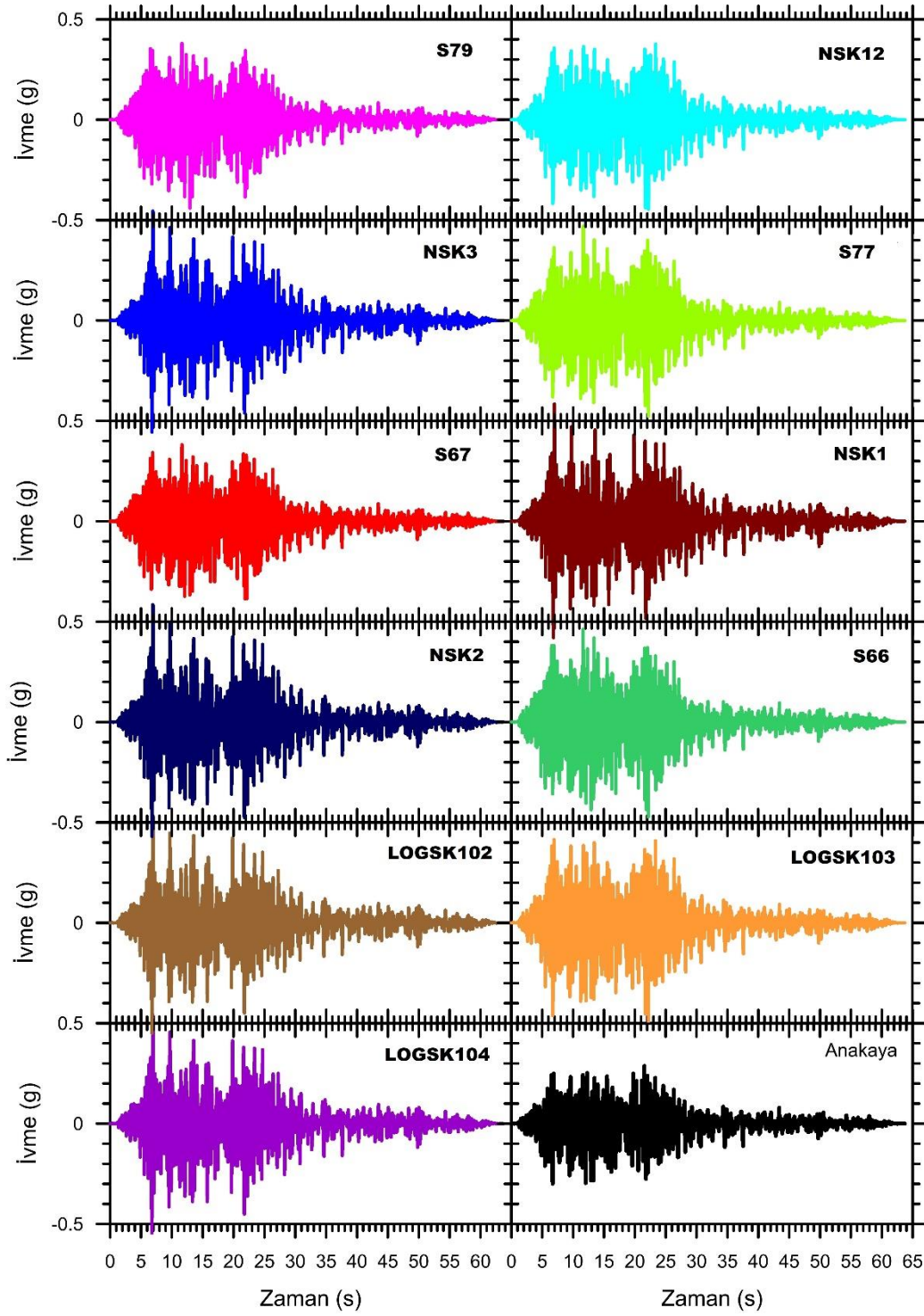
A2. Bölge 2 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



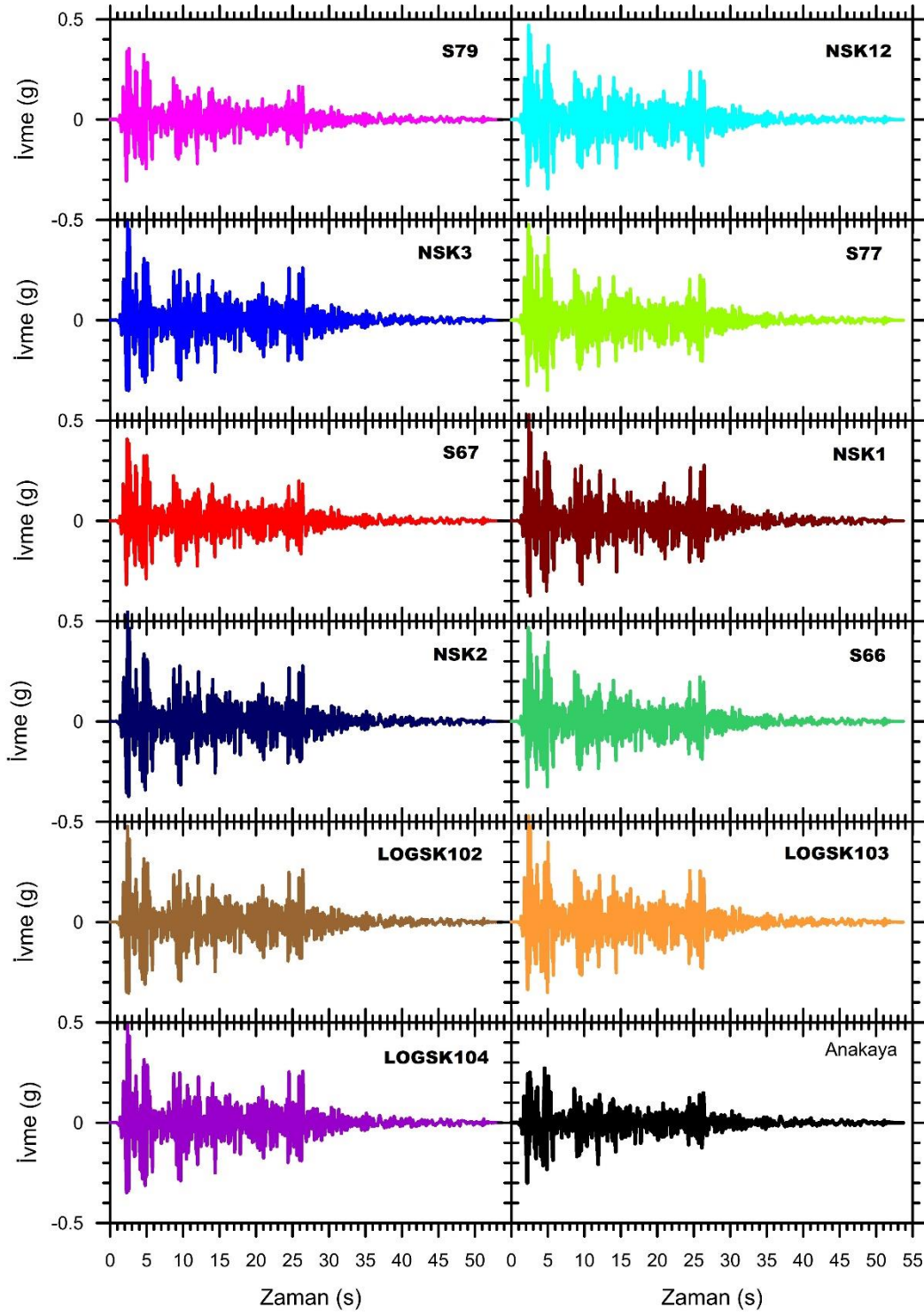
A3. Bölge 2 için Düzce1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



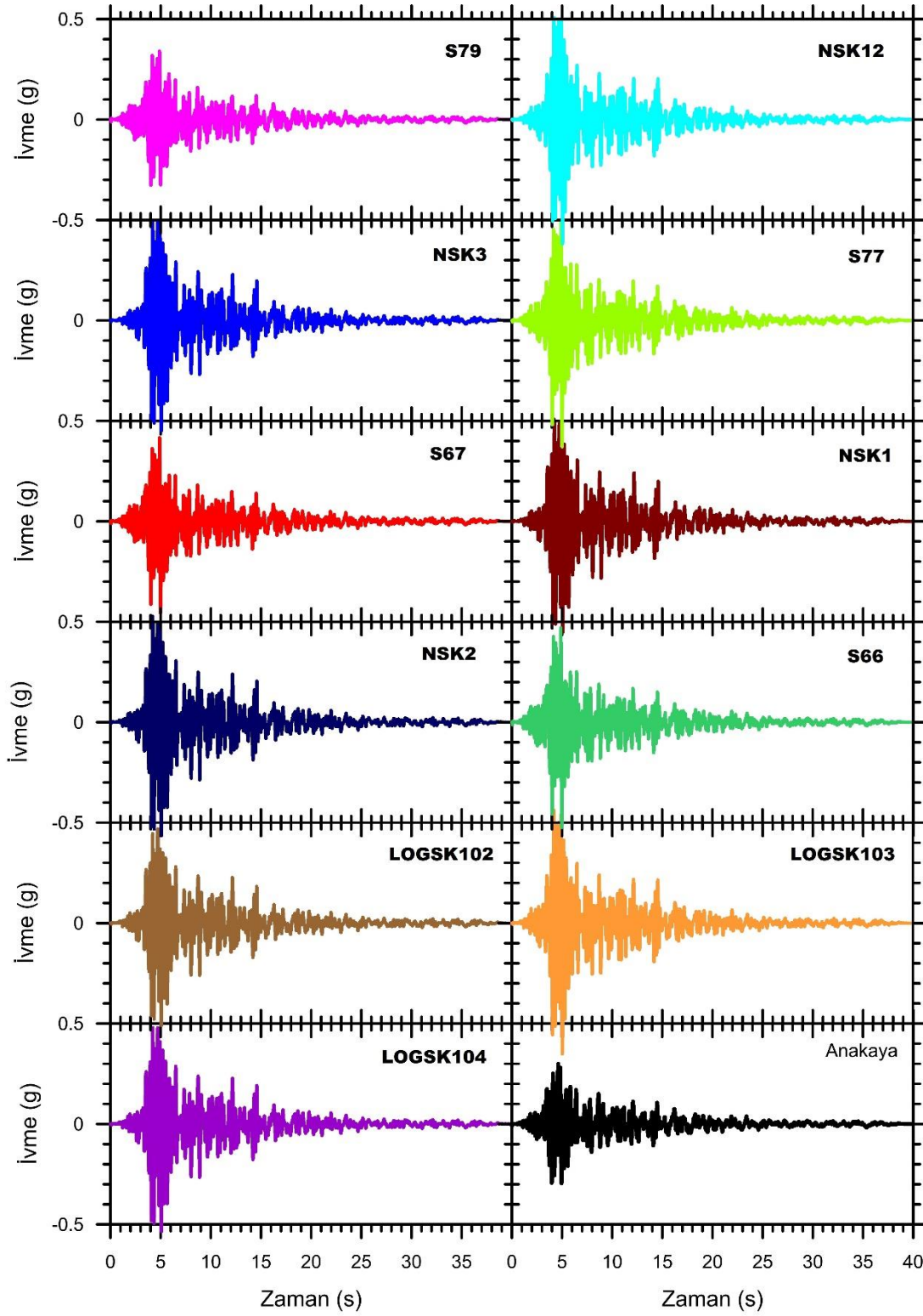
A4. Bölge 2 için Coyote 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



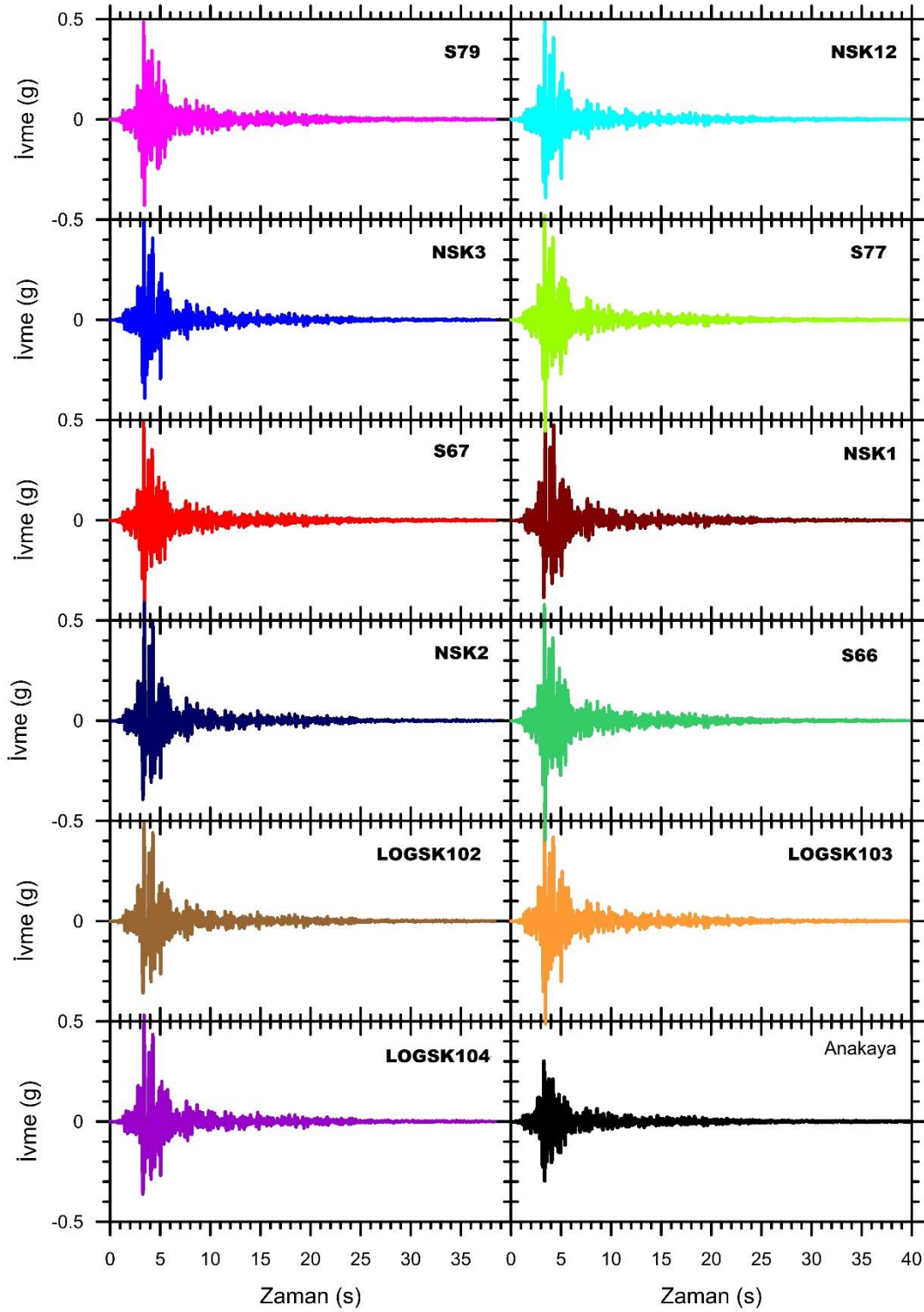
A5. Bölge 2 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



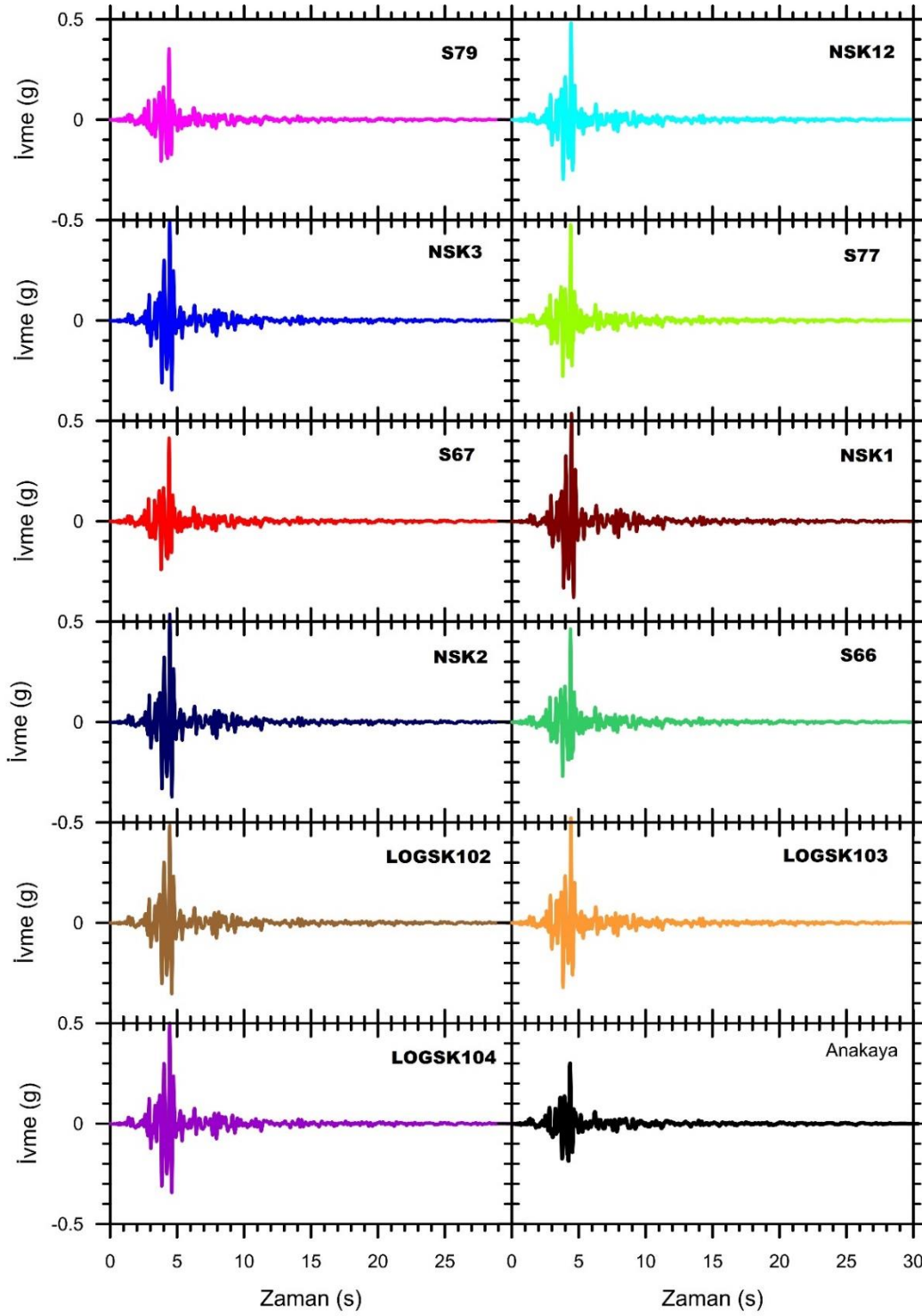
A6. Bölge 2 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



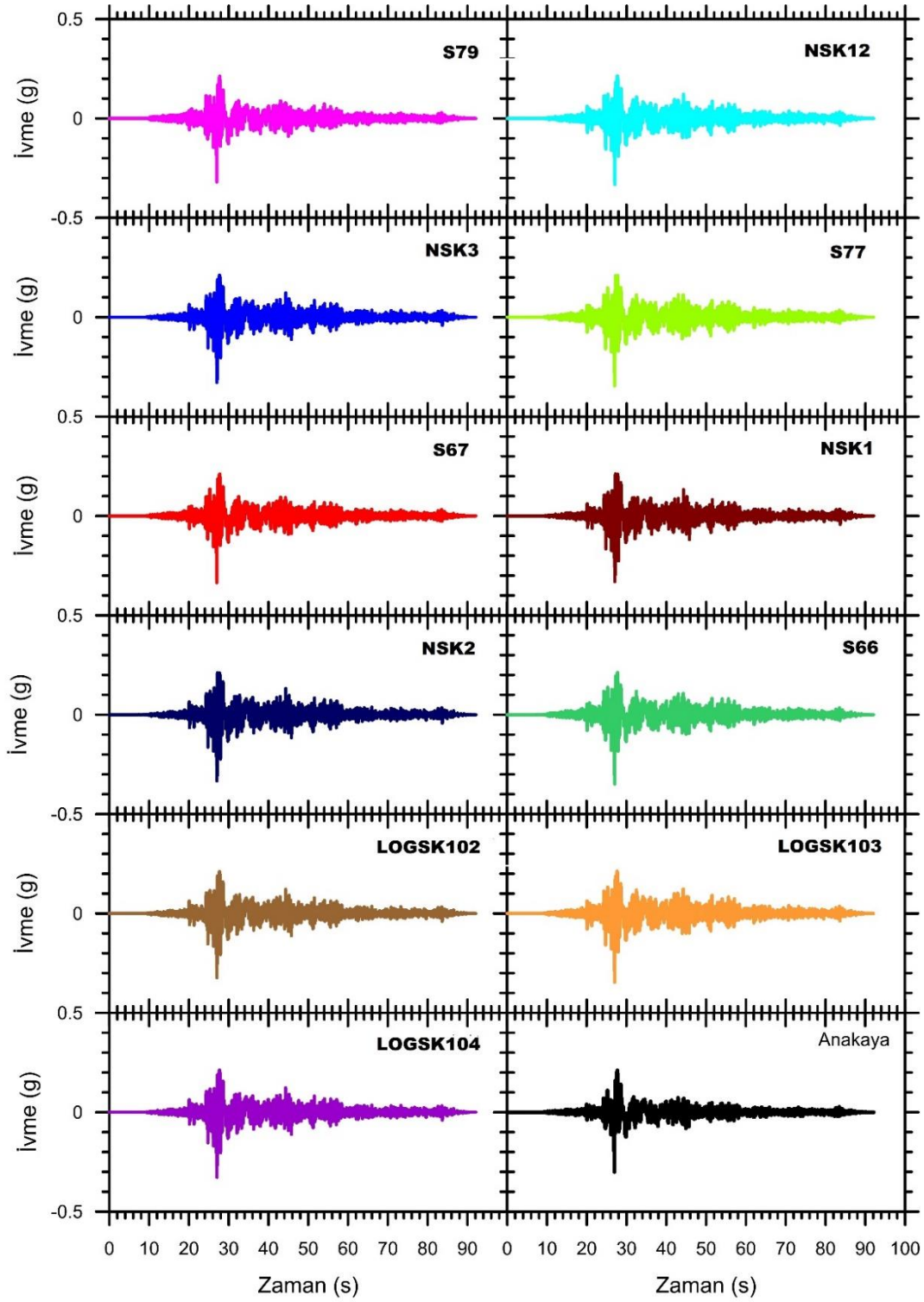
A7. Bölge 2 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



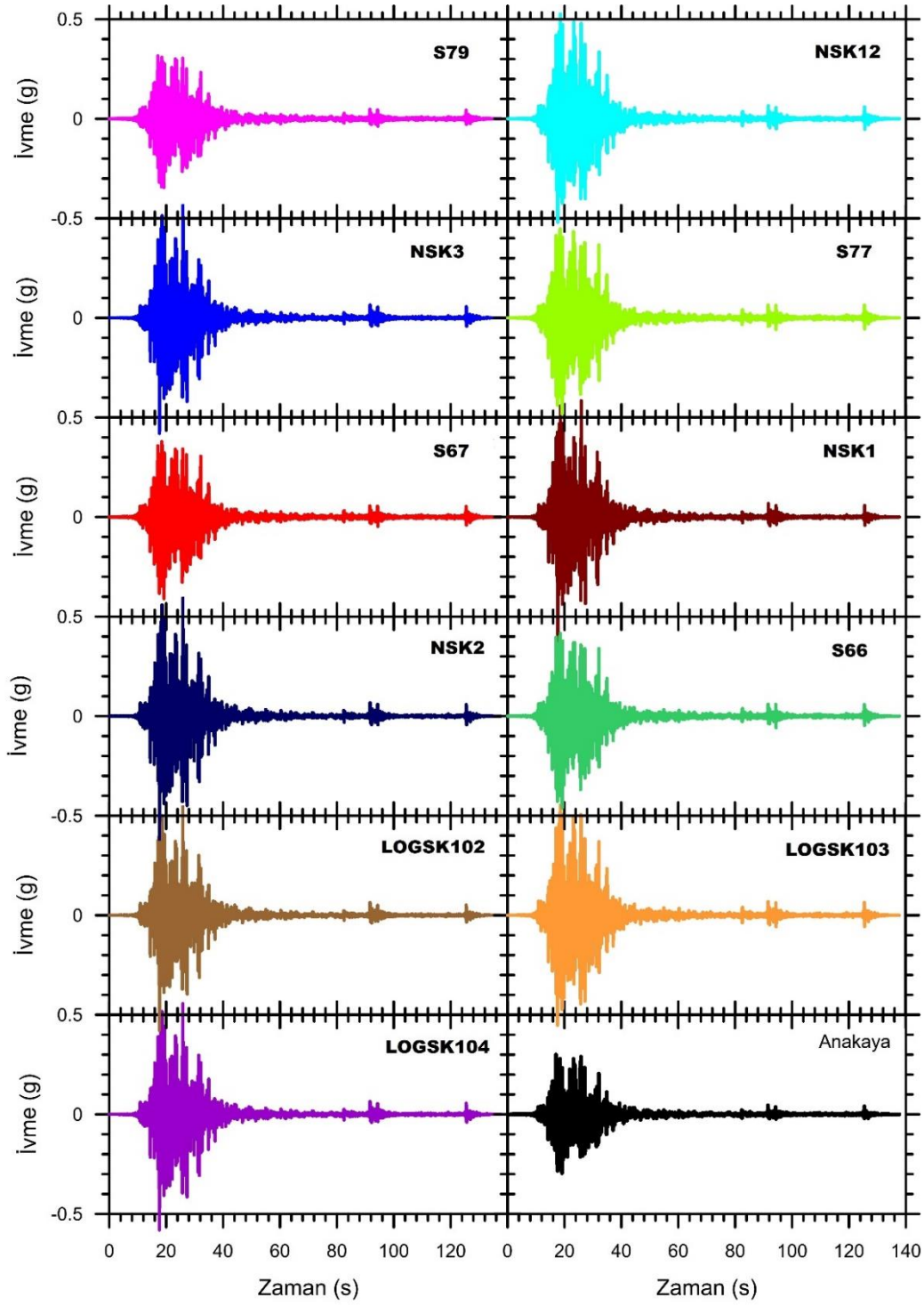
A8. Bölge 2 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



A9. Bölge 2 için Parkfield 1966 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

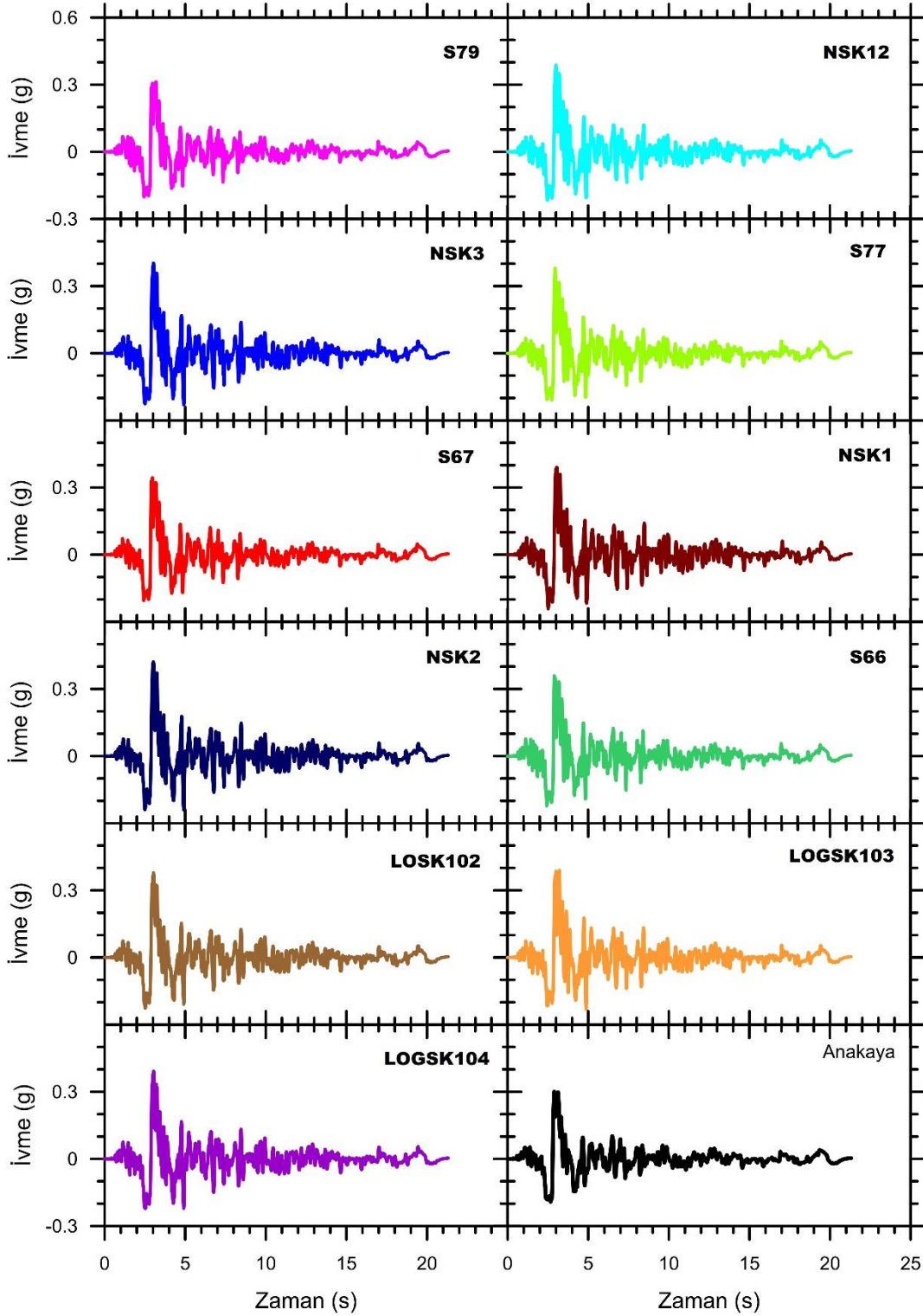


A10. Bölge 2 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

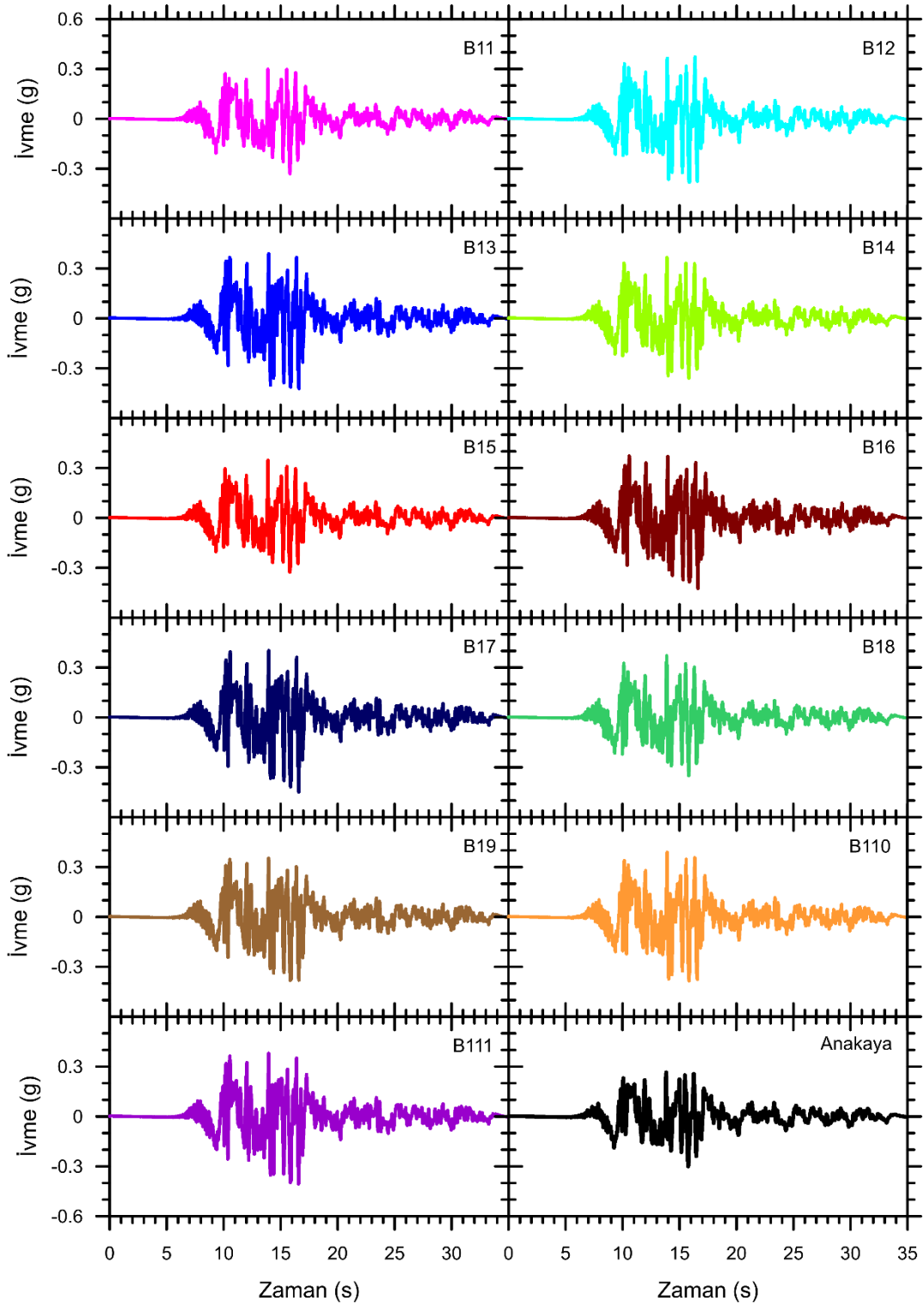


A11. Bölge 2 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

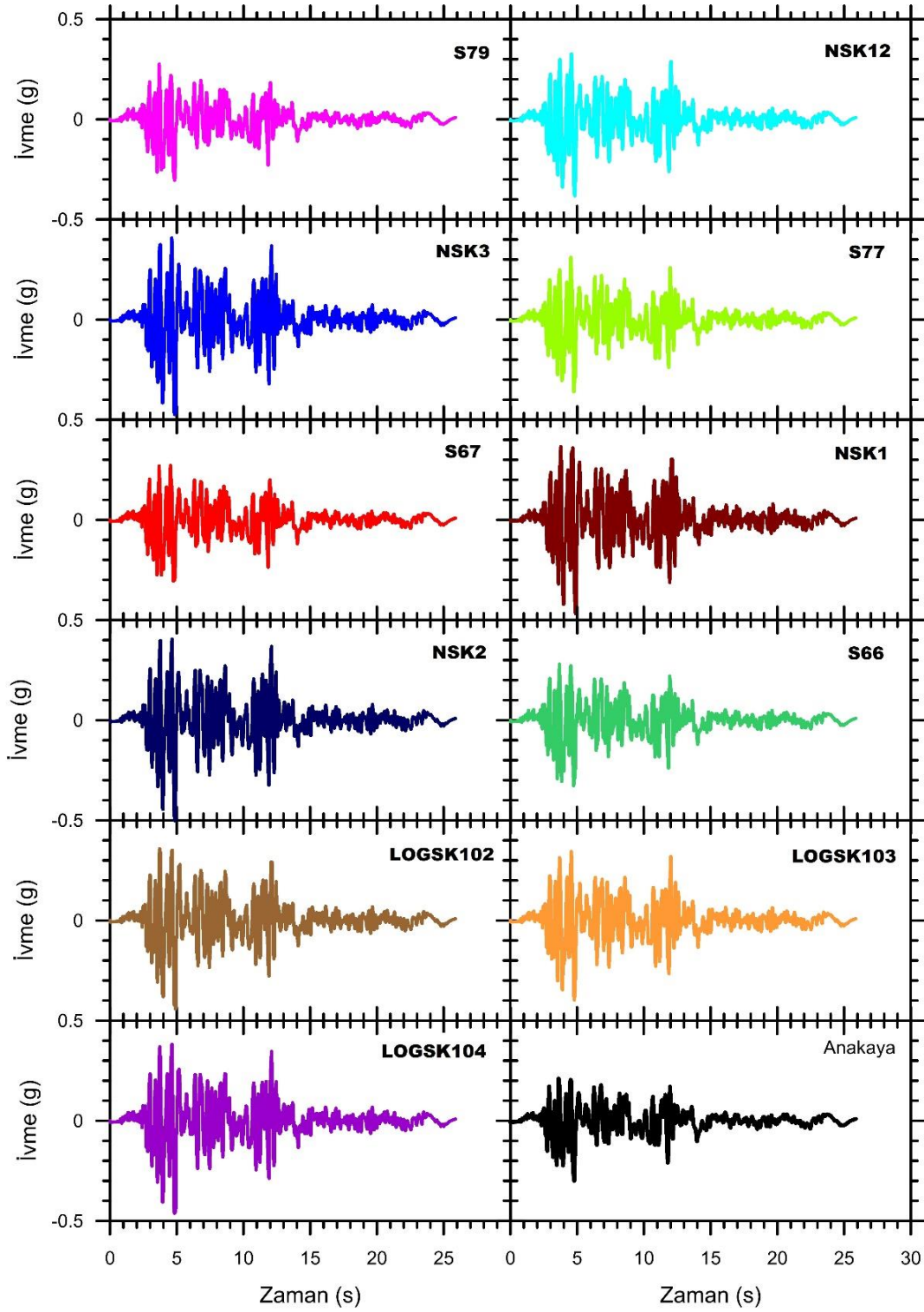
Ek Açıklama B:Bölge 2 11 farklı deprem verilerine göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri sonuçları



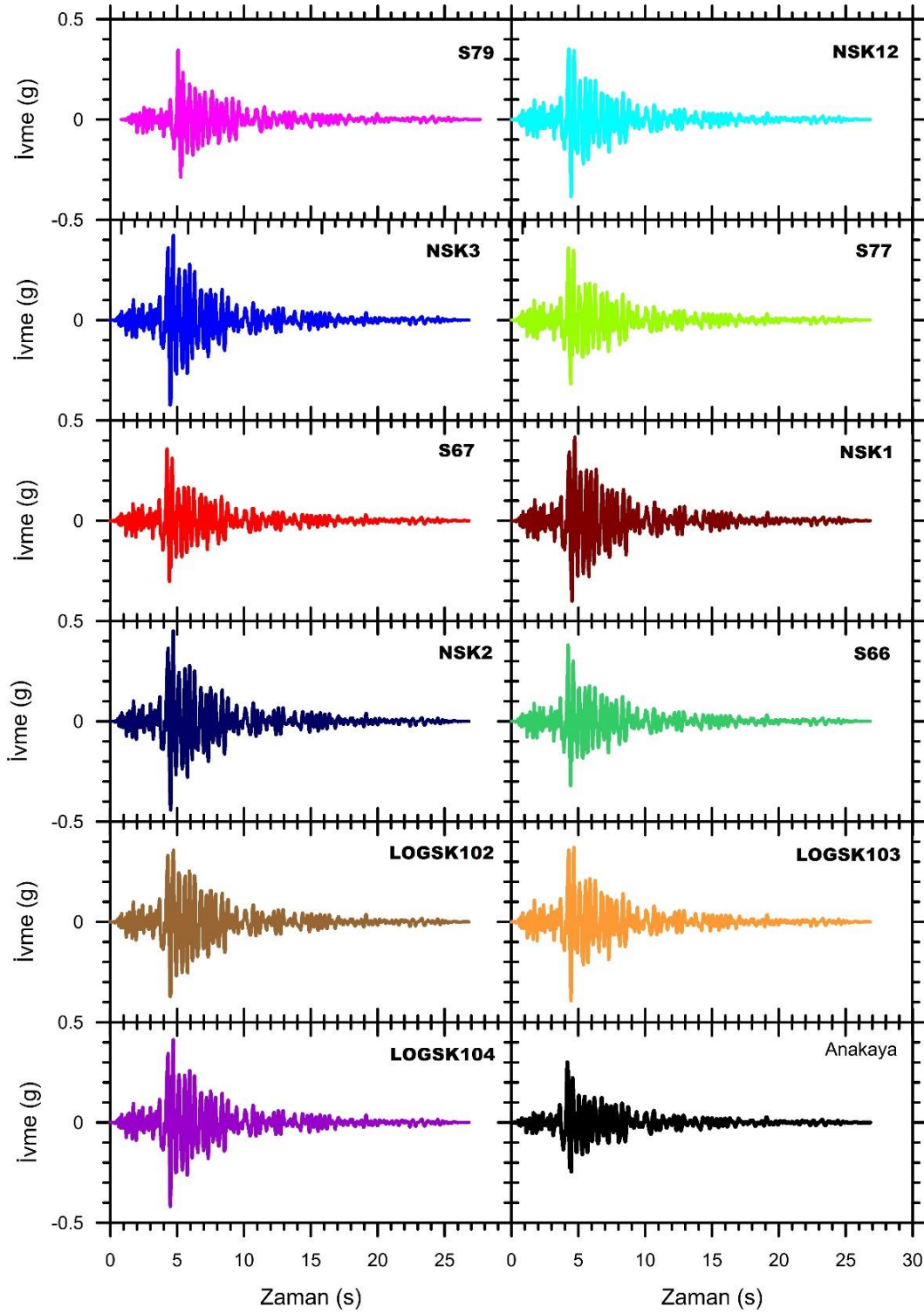
B1. Bölge 2 için Erzincan 1992 deprem verisine doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



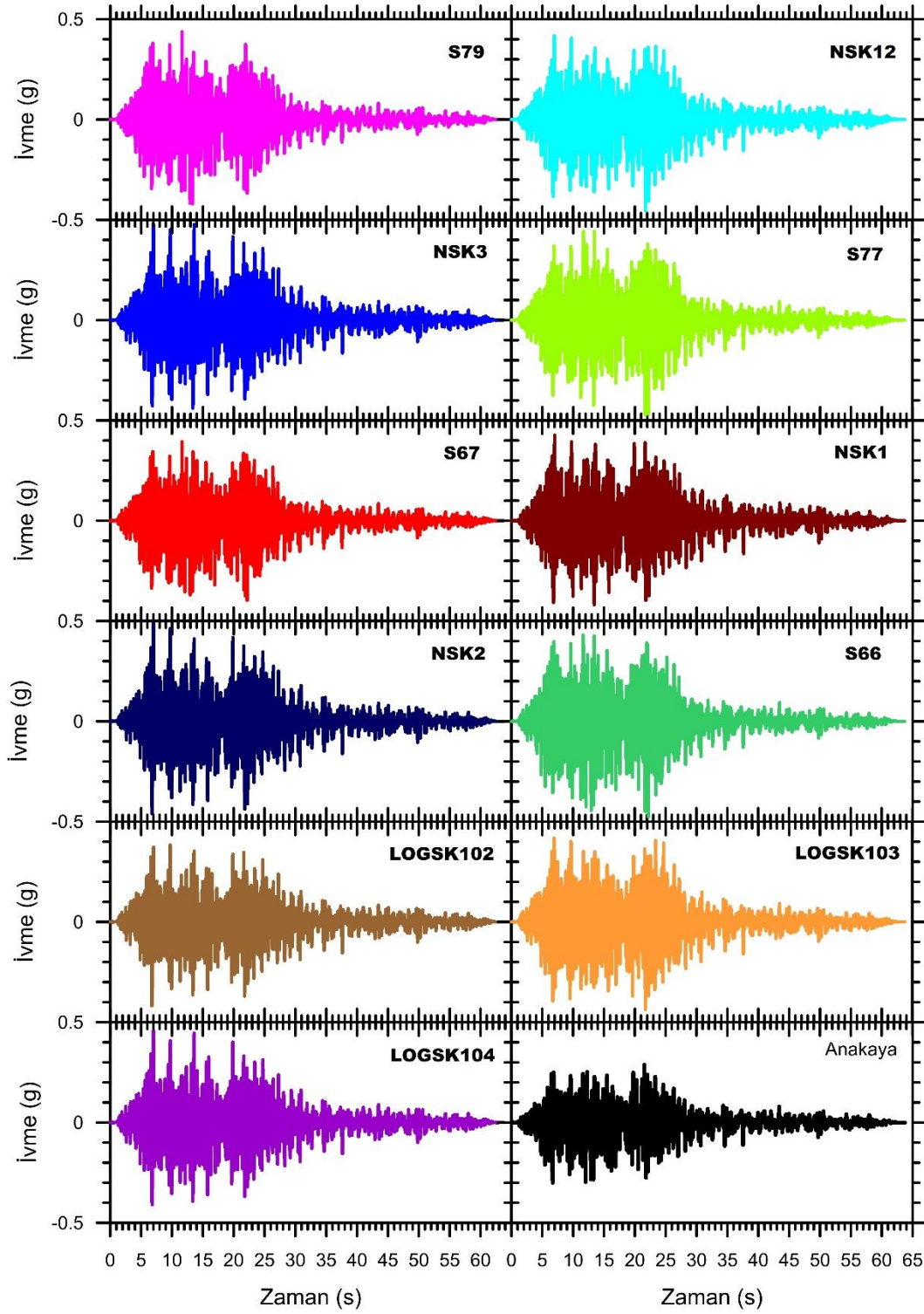
B2. Bölge 2 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



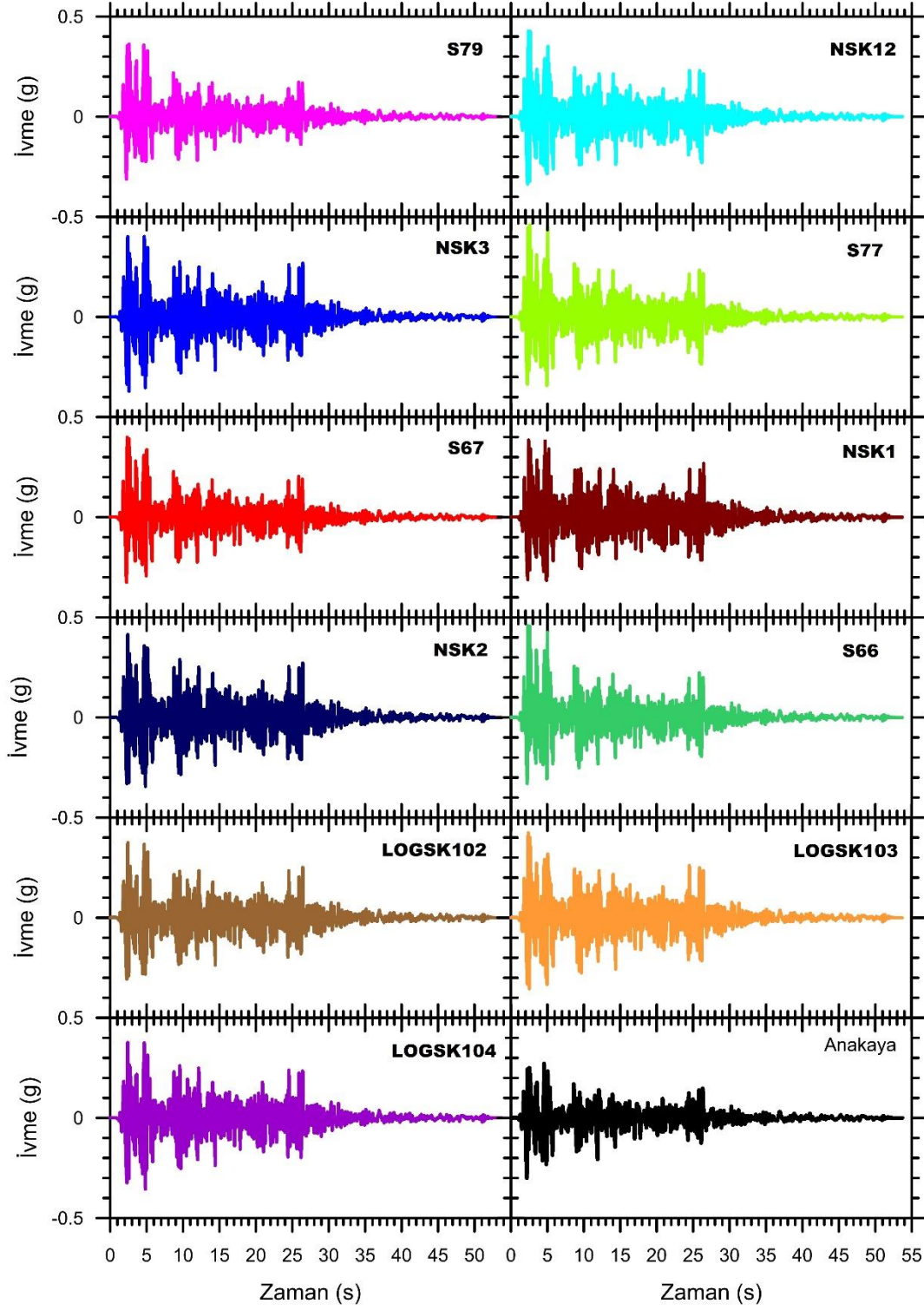
B3. Bölge 2 için Düzce1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



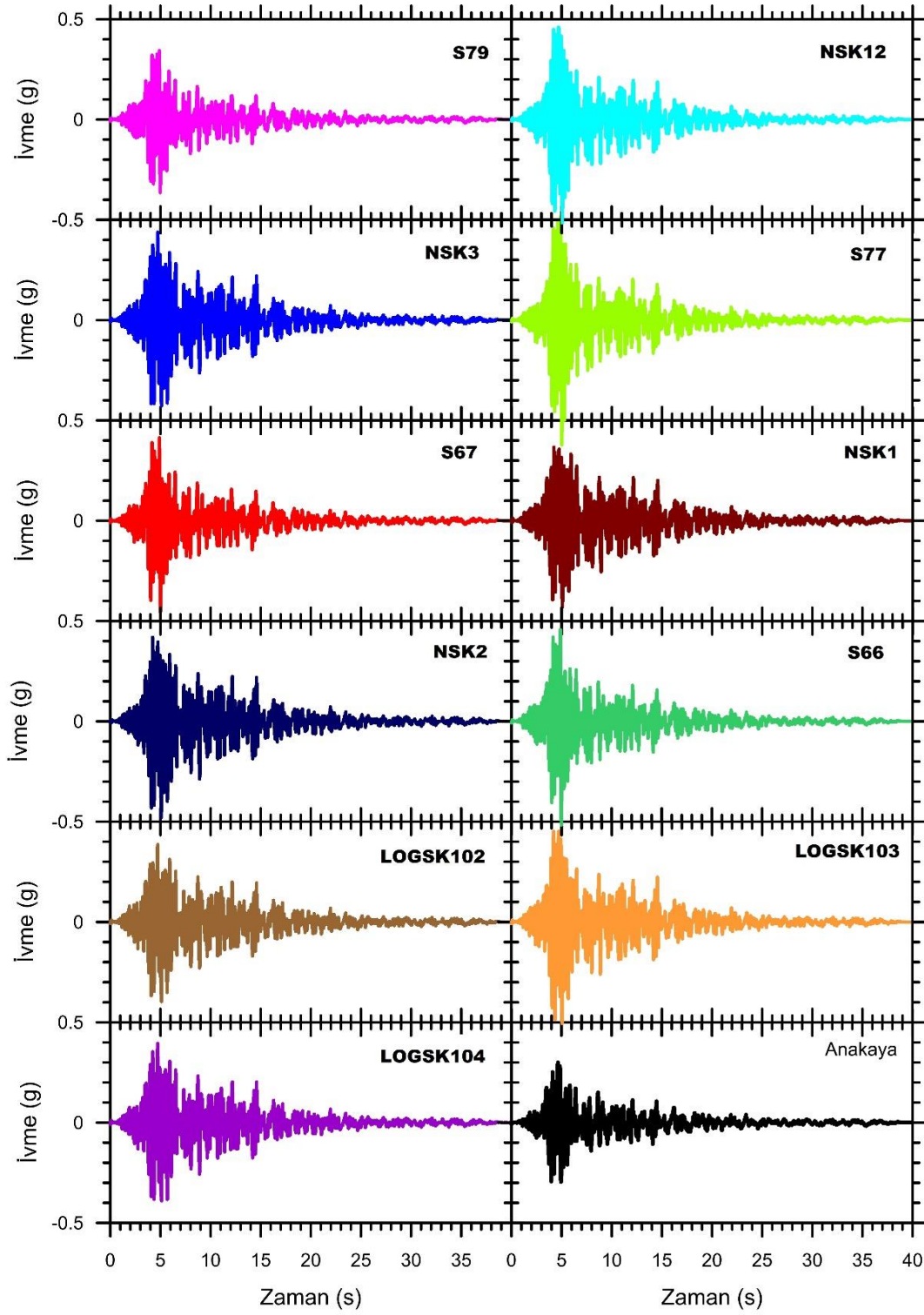
B4. Bölge 2 için Coyote 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



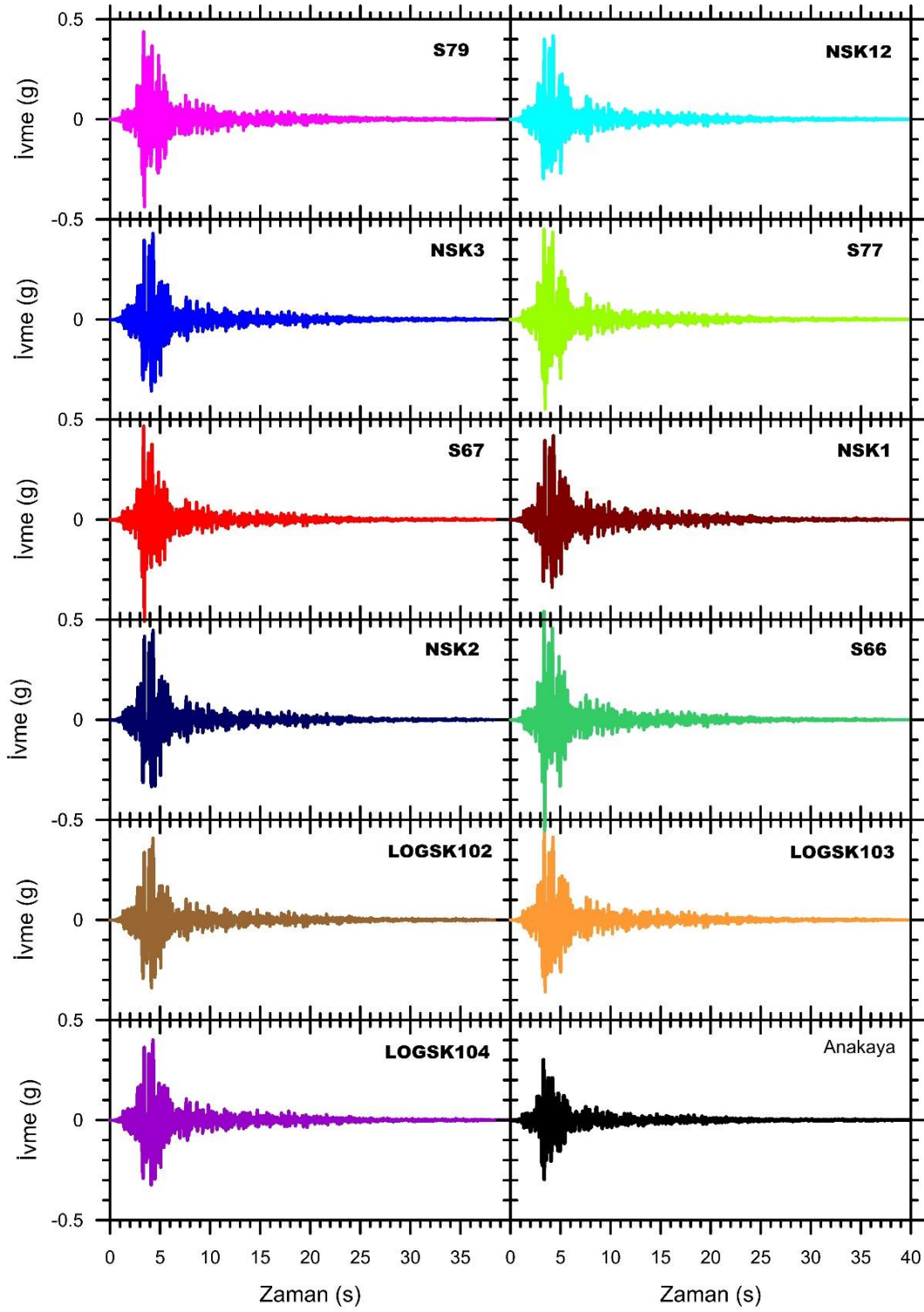
B5. Bölge 2 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



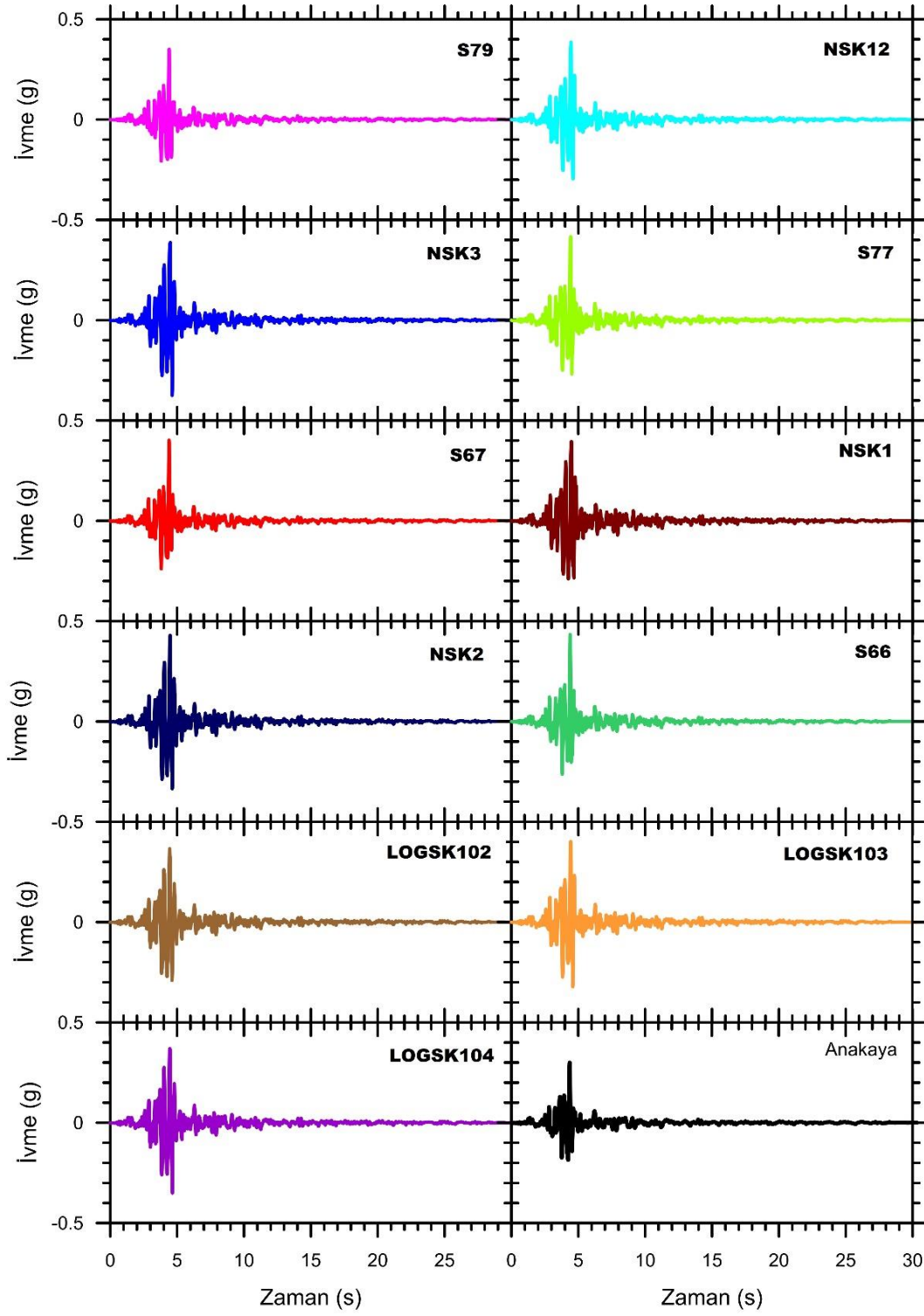
B6. Bölge 2 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



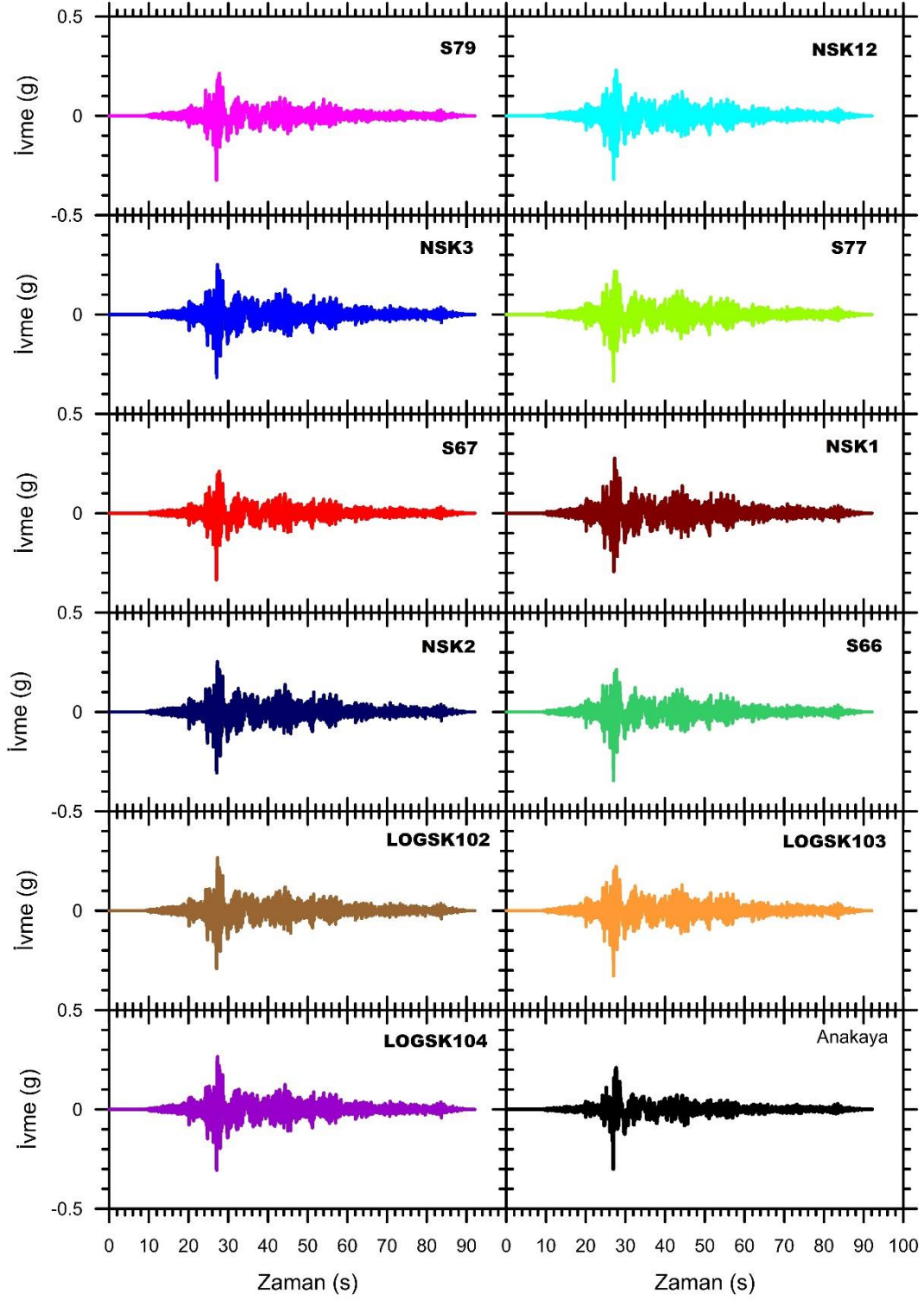
B7. Bölge 2 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



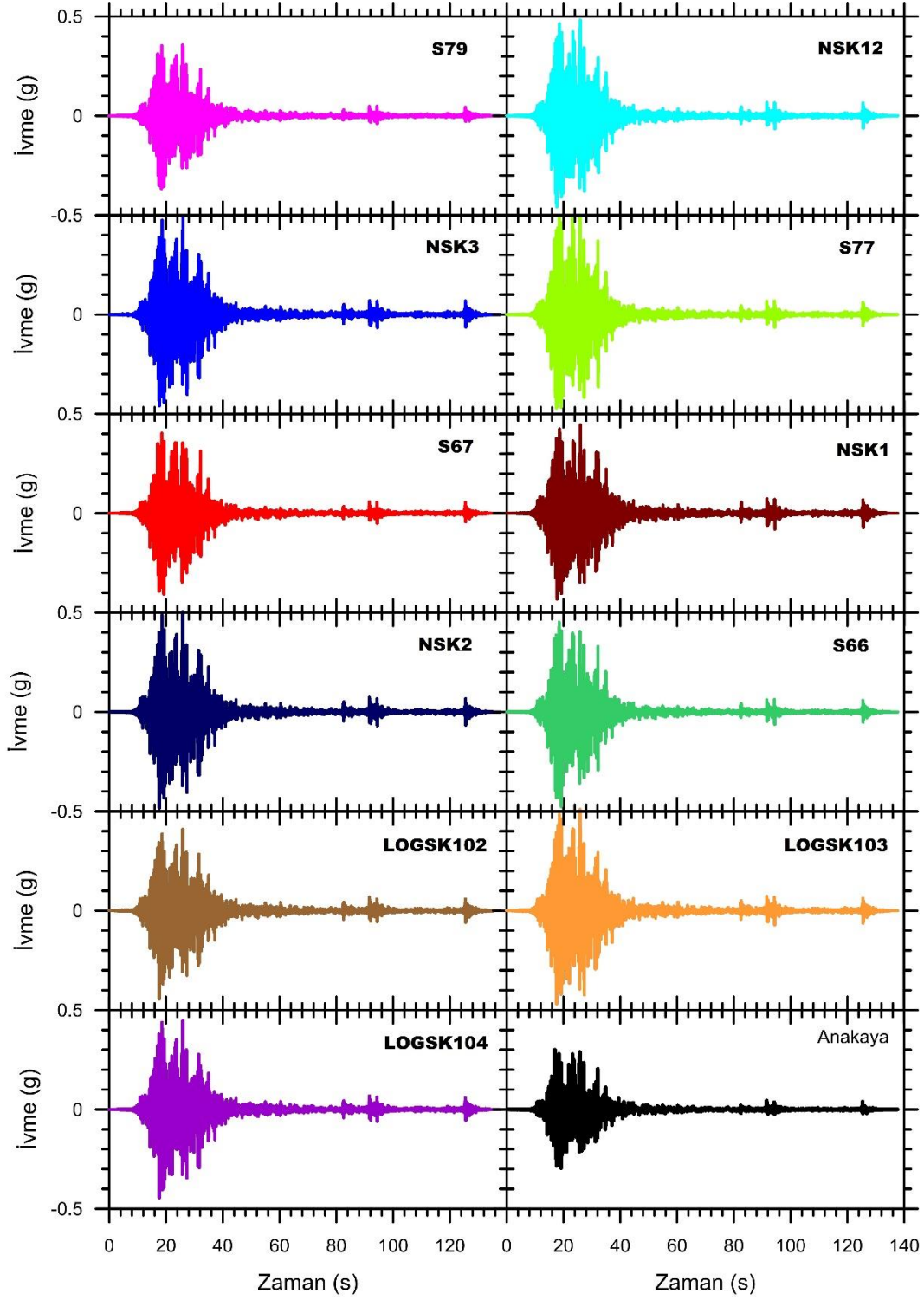
B8. Bölge 2 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



B9. Bölge 2 için Parkfield 1966 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

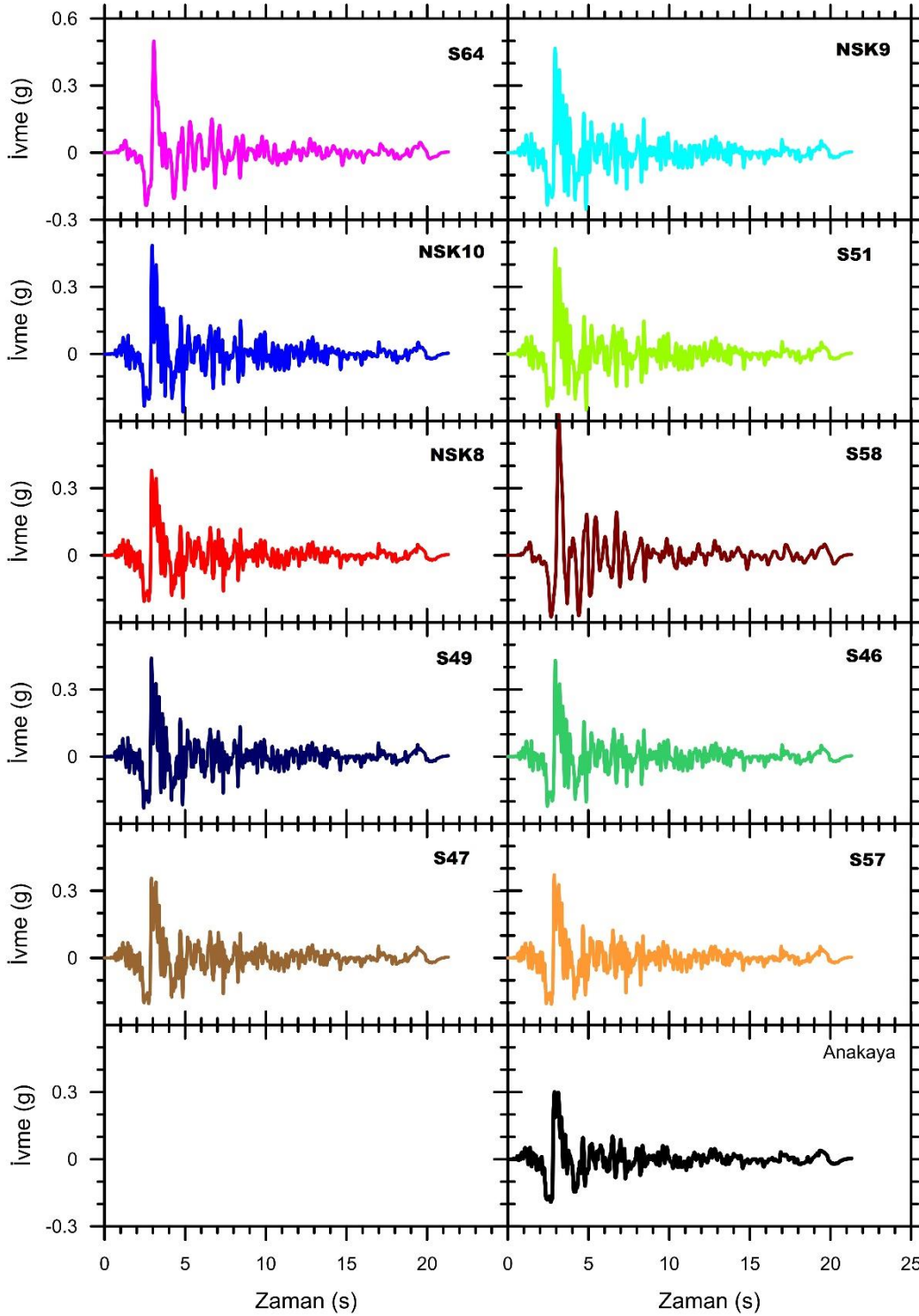


B10. Bölge 2 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

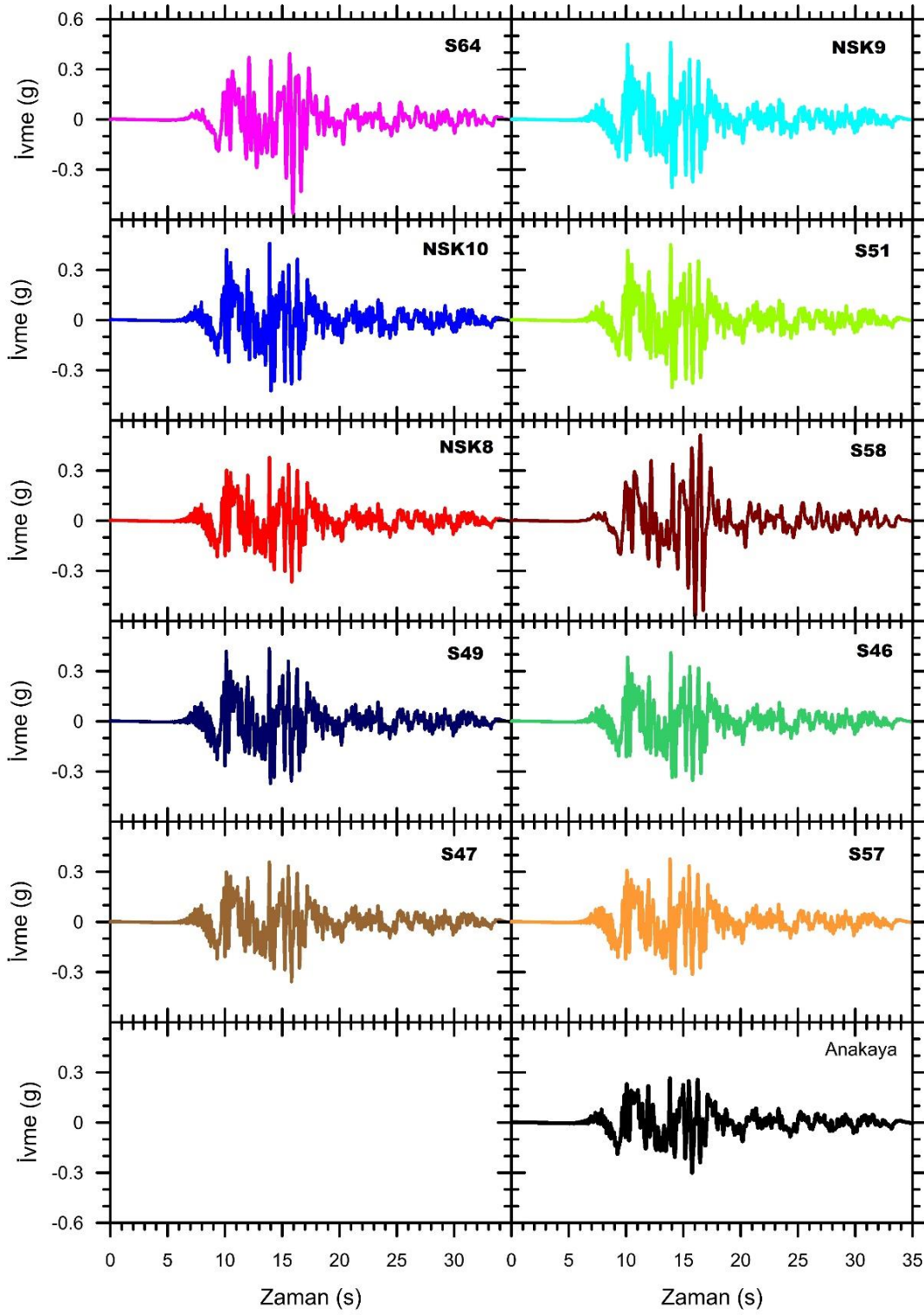


B11. Bölge 2 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

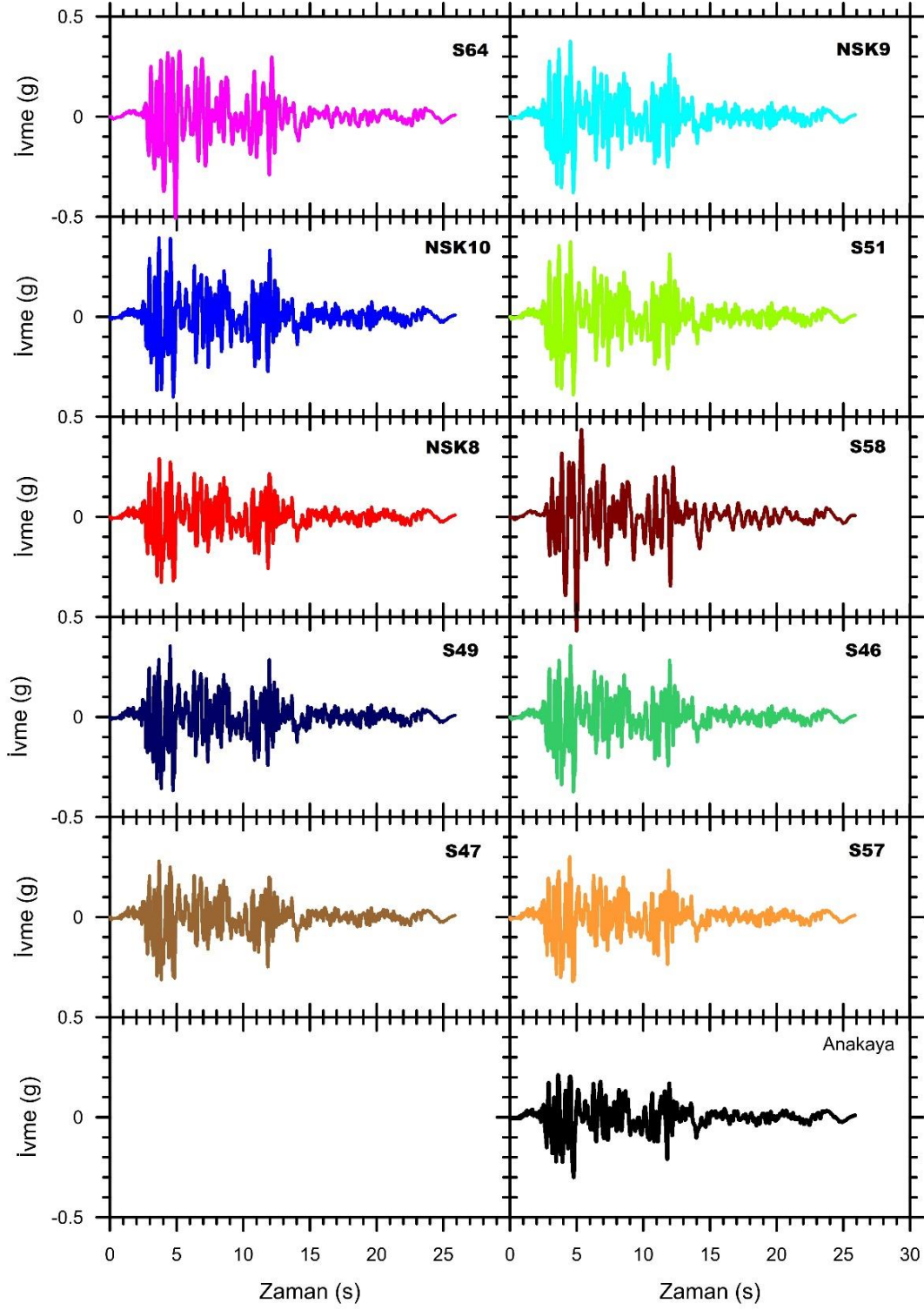
Ek Açıklama C:Bölge 3 11 farklı deprem verilerine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemleri sonuçları



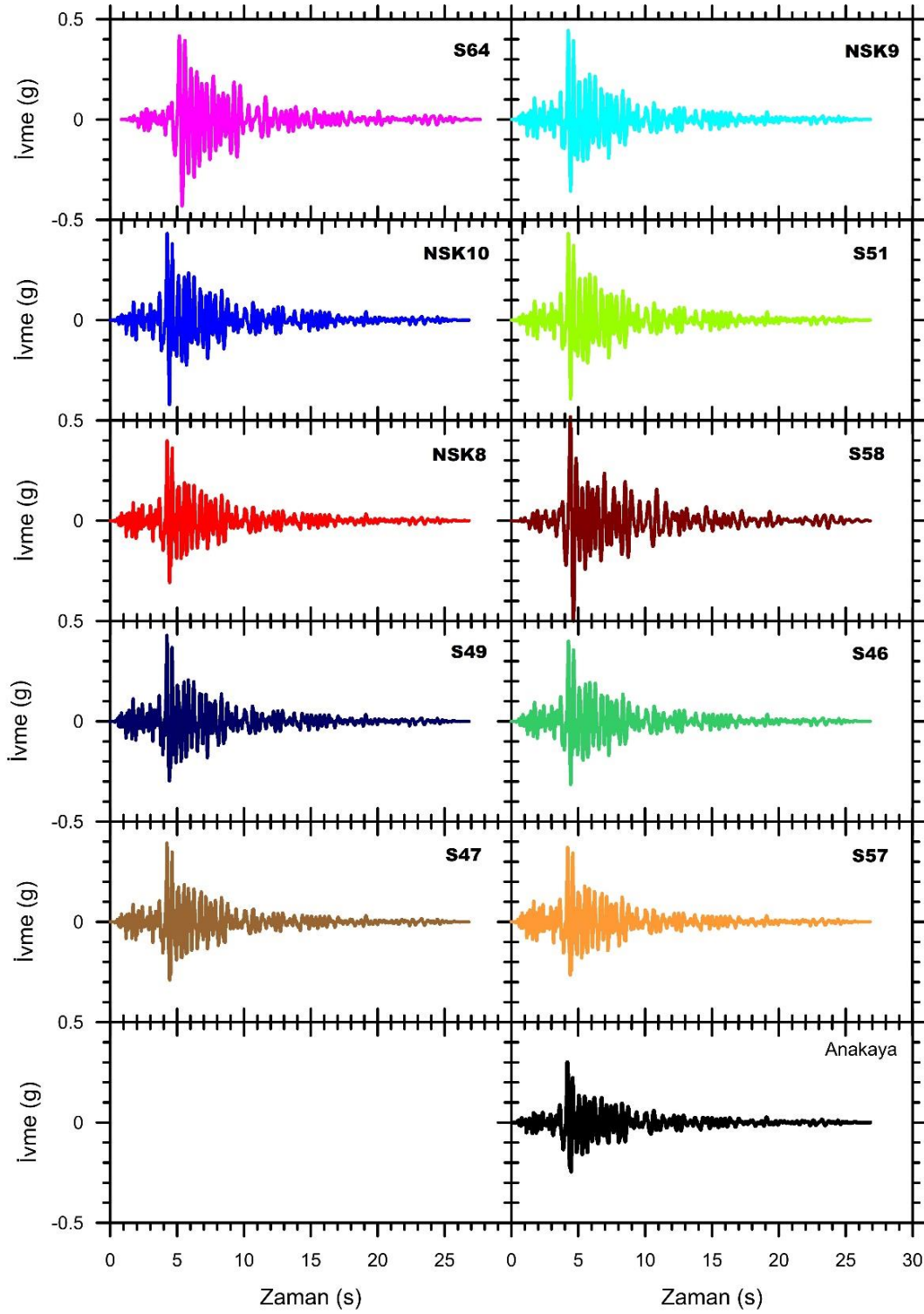
C1. Bölge 3 için Erzincan 1992 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



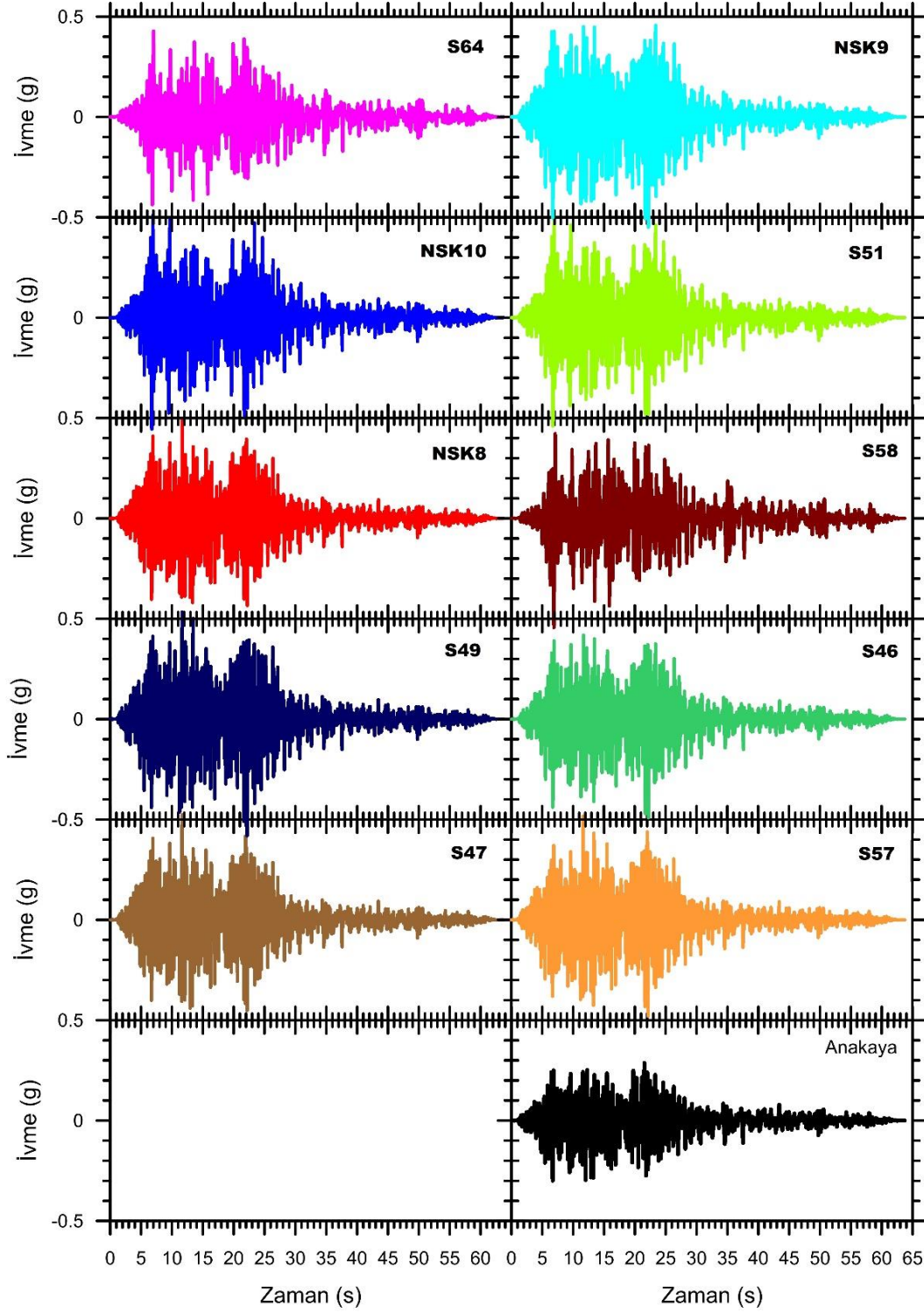
C2. Bölge 3 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



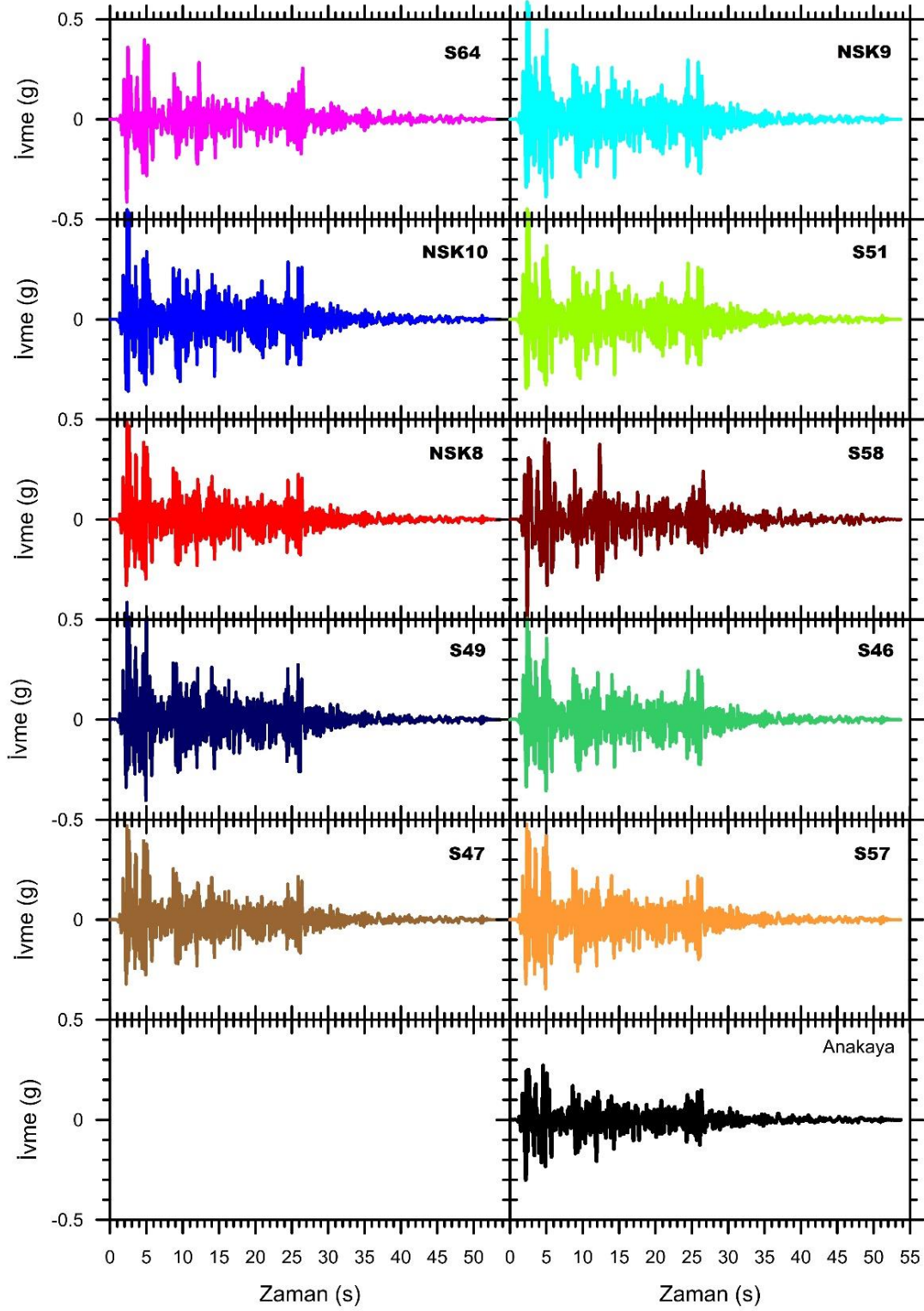
C3. Bölge 3 için Düzce1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



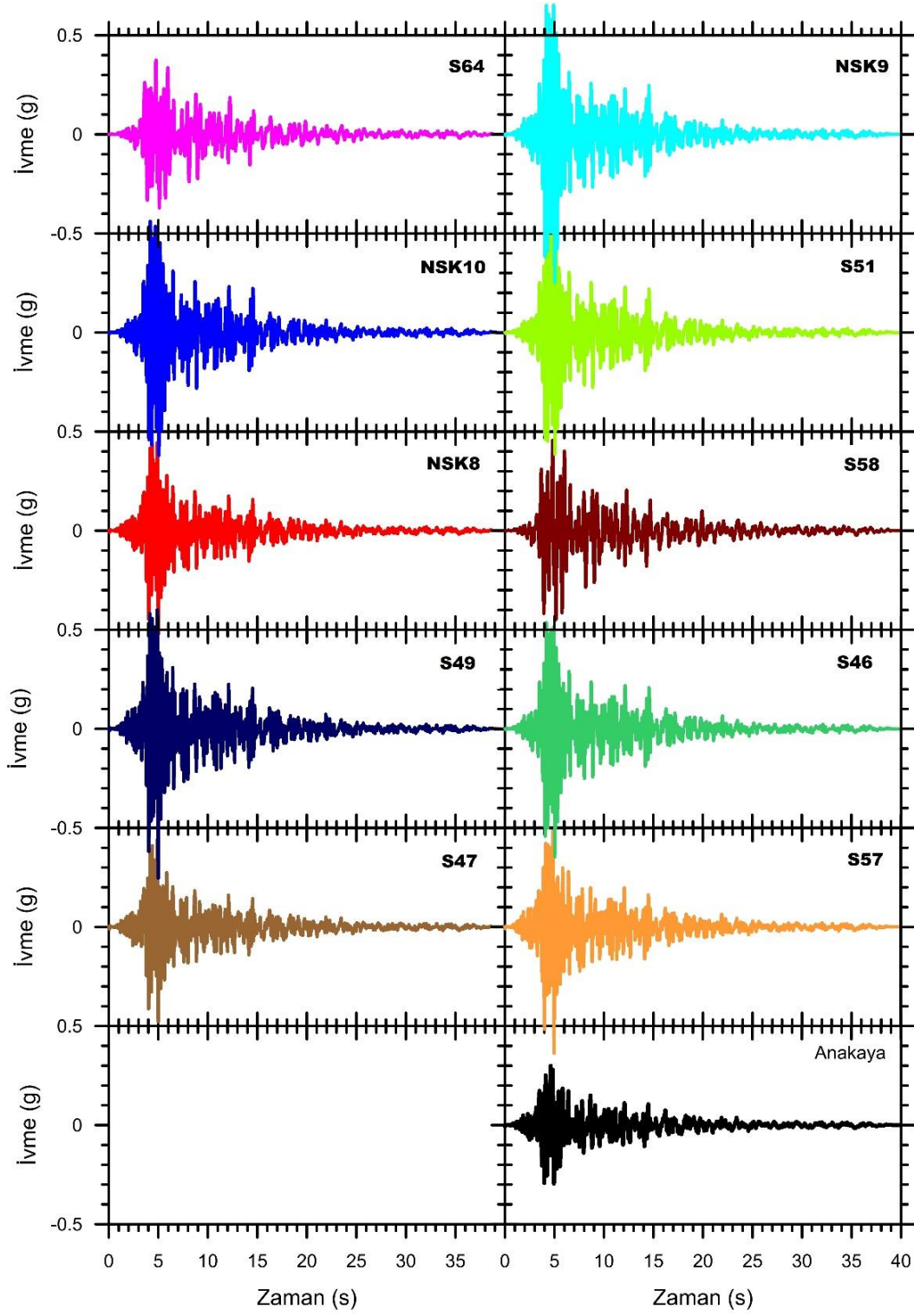
C4. Bölge 3 için Coyote 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



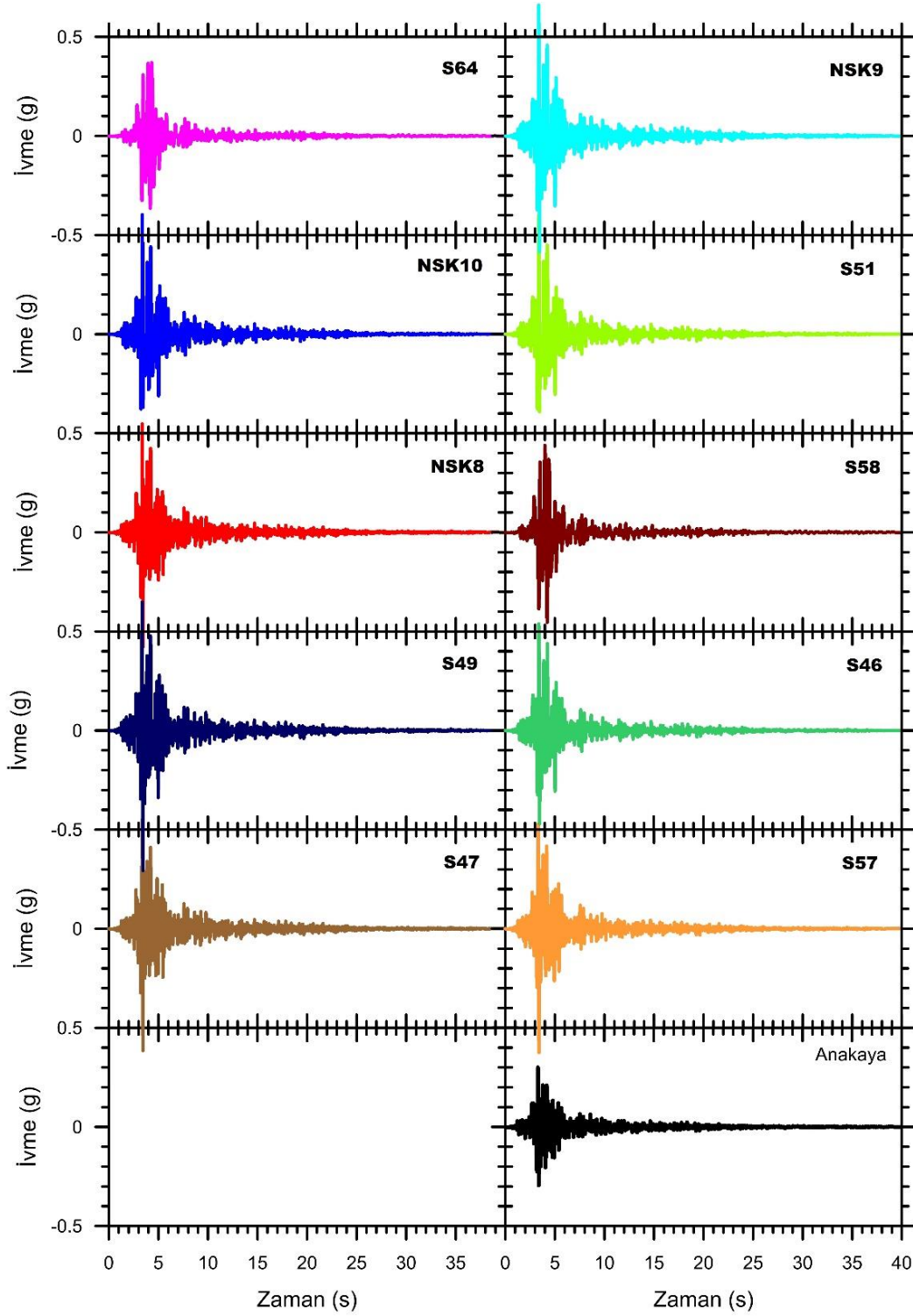
C5. Bölge 3 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



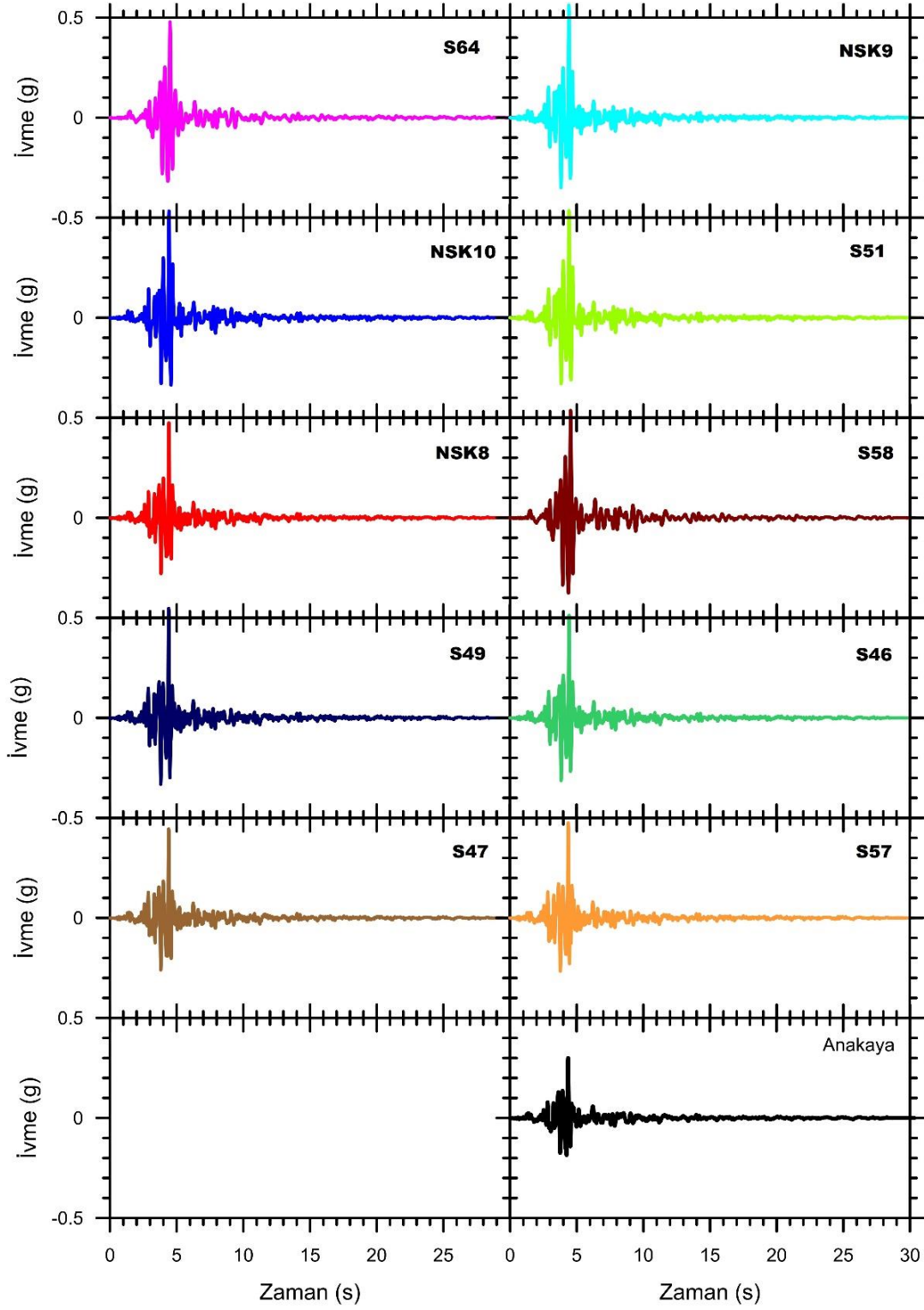
C6. Bölge 3 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



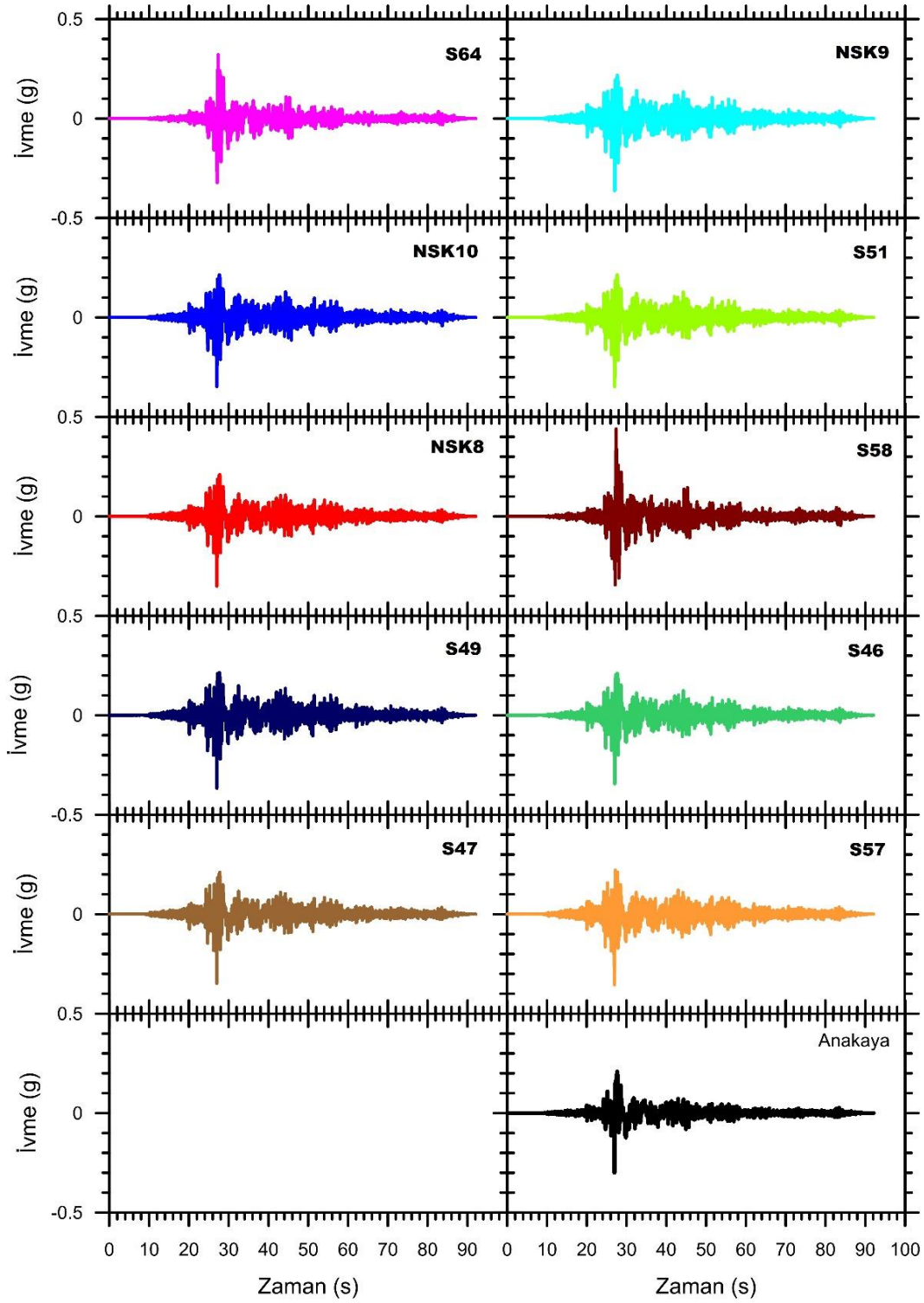
C7. Bölge 3 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



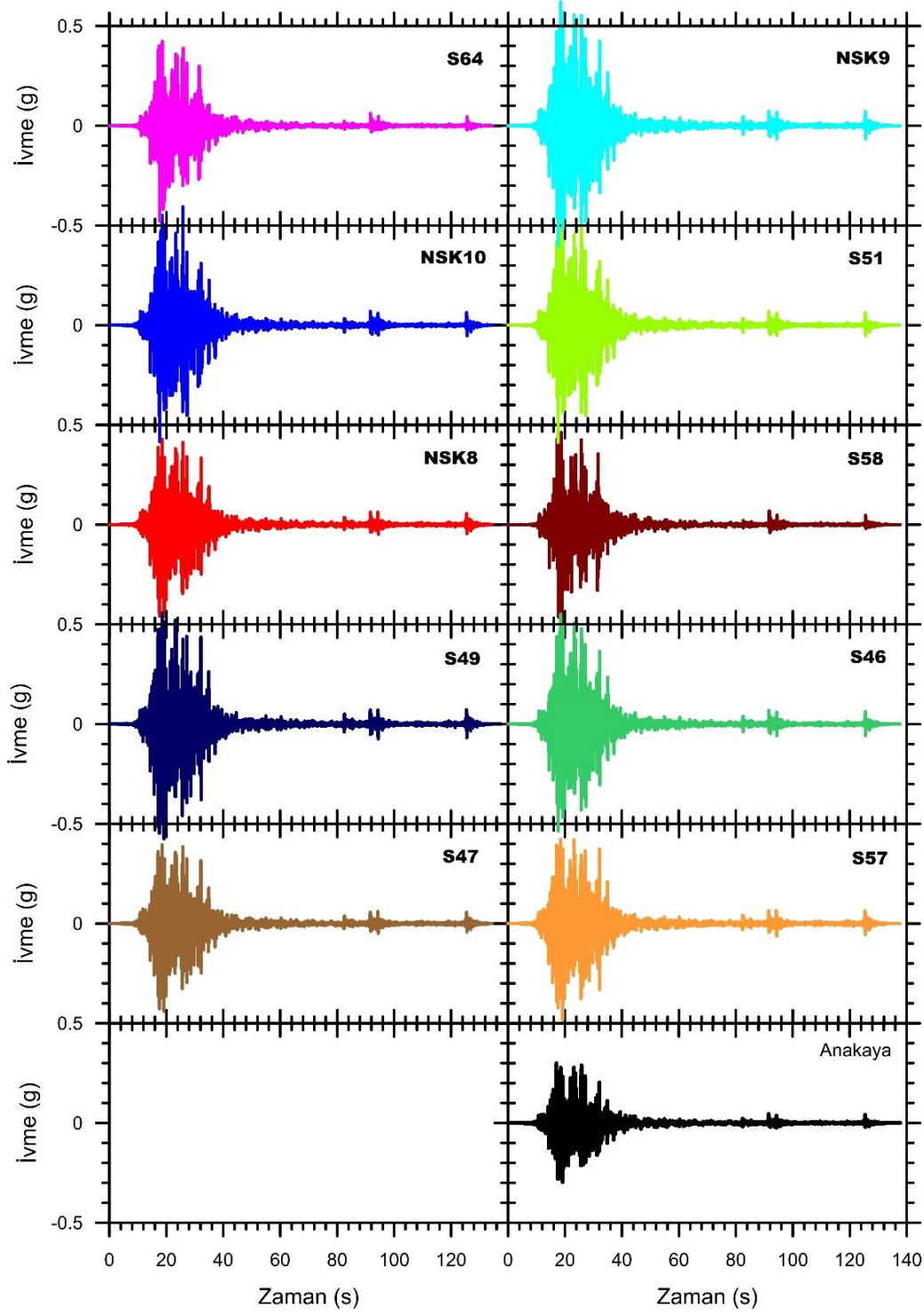
C8. Bölge 3 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



C9. Bölge 3 için Parkfield 1966 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

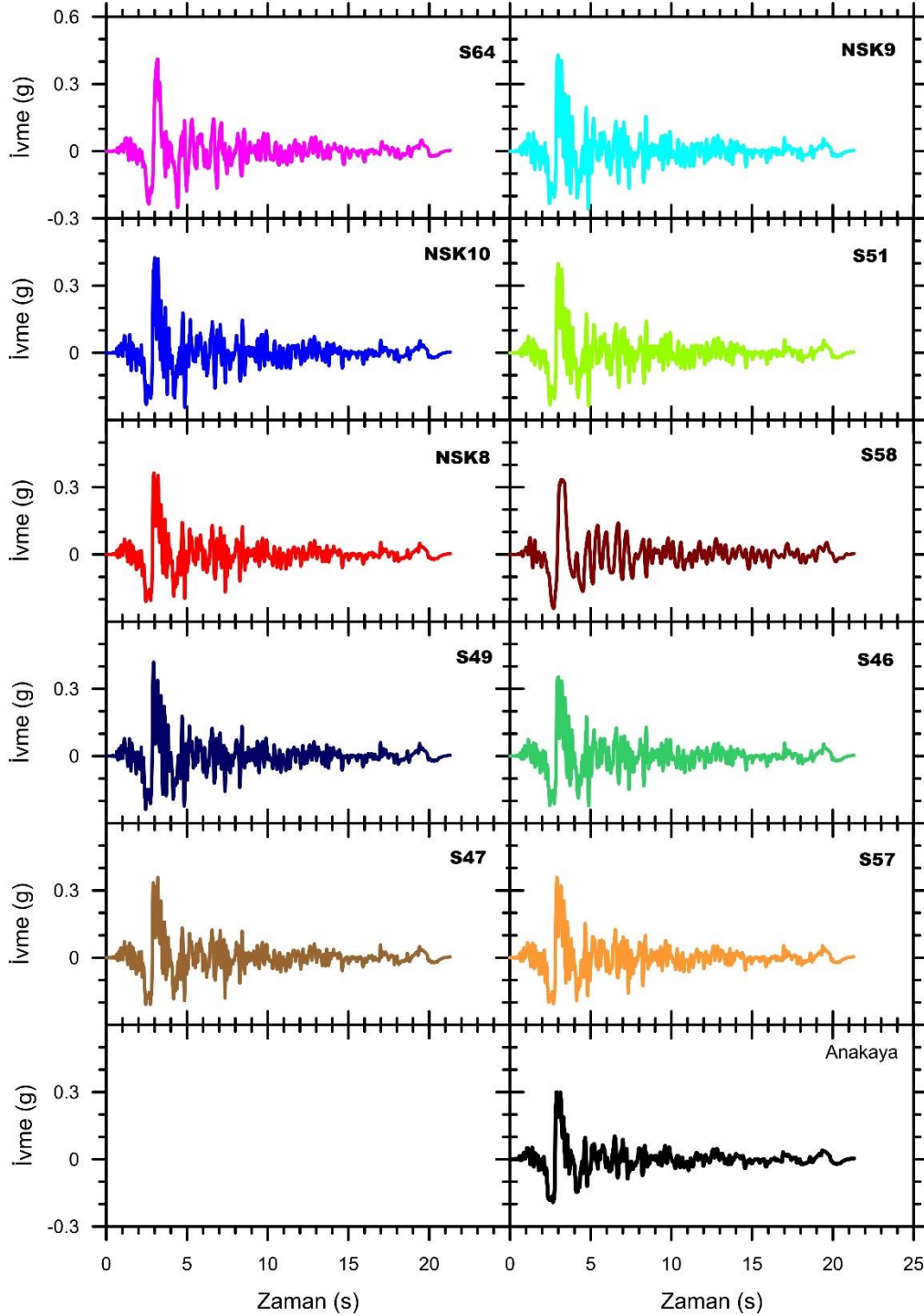


C10. Bölge 3 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

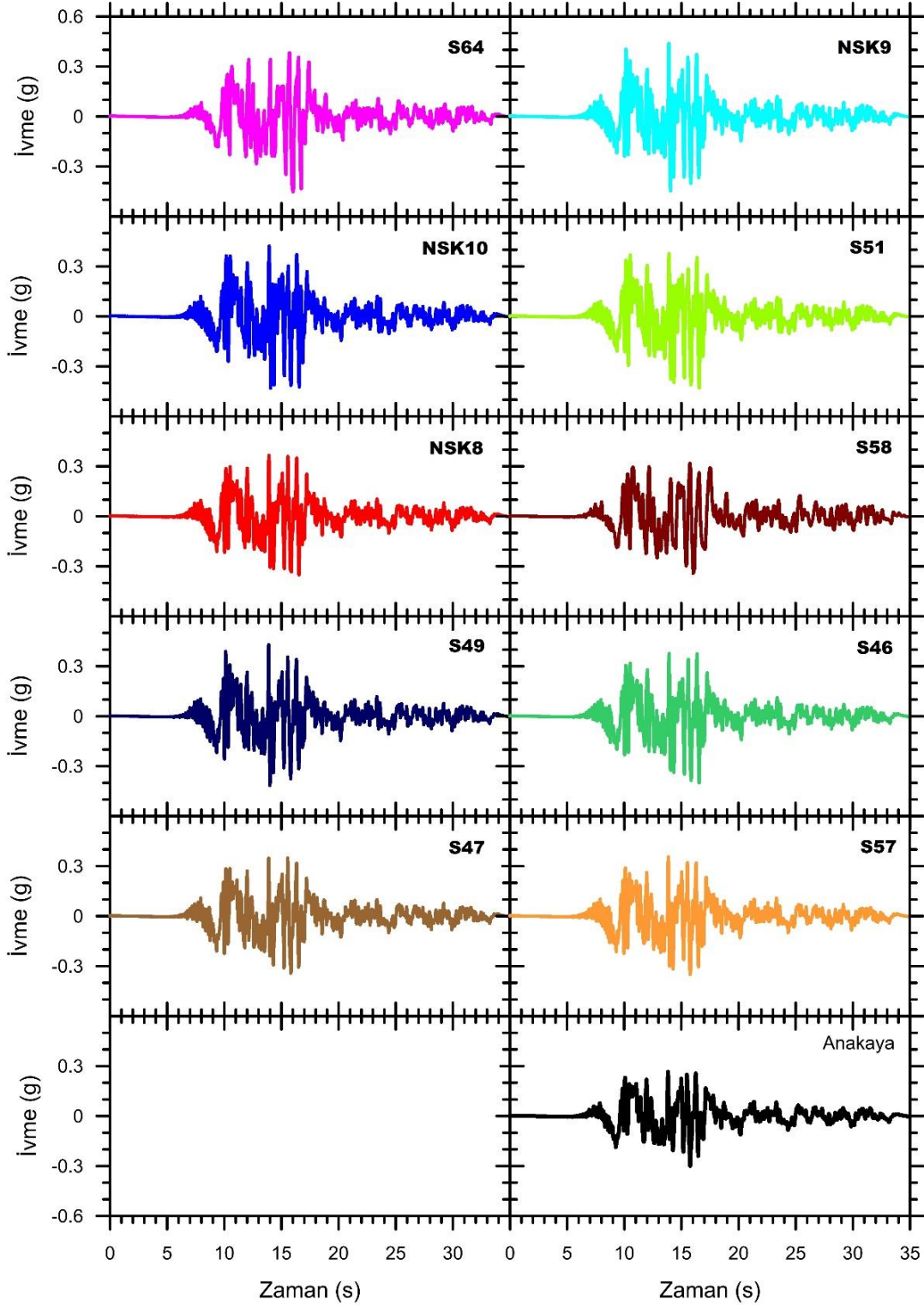


C11. Bölge 3 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

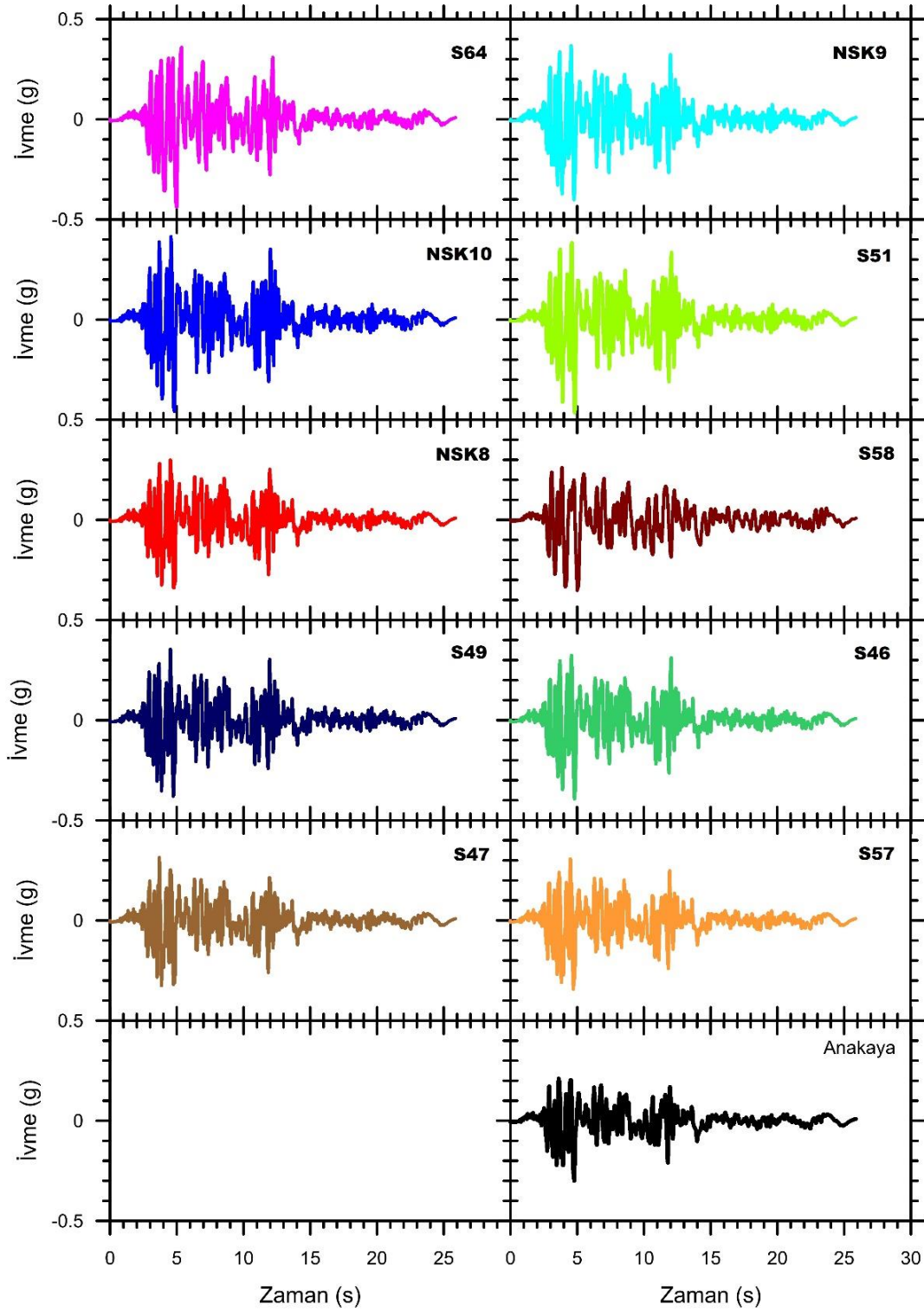
Ek Açıklama D:Bölge 3 11 farklı deprem verilerine göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri sonuçları



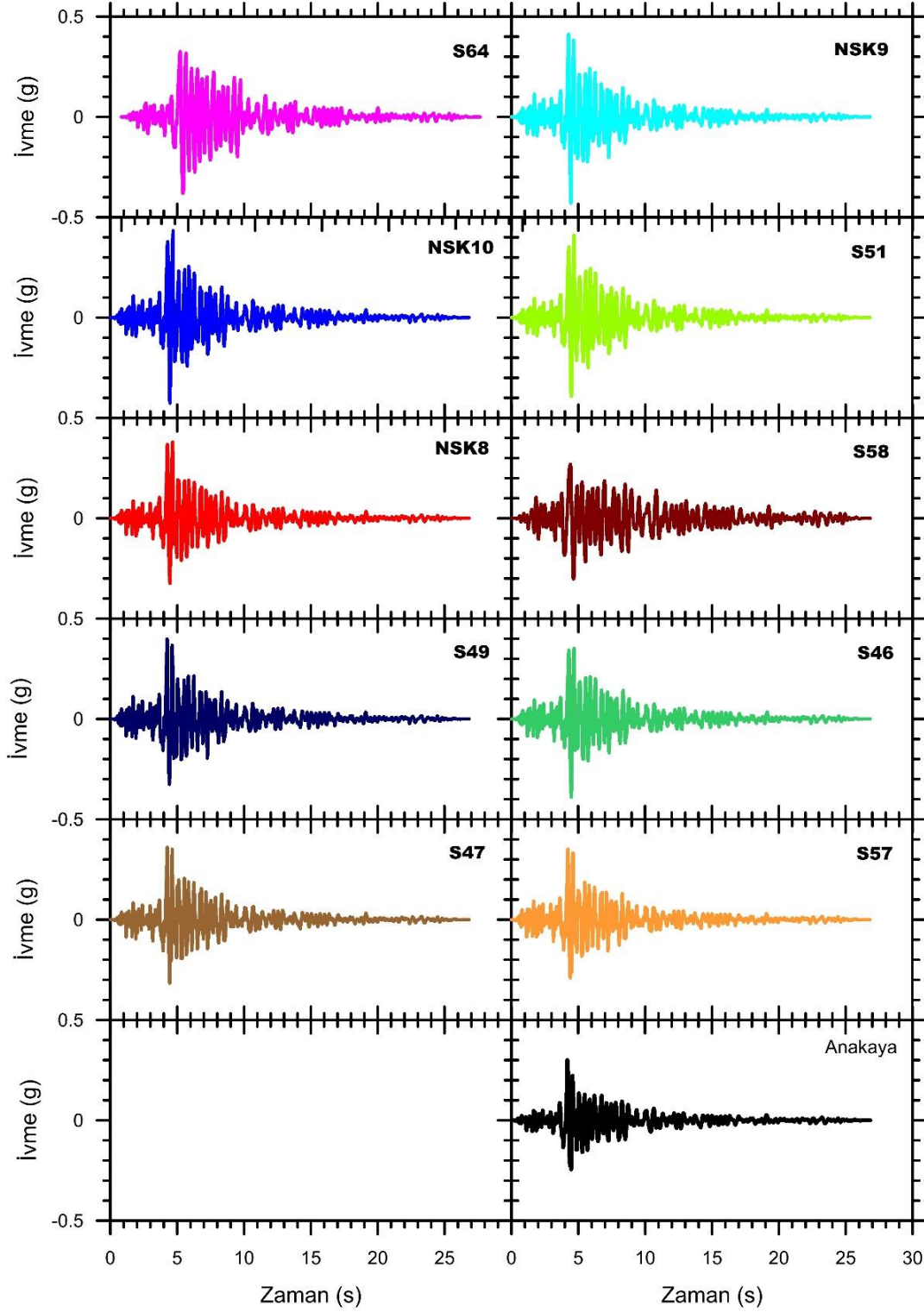
D1. Bölge 3 için Erzincan 1992 deprem verisine doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



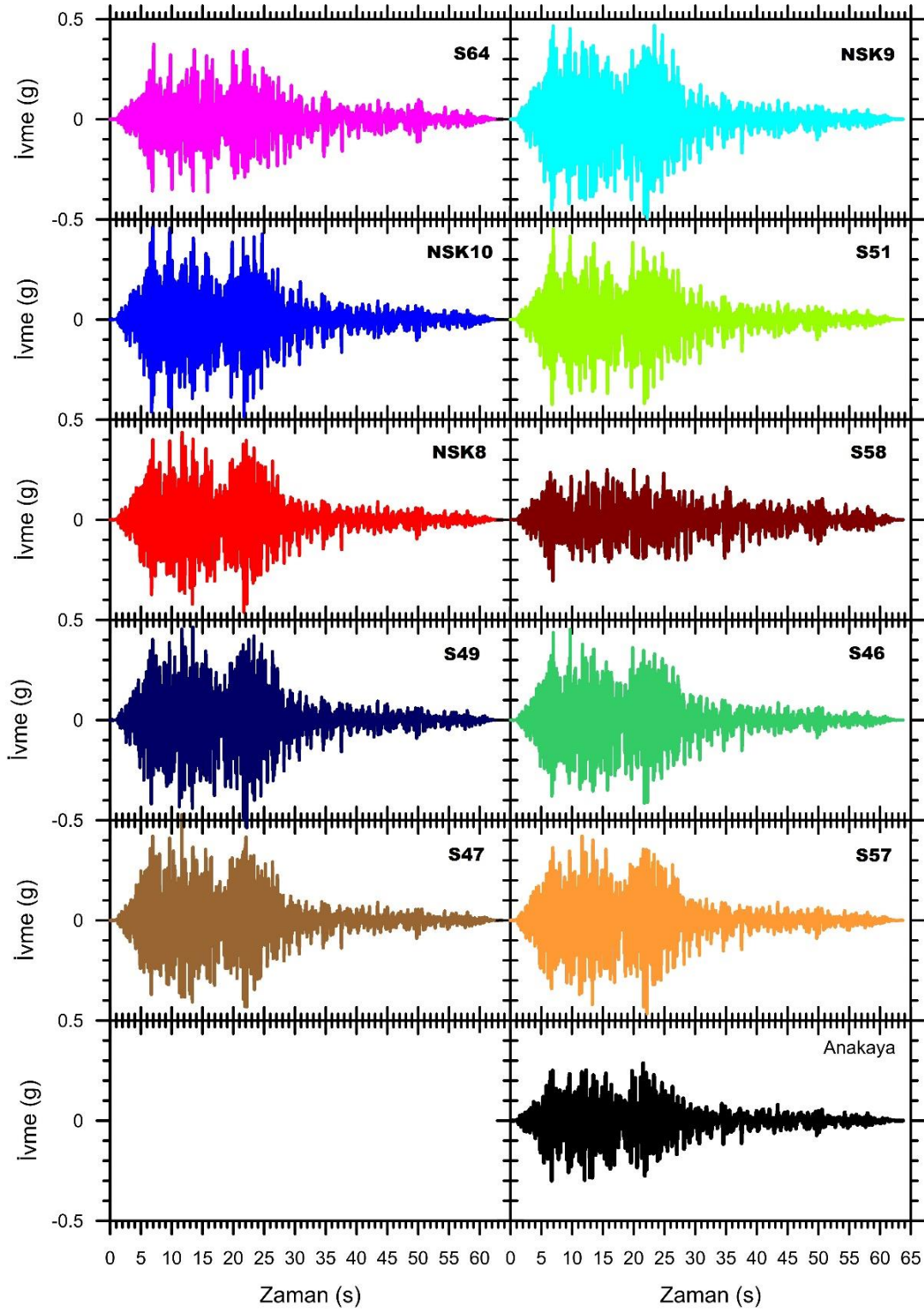
D2. Bölge 3 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



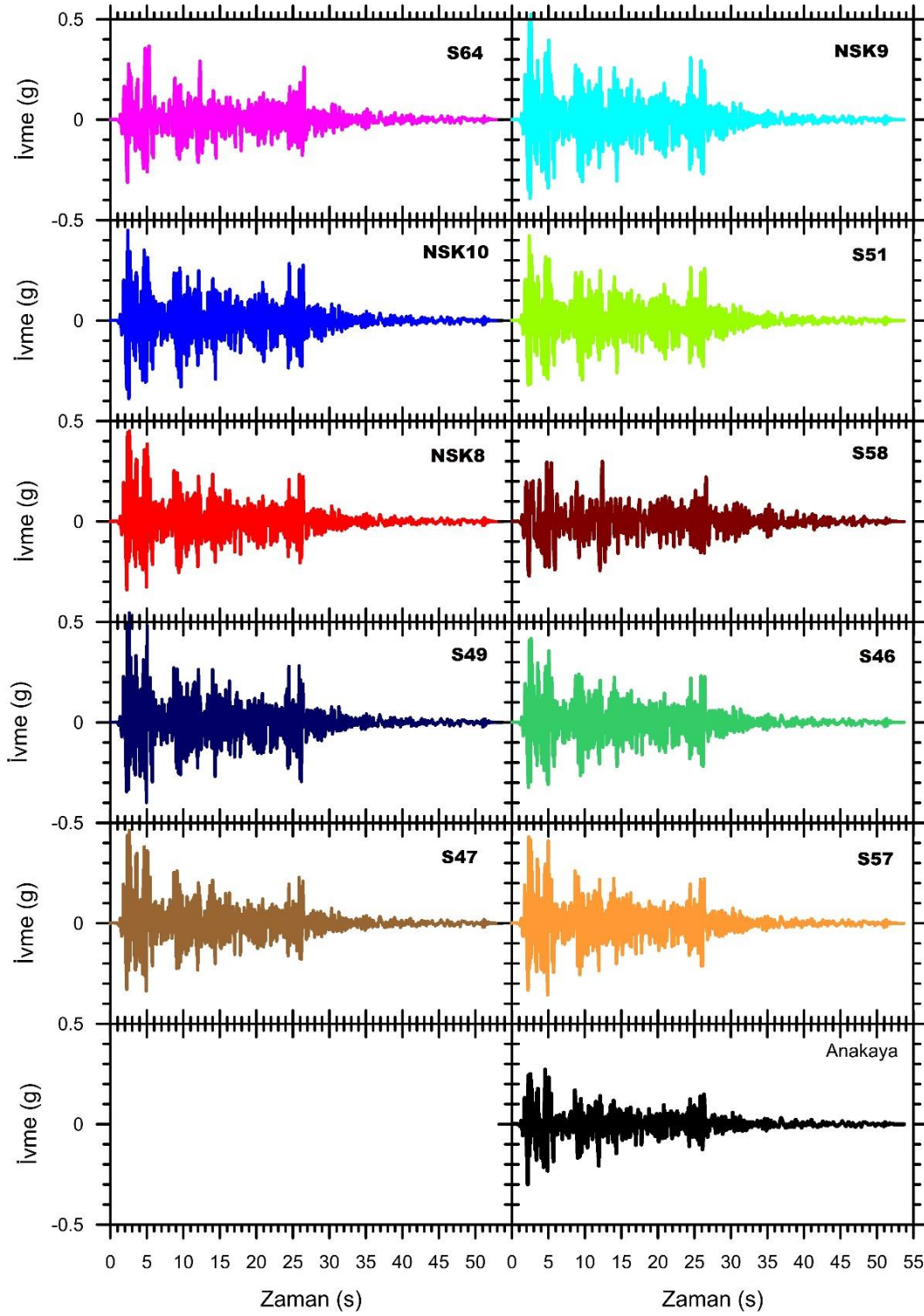
D3. Bölge 3 için Düzce1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



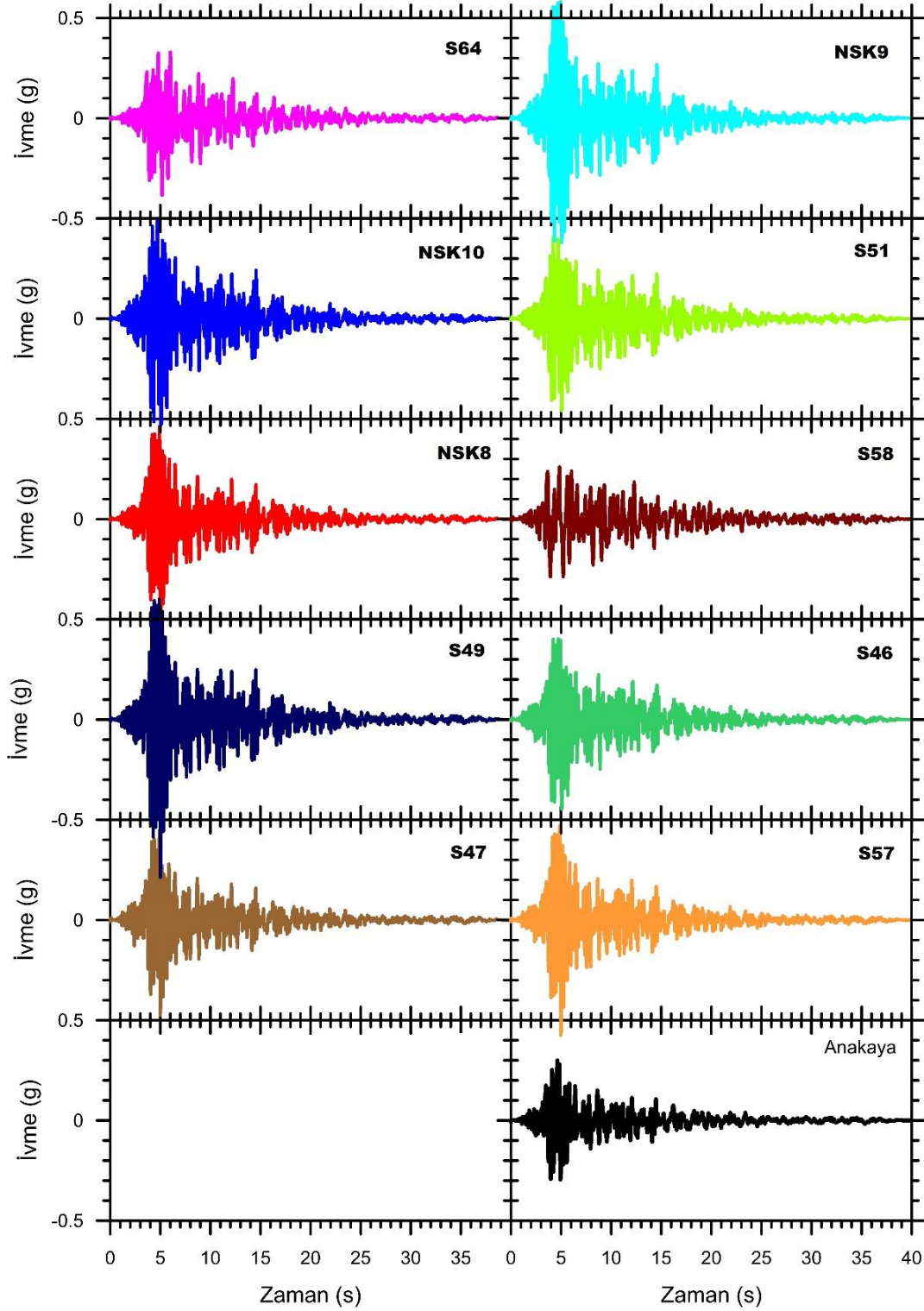
D4. Bölge 3 için Coyote 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



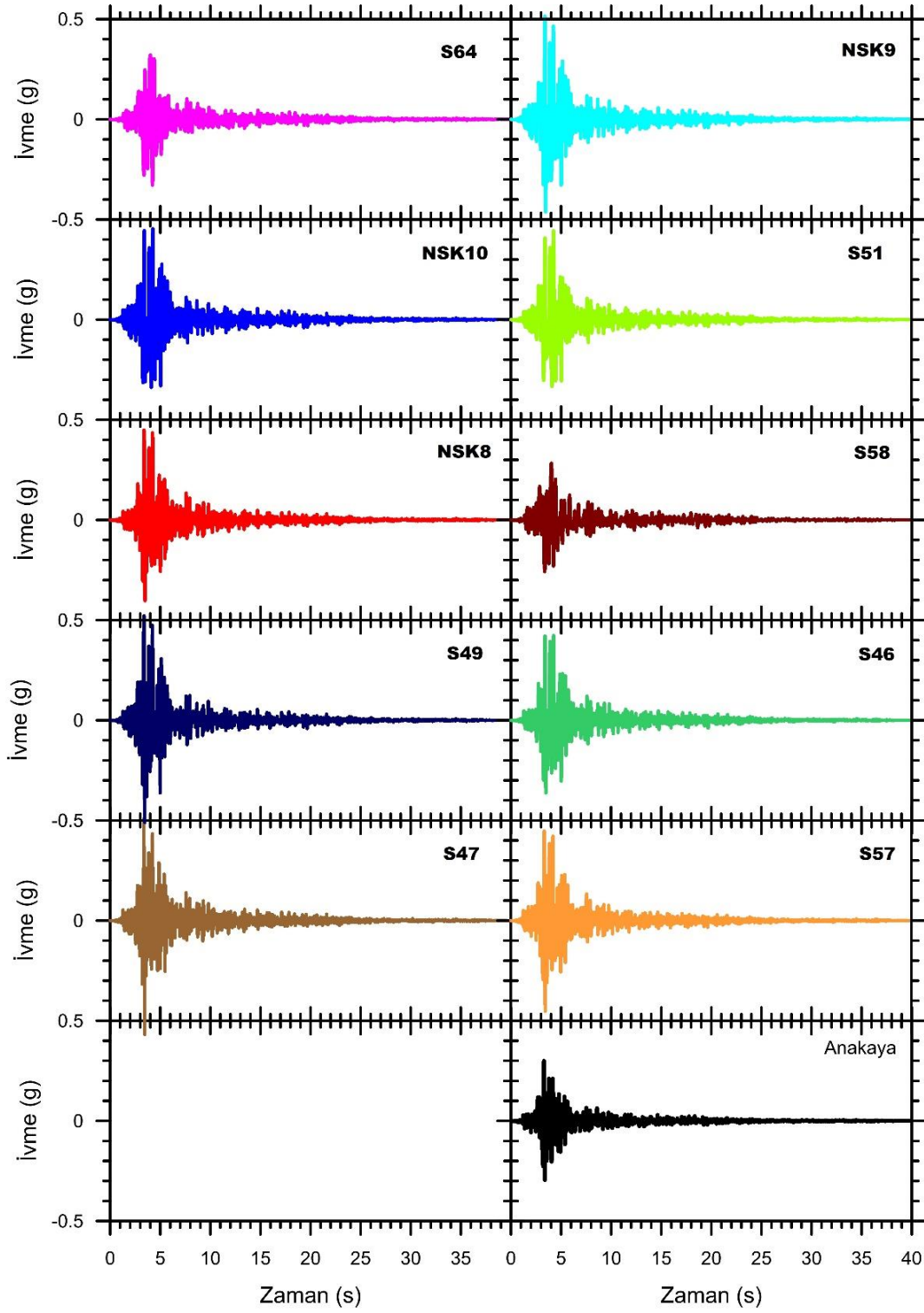
D5. Bölge 3 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



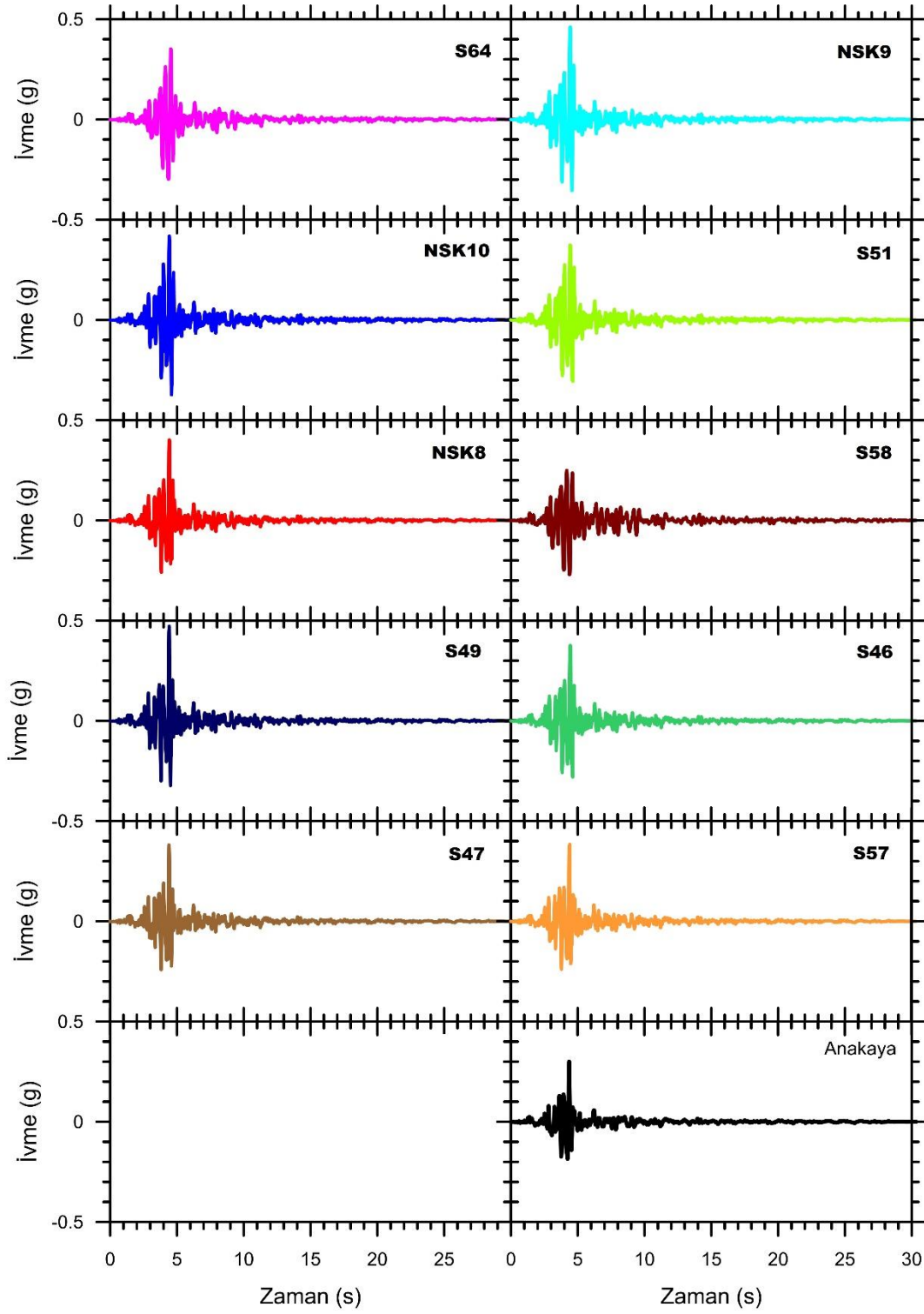
D6. Bölge 3 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



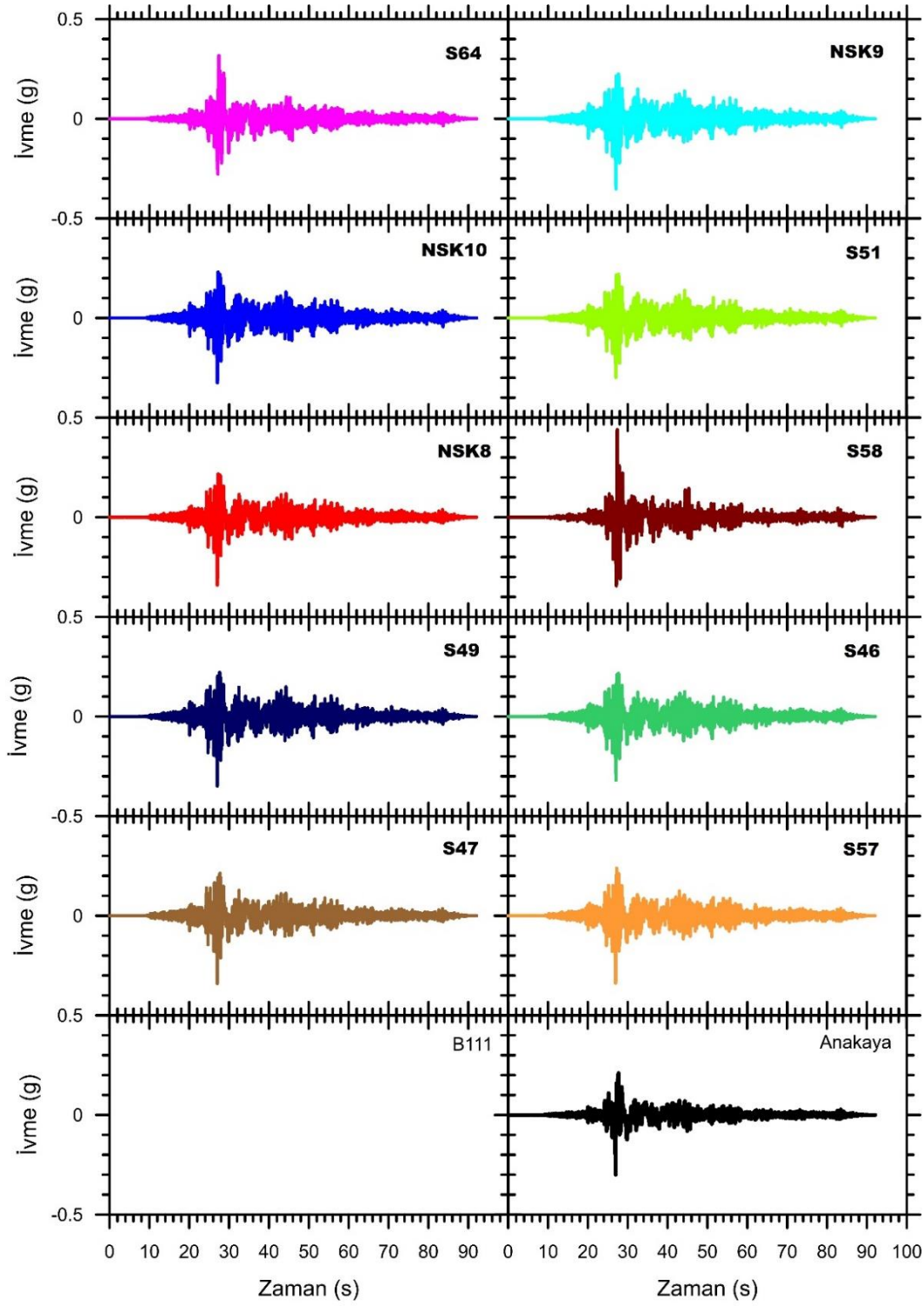
D7. Bölge 3 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



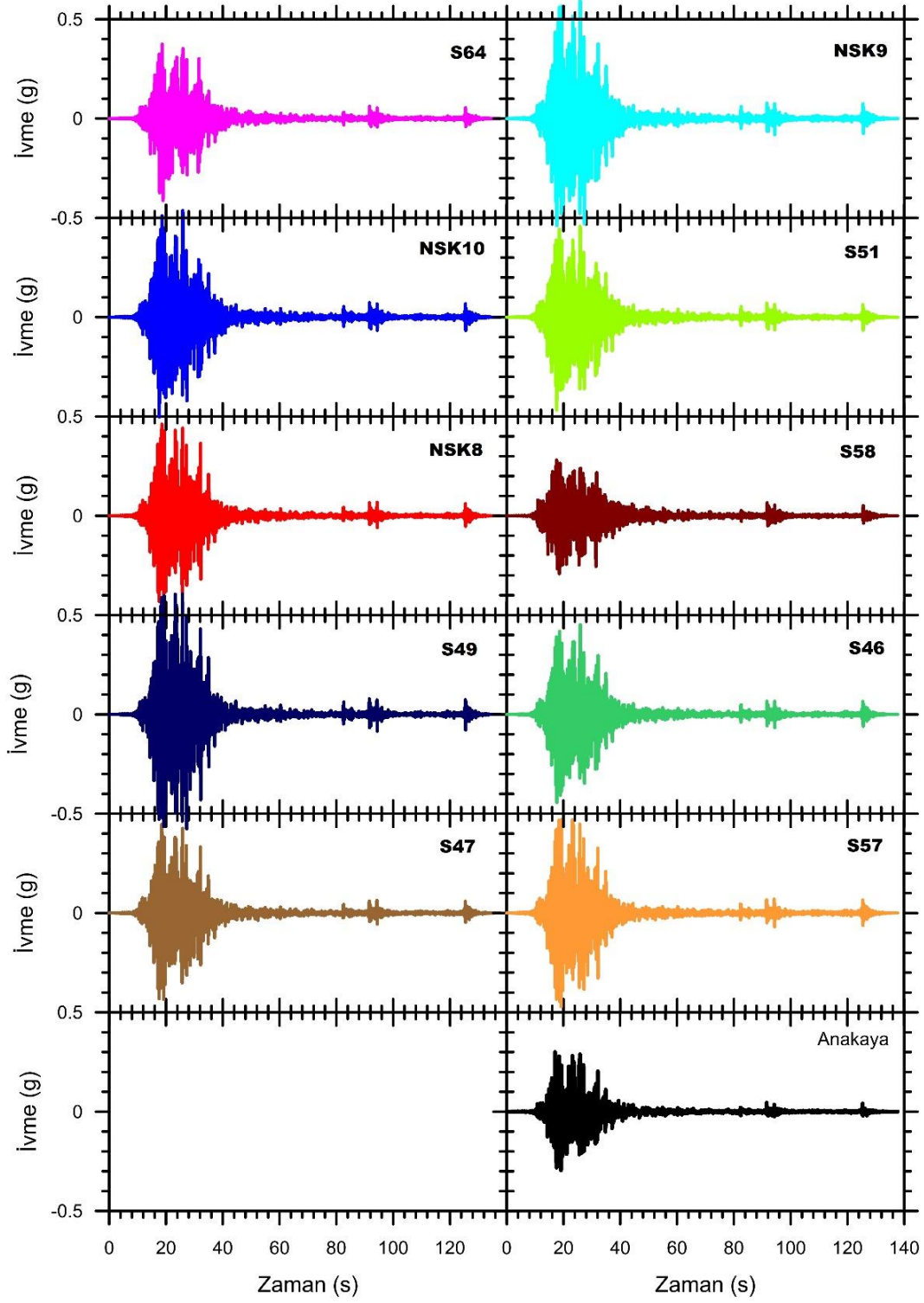
D8. Bölge 3 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



D9. Bölge 3 için Parkfield 1966 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

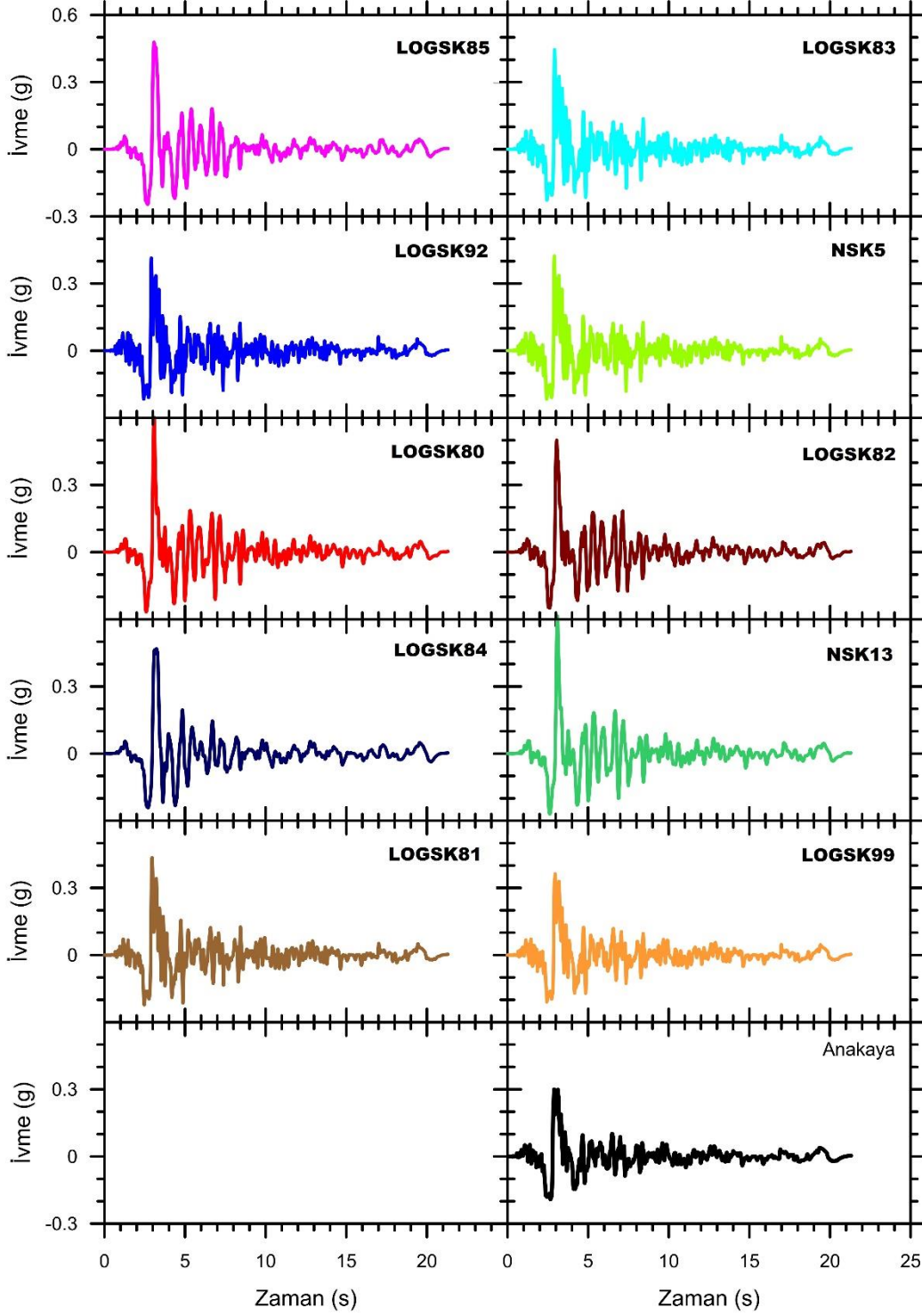


D10. Bölge 3 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

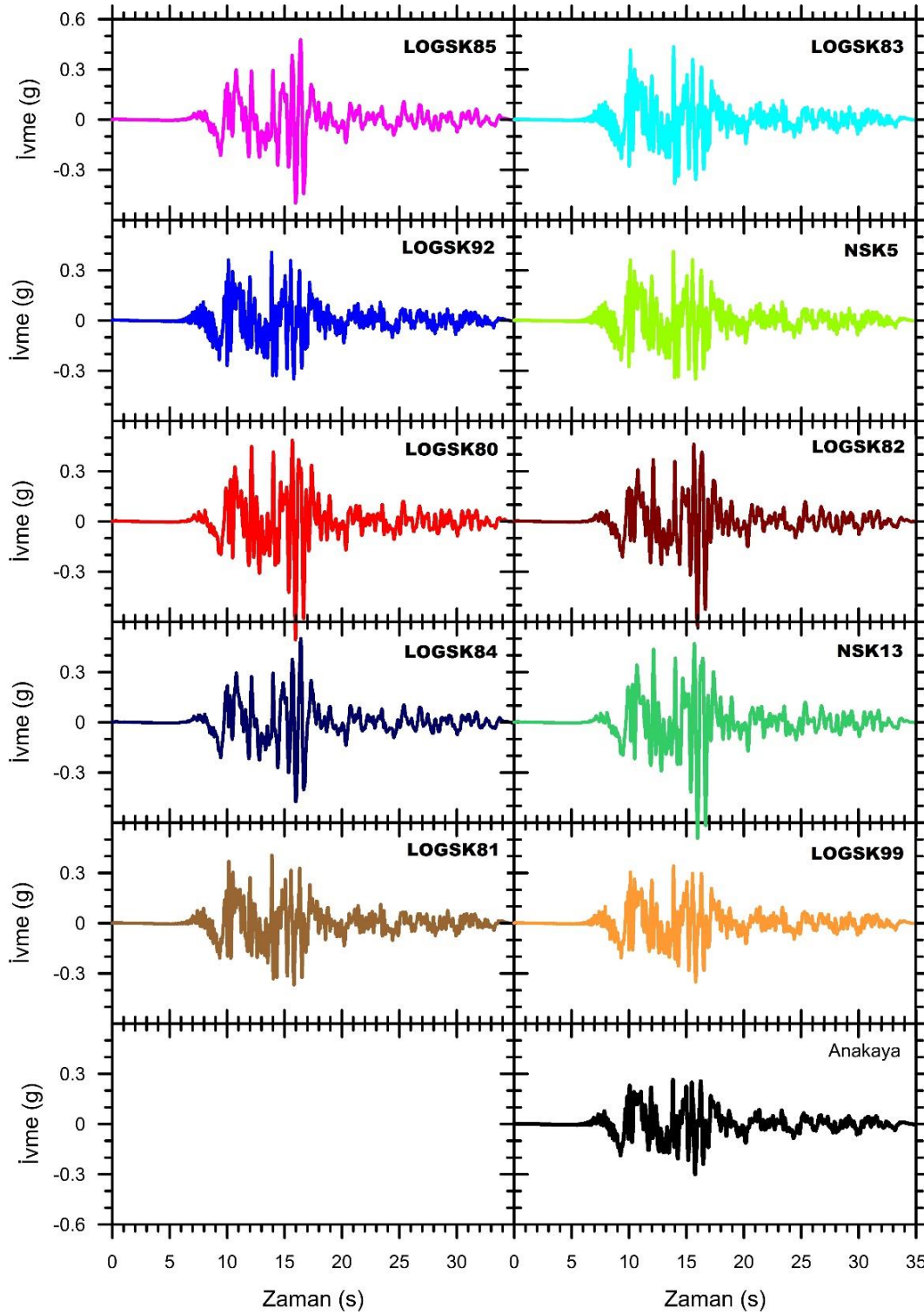


D11. Bölge 3 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

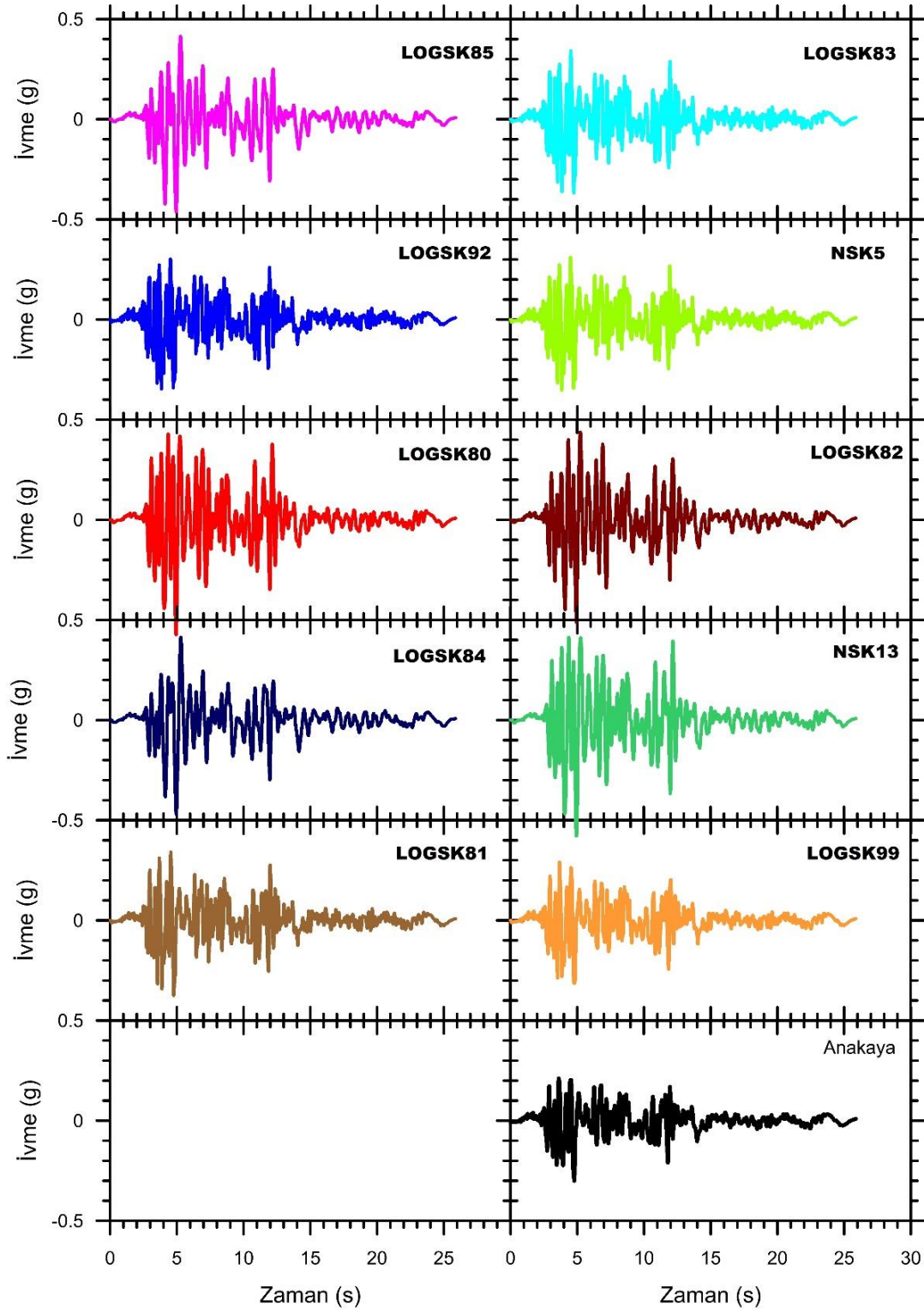
Ek Açıklama E:Bölge 4 11 farklı deprem verilerine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemleri sonuçları



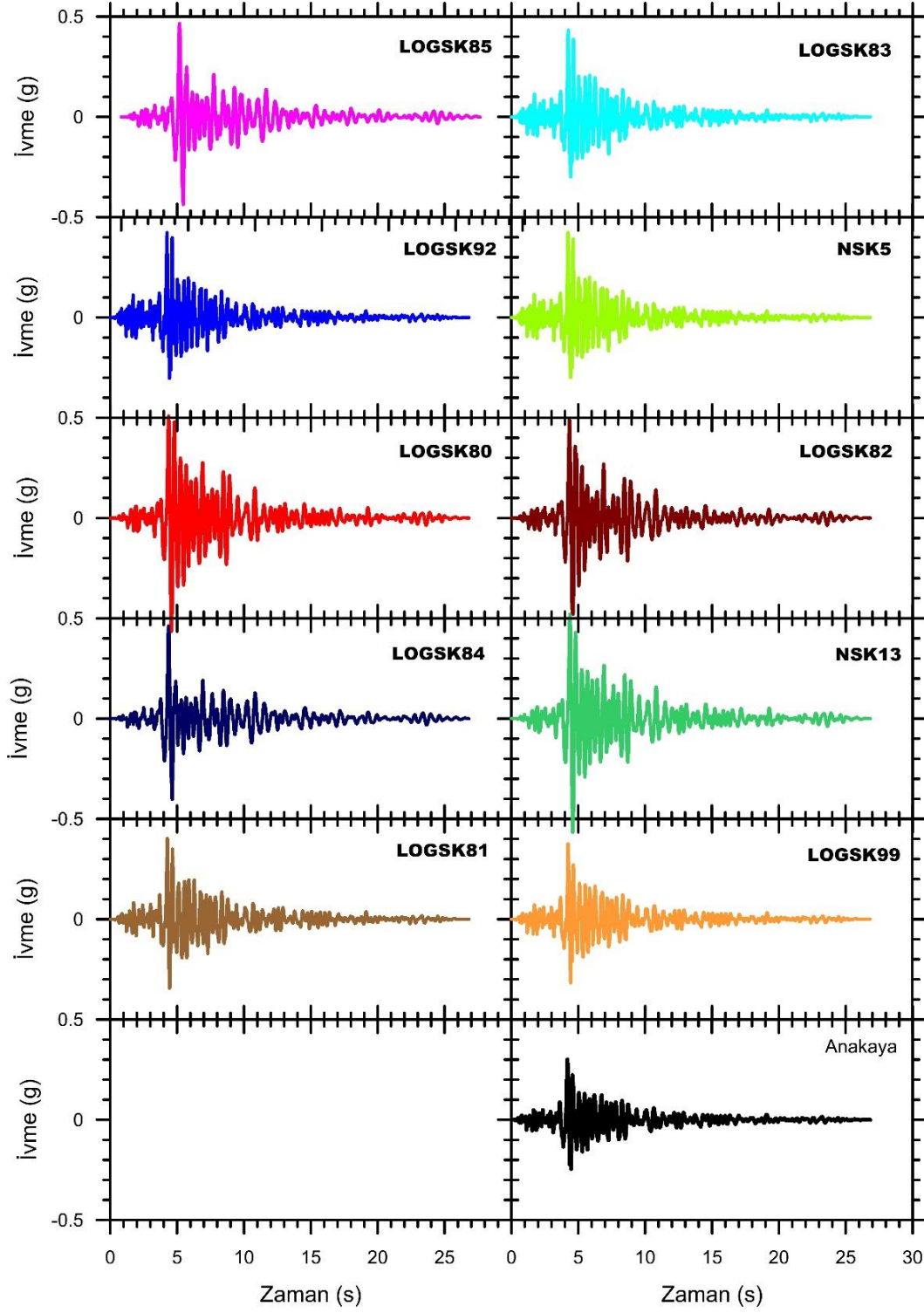
E1. Bölge 4 için Erzincan 1992 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



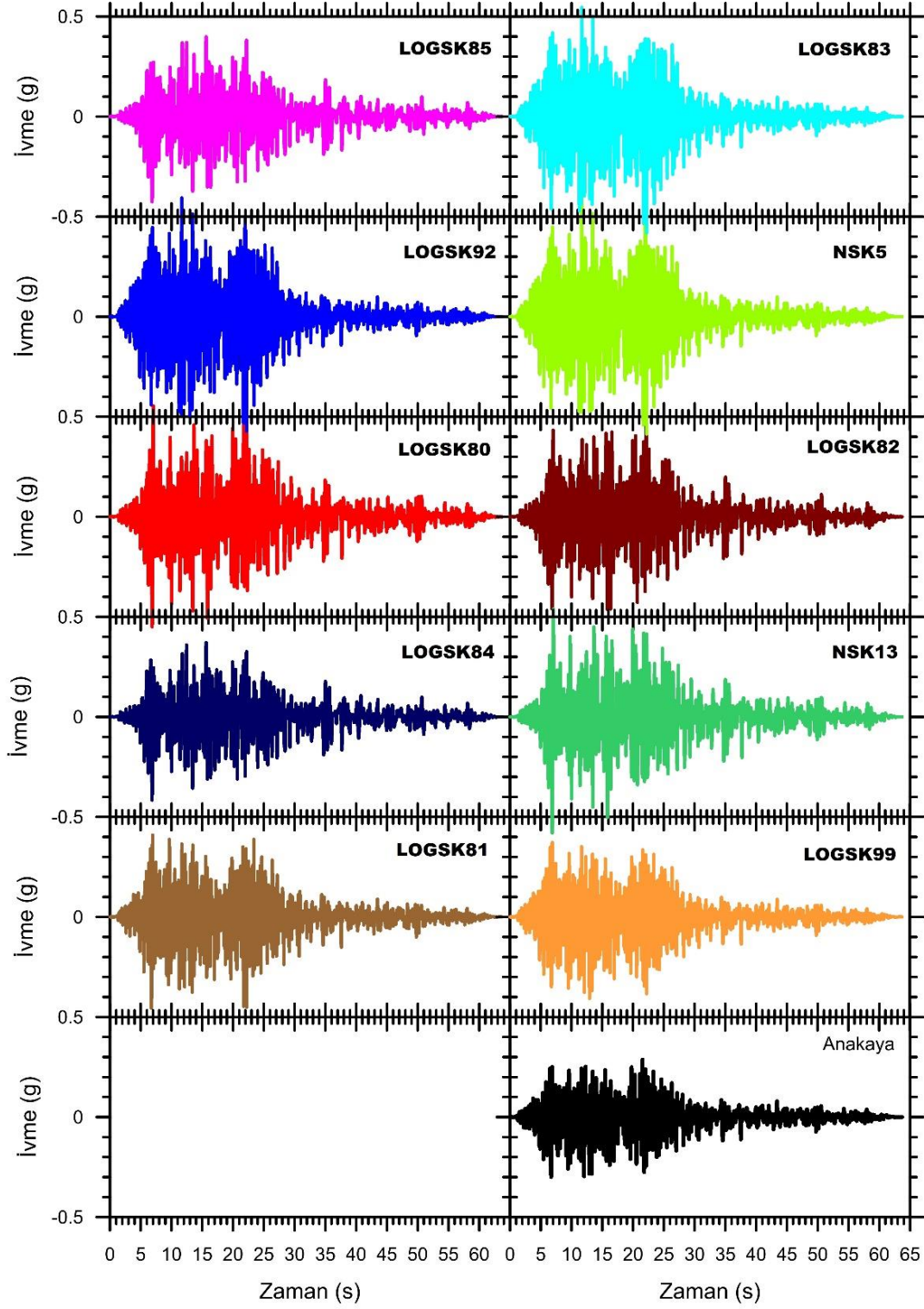
E2. Bölge 4 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



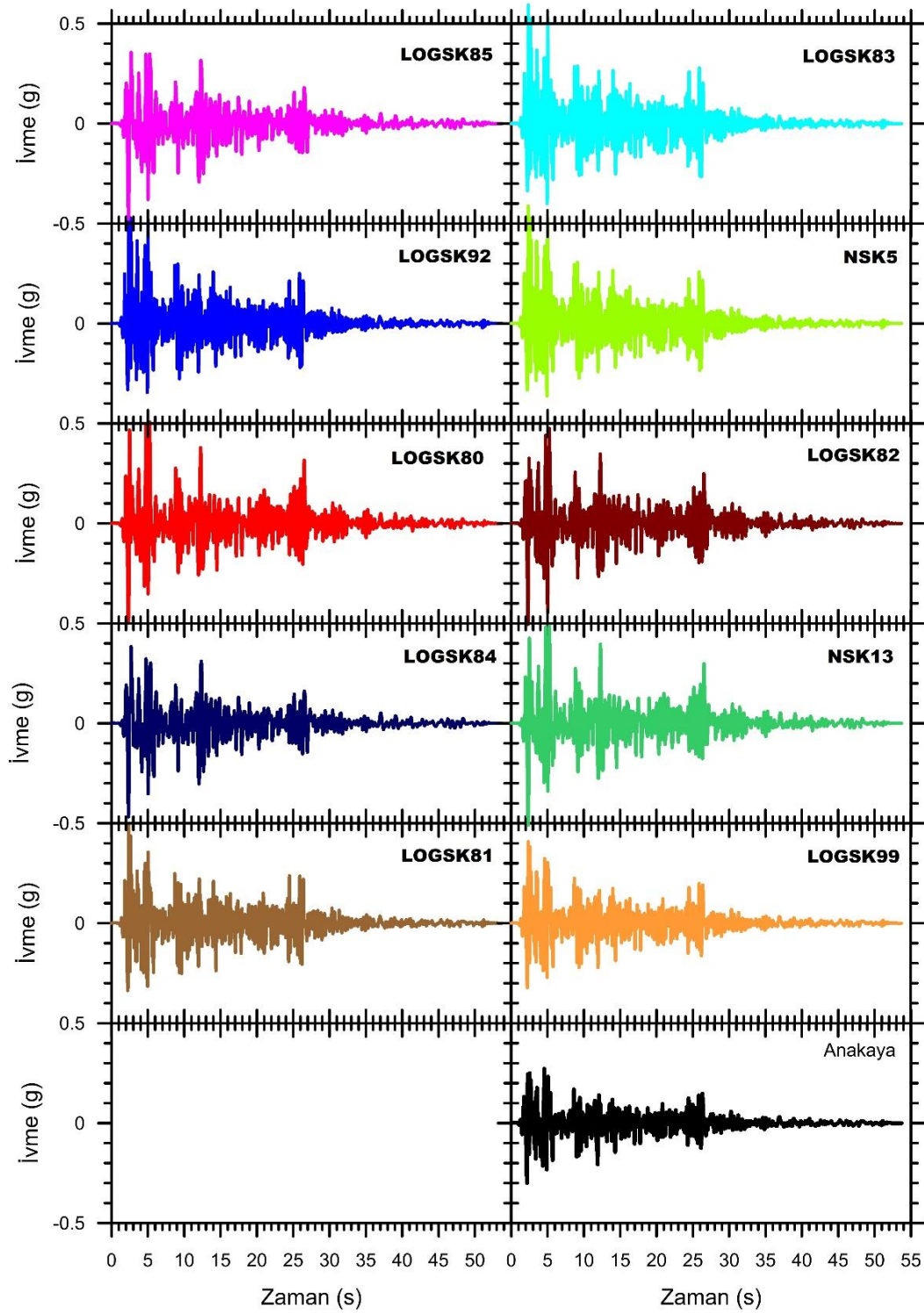
E3. Bölge 4 için Düzce1999 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



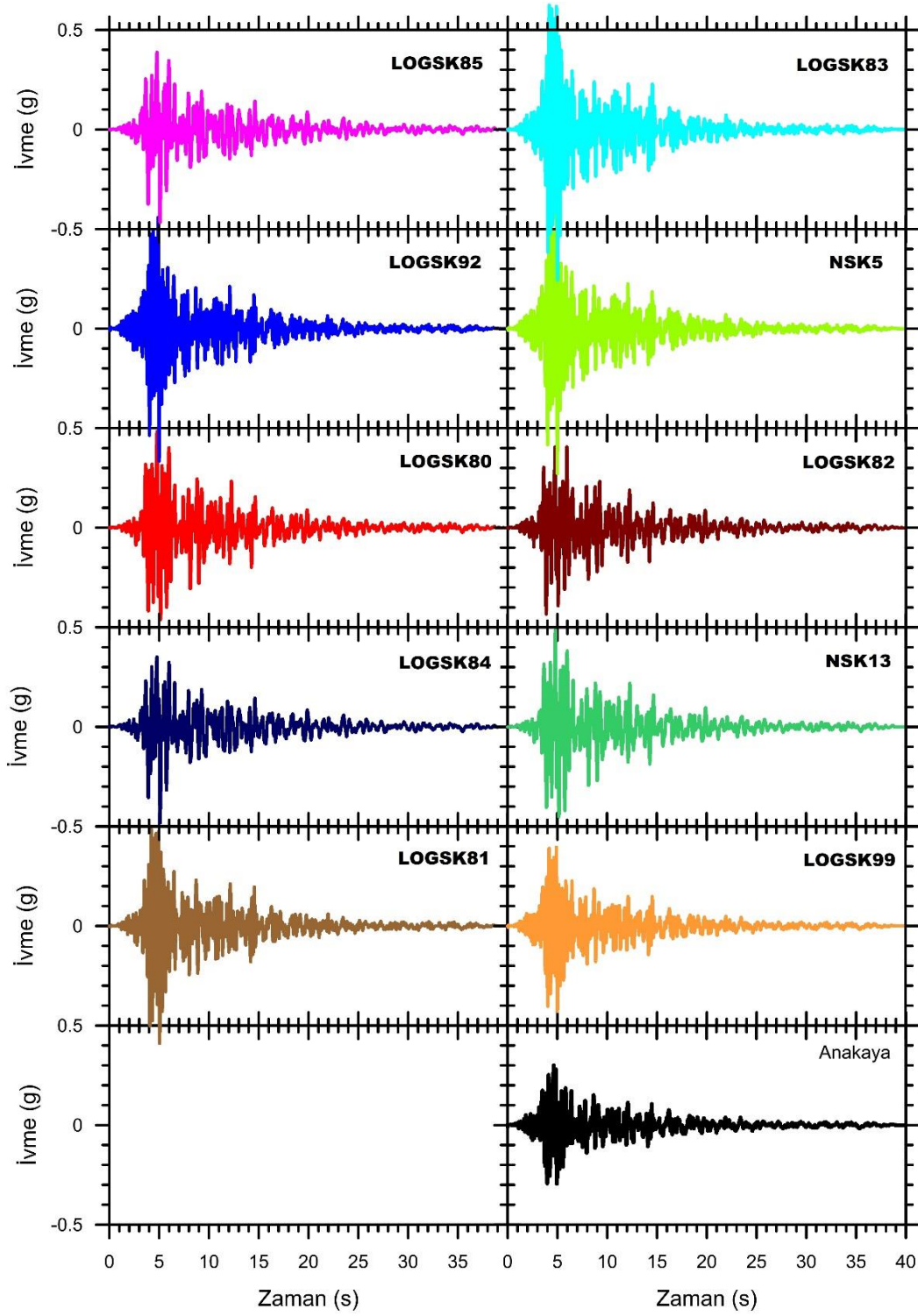
E4. Bölge 4 için Coyote 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



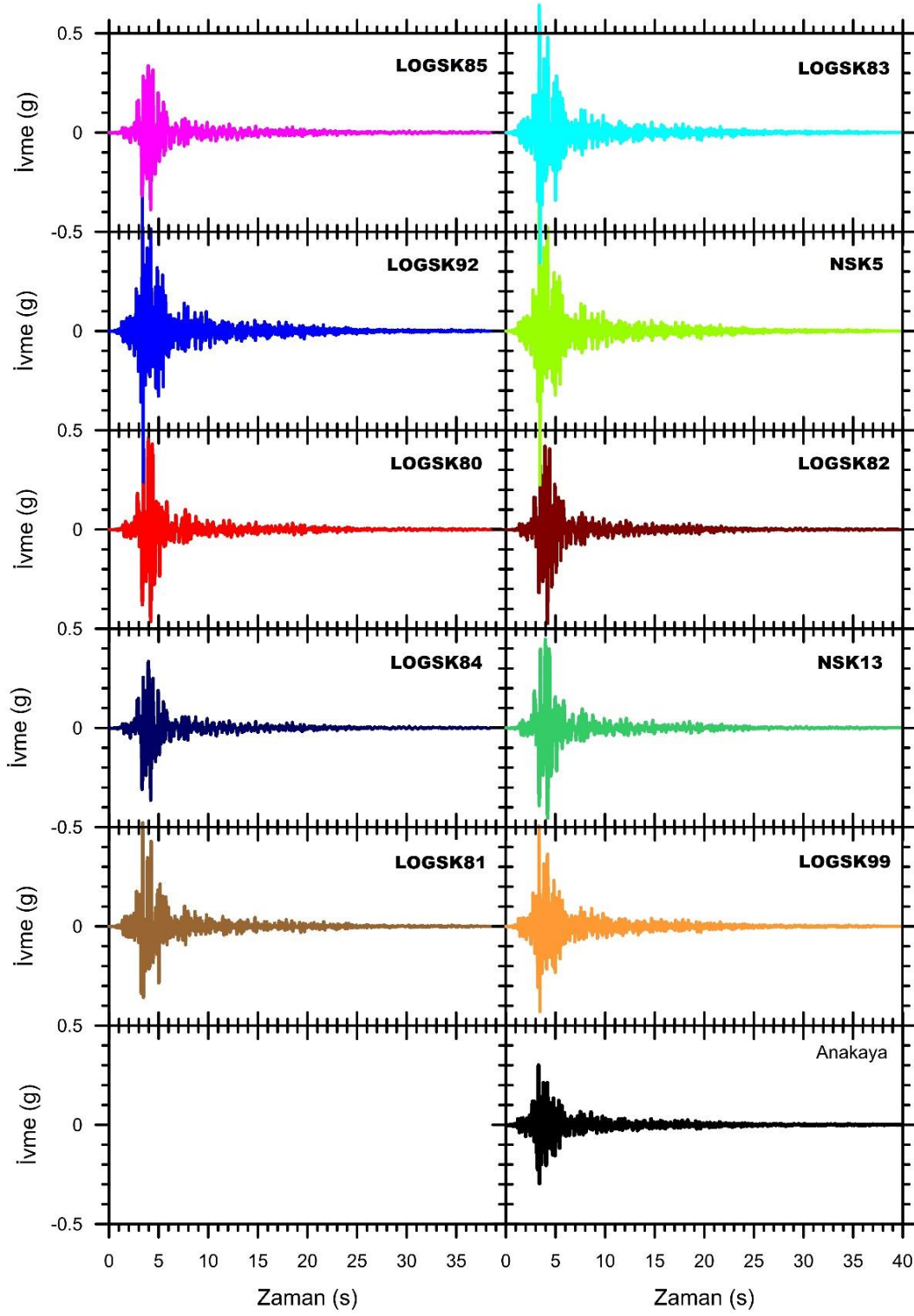
E5. Bölge 4 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



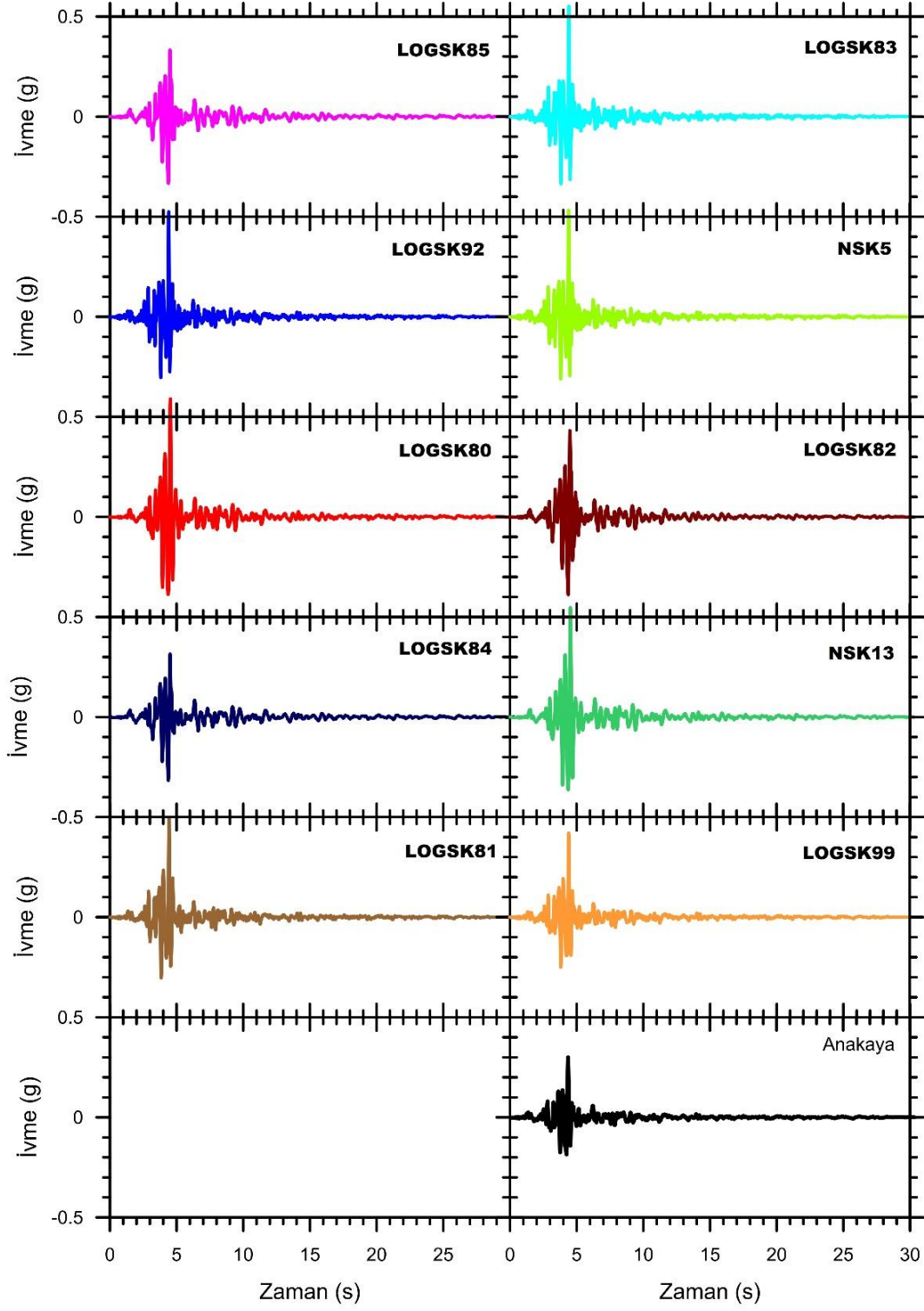
E6. Bölge 4 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



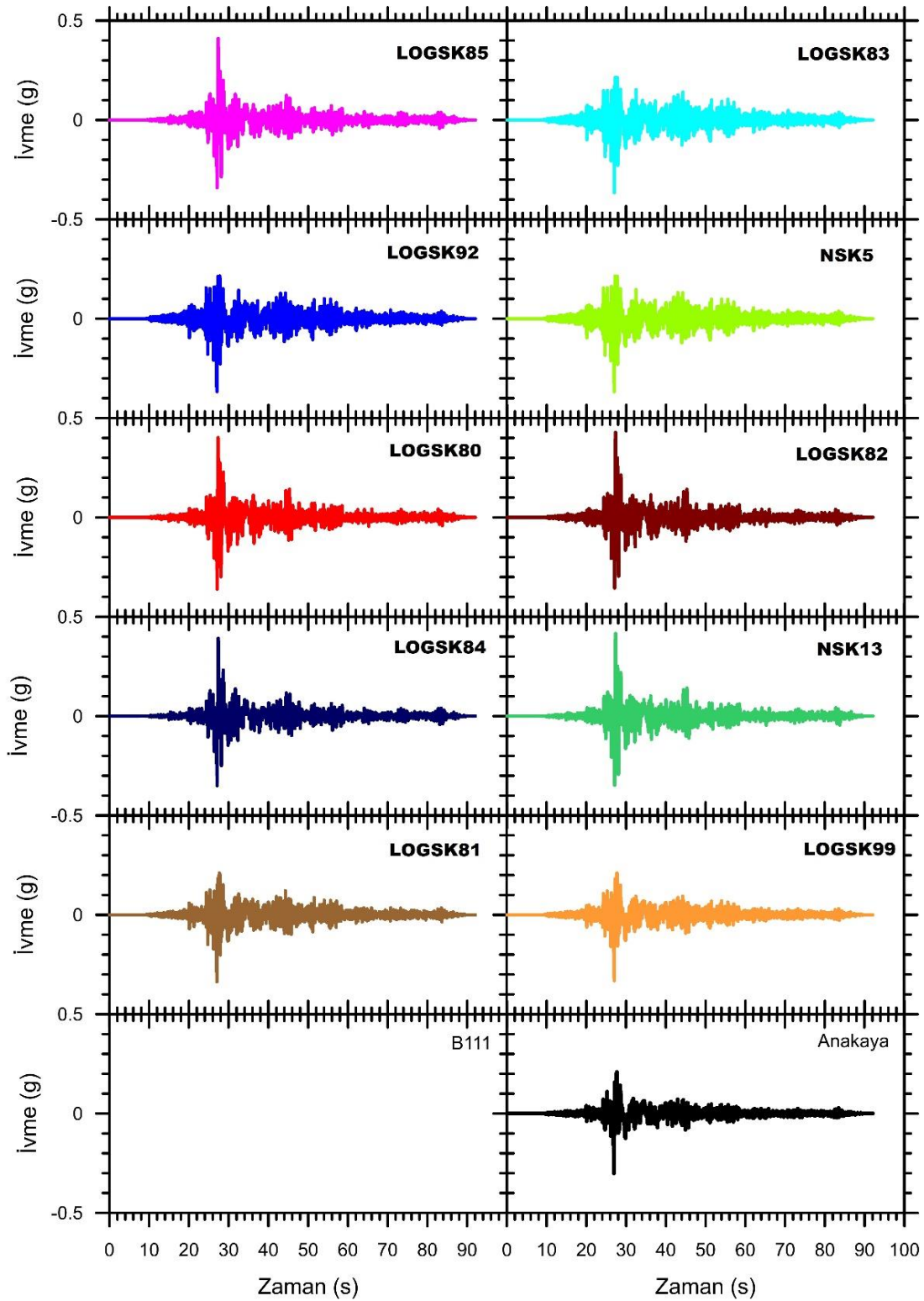
E7. Bölge 4 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



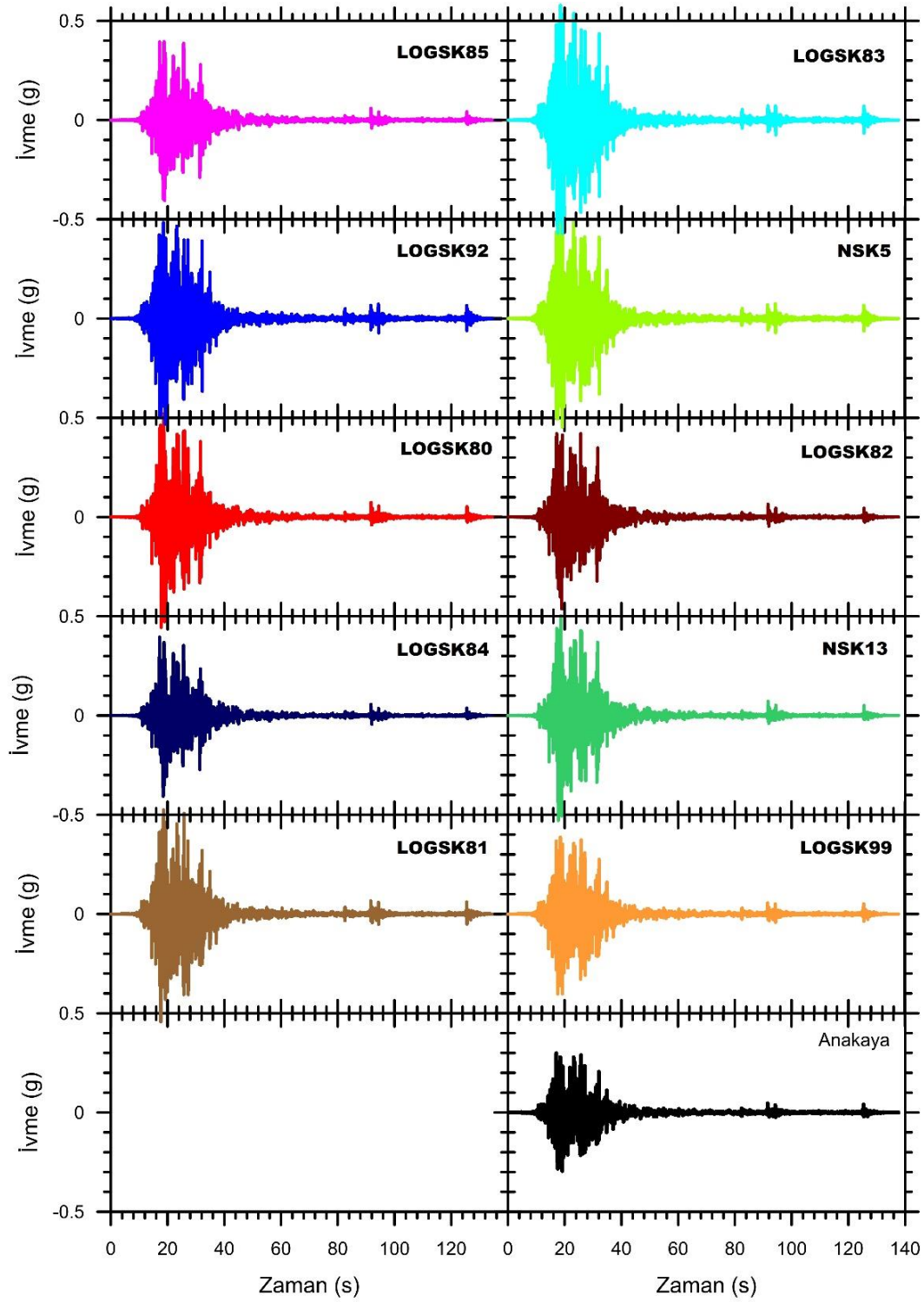
E8. Bölge 4 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



E9. Bölge 4 için Parkfield 1966 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

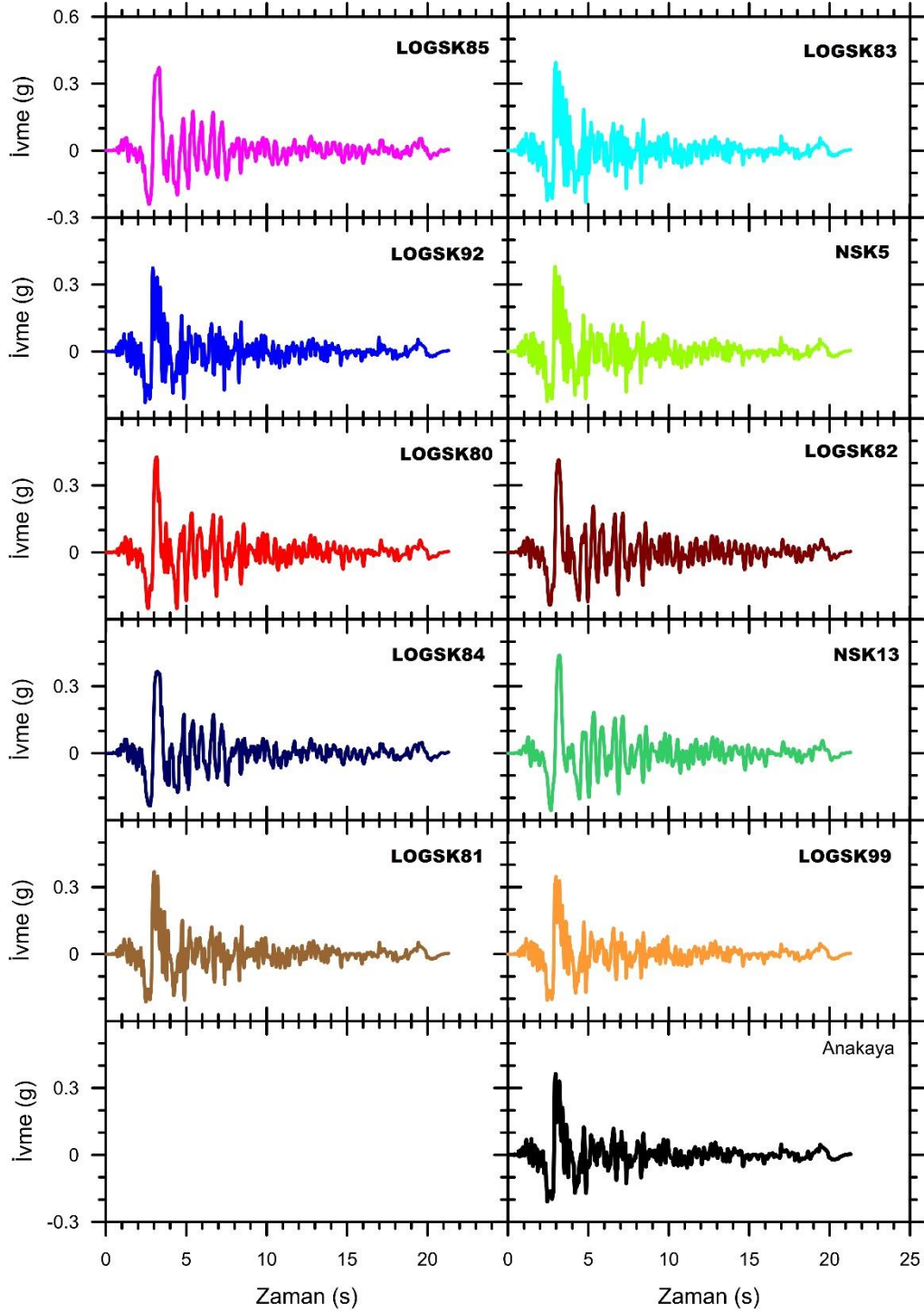


E10. Bölge 4 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

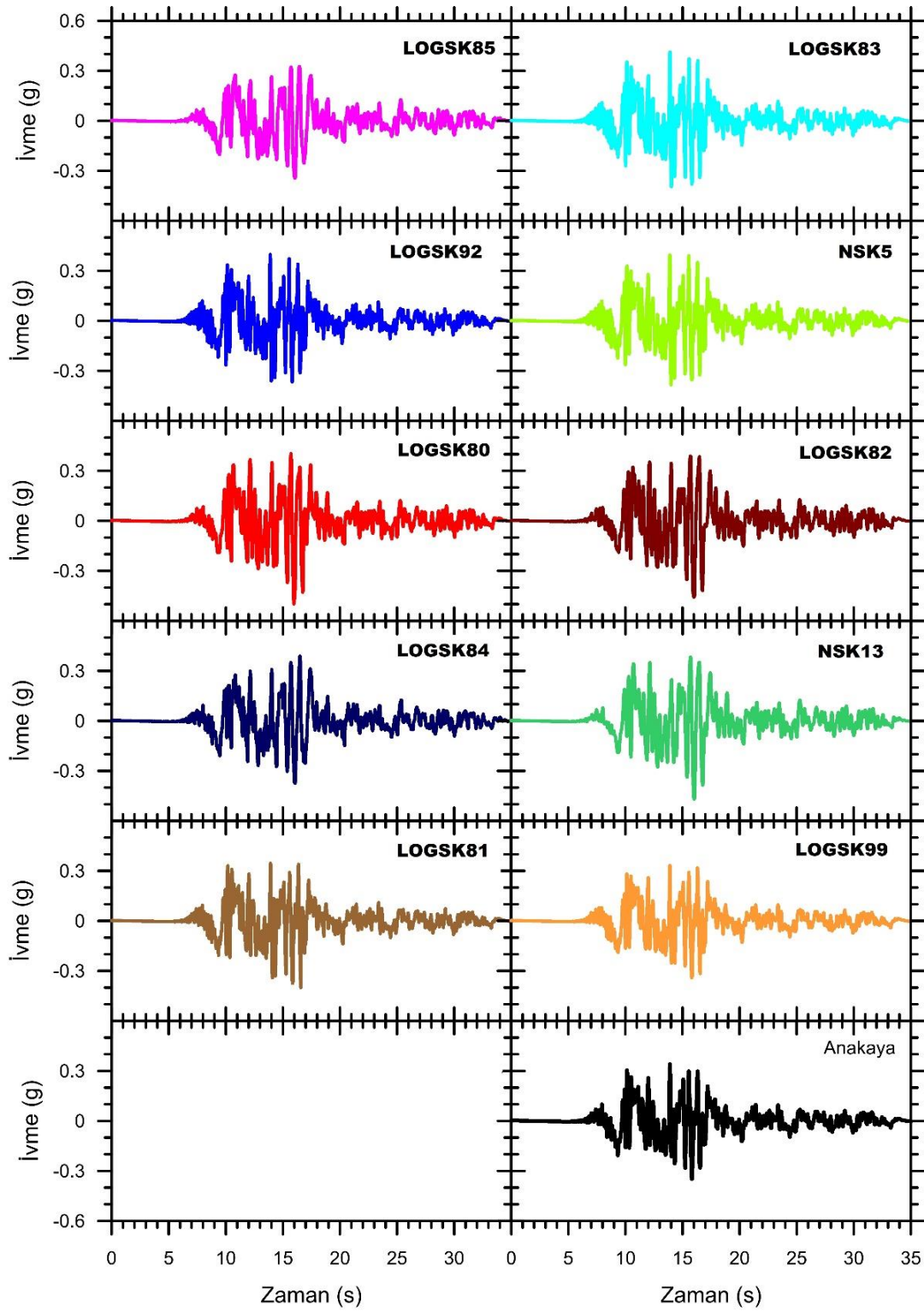


E11. Bölge 4 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri

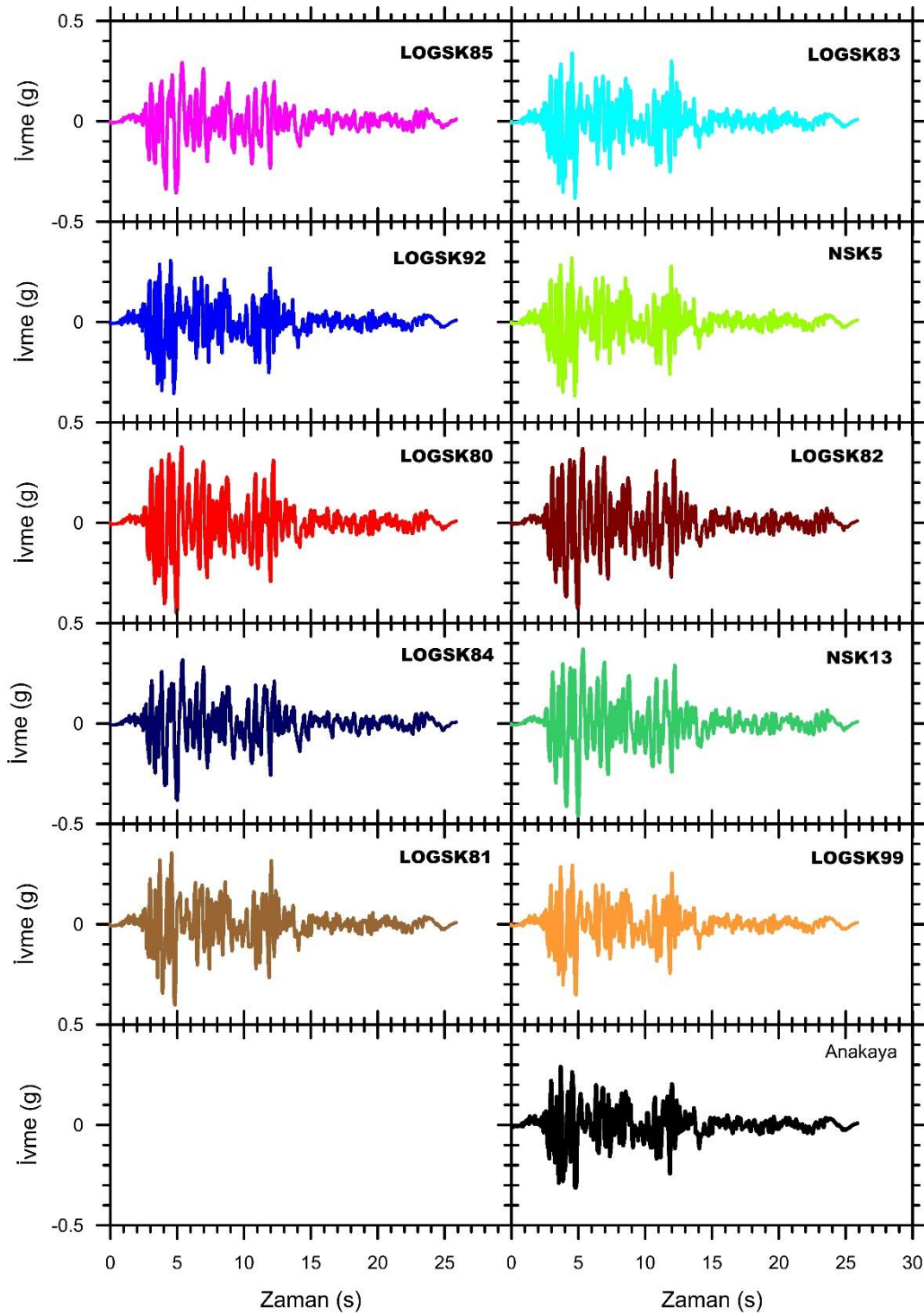
Ek Açıklama F:Bölge 4 11 farklı deprem verilerine göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri sonuçları



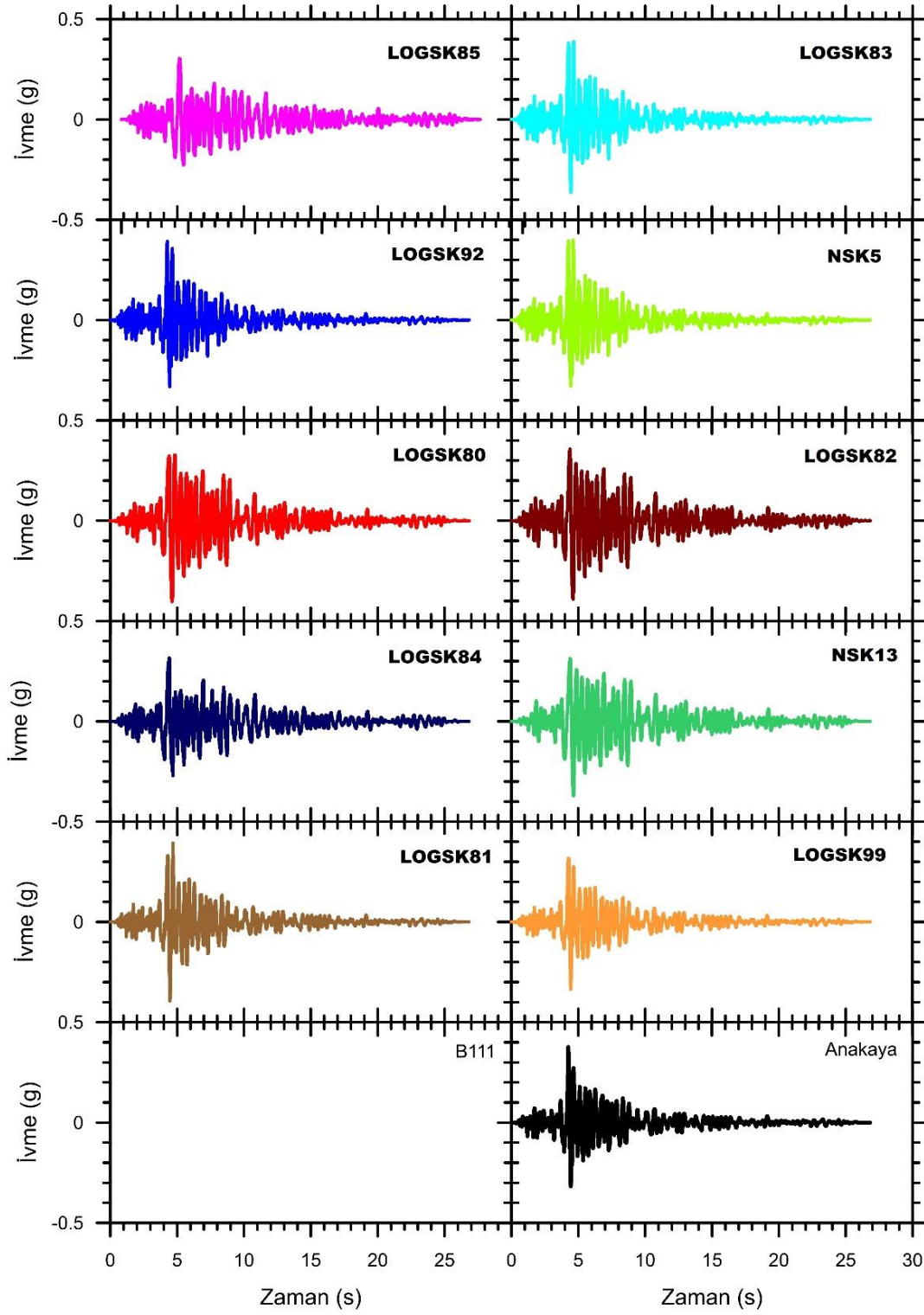
F1. Bölge 4 için Erzincan 1992 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



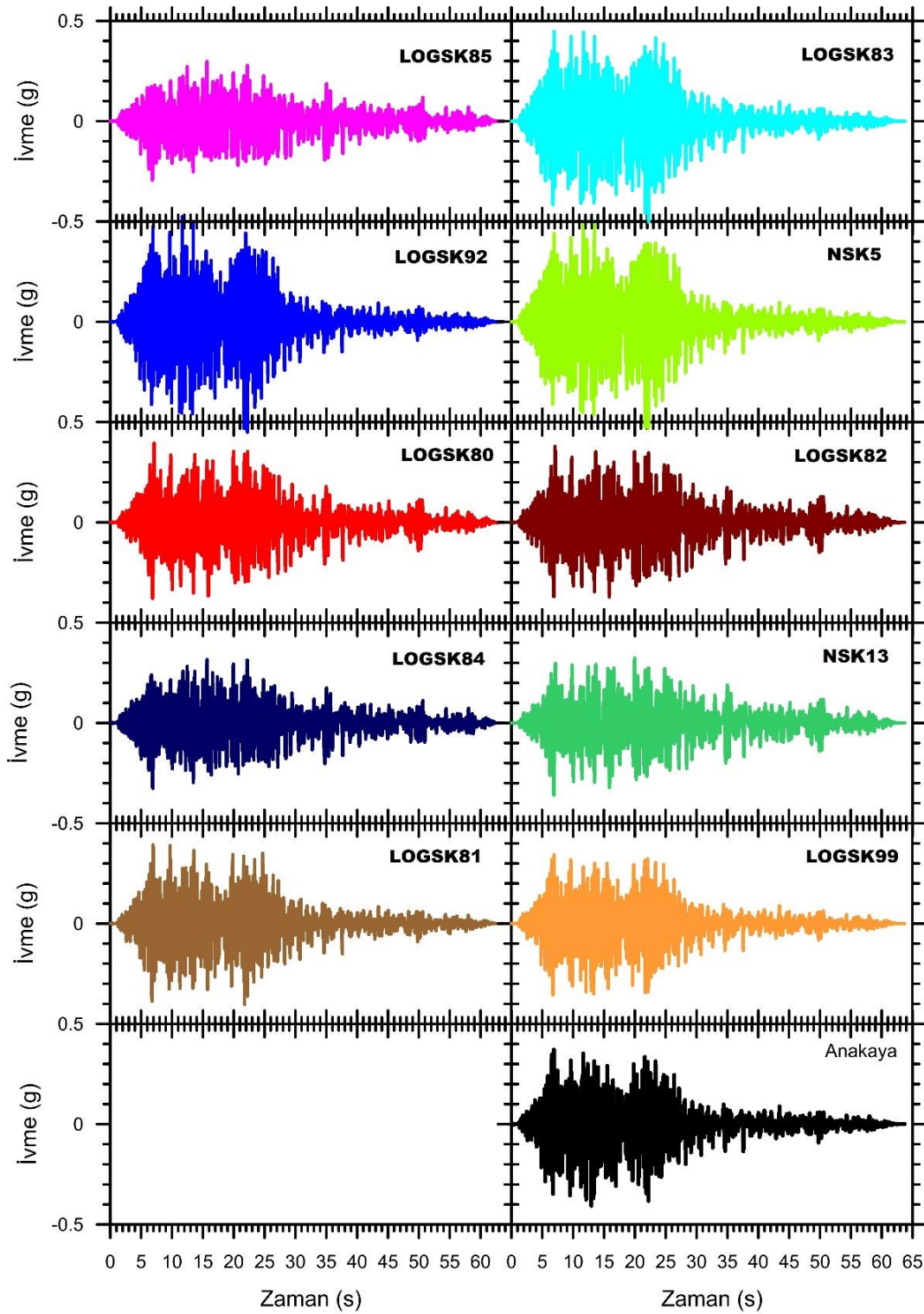
F2. Bölge 4 için Kocaeli-Yarımca 1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



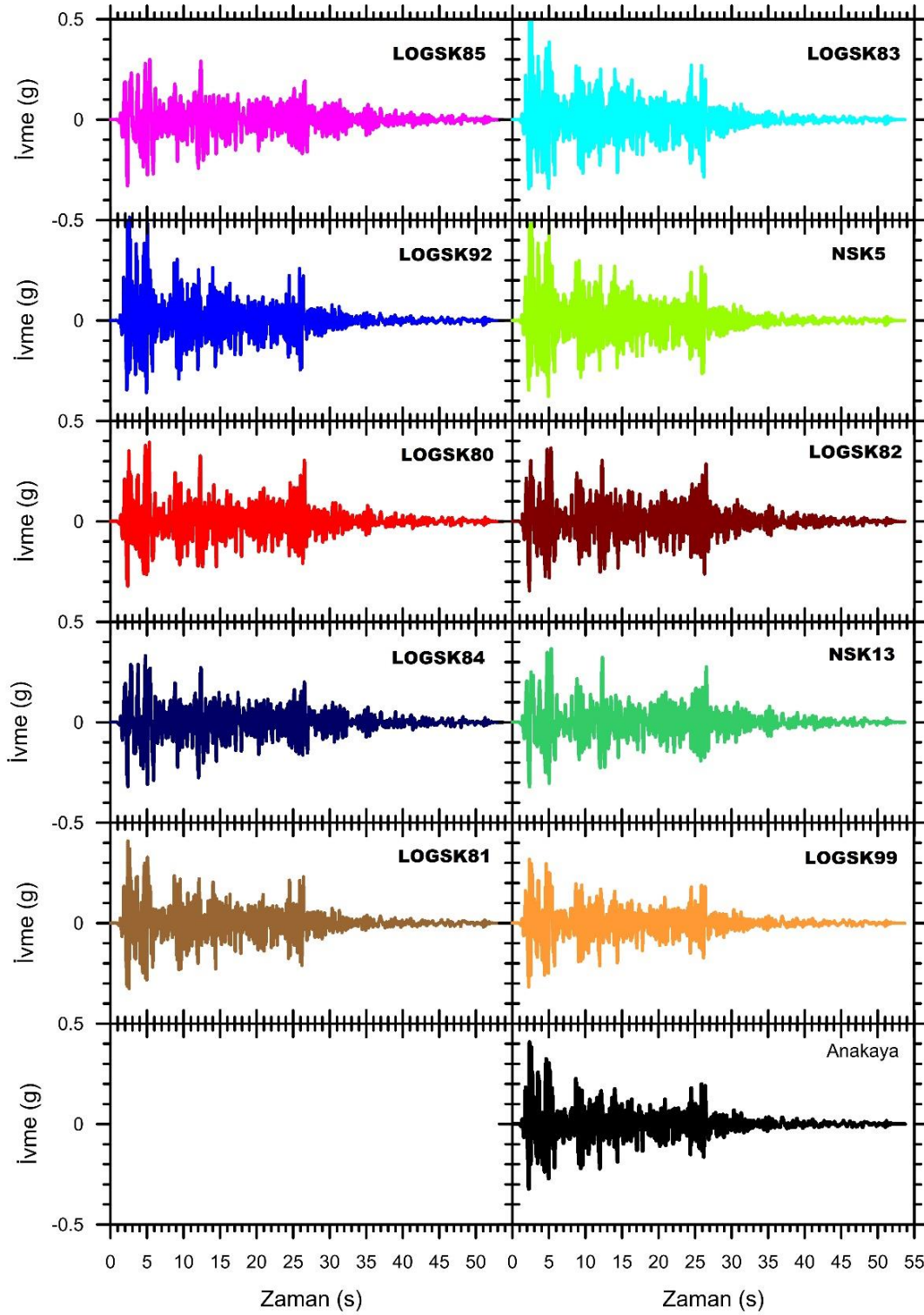
F3. Bölge 4 için Düzce1999 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



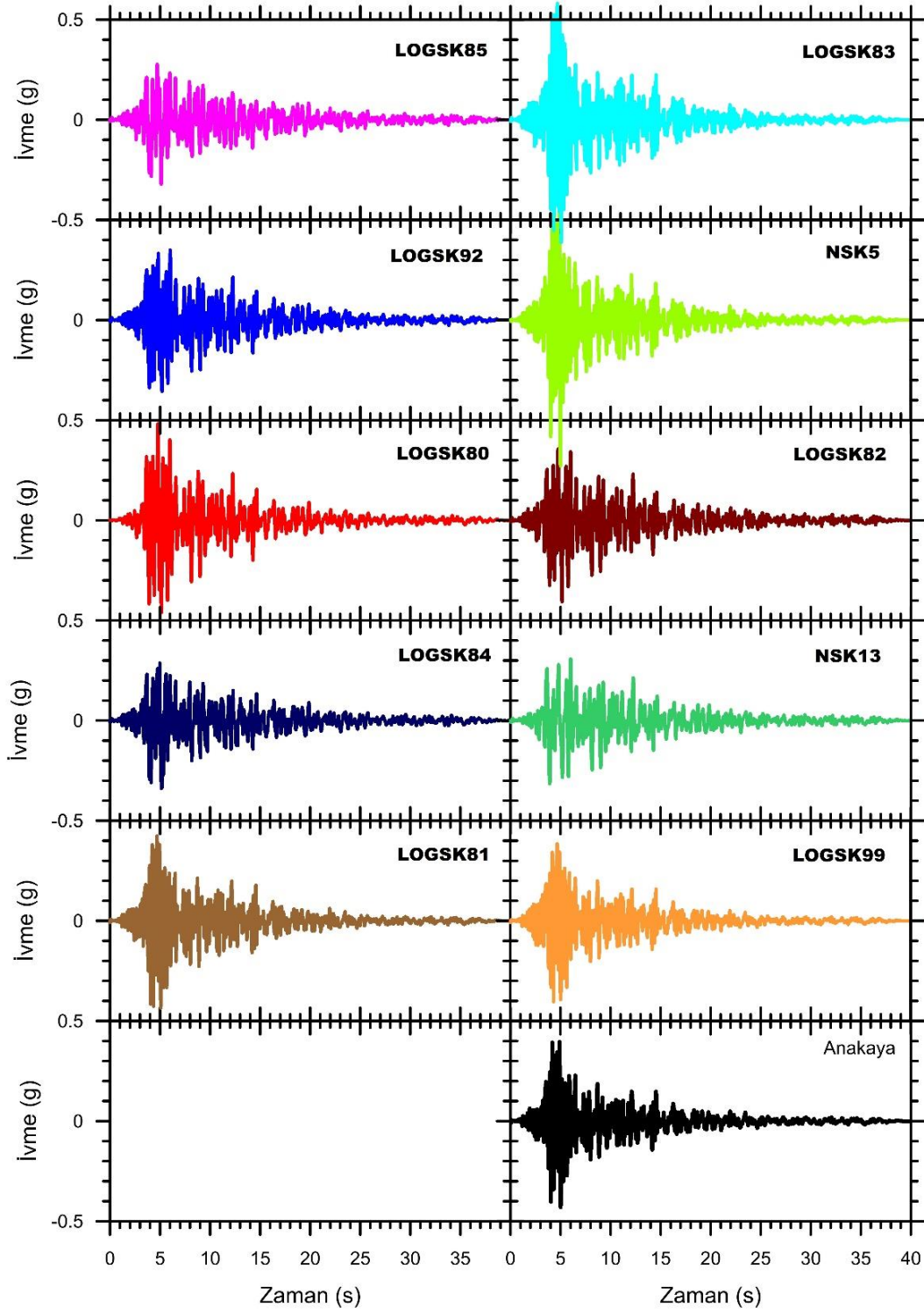
F4. Bölge 4 için Coyote 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



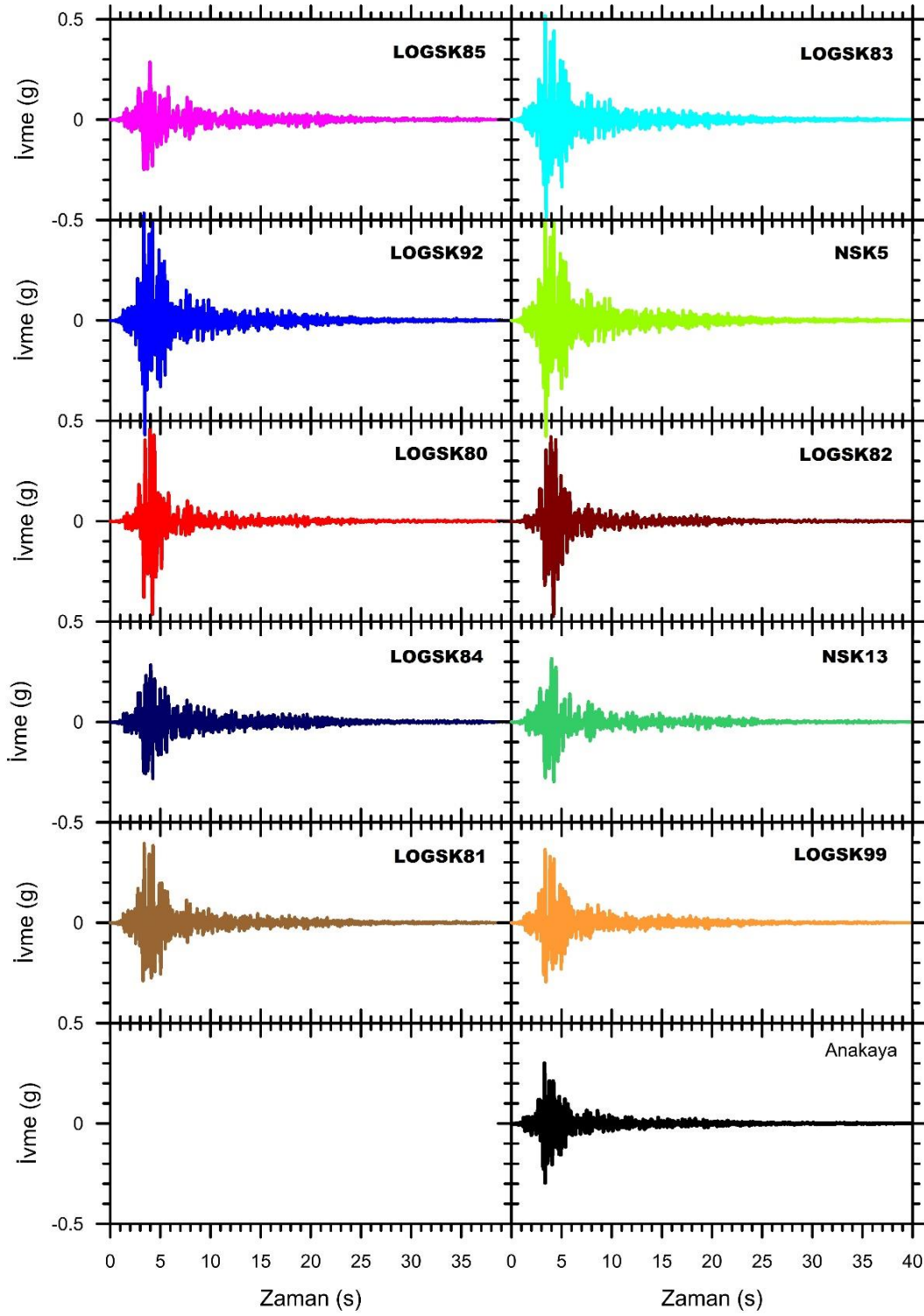
F5. Bölge 4 için Imperial Valley 1 1979 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



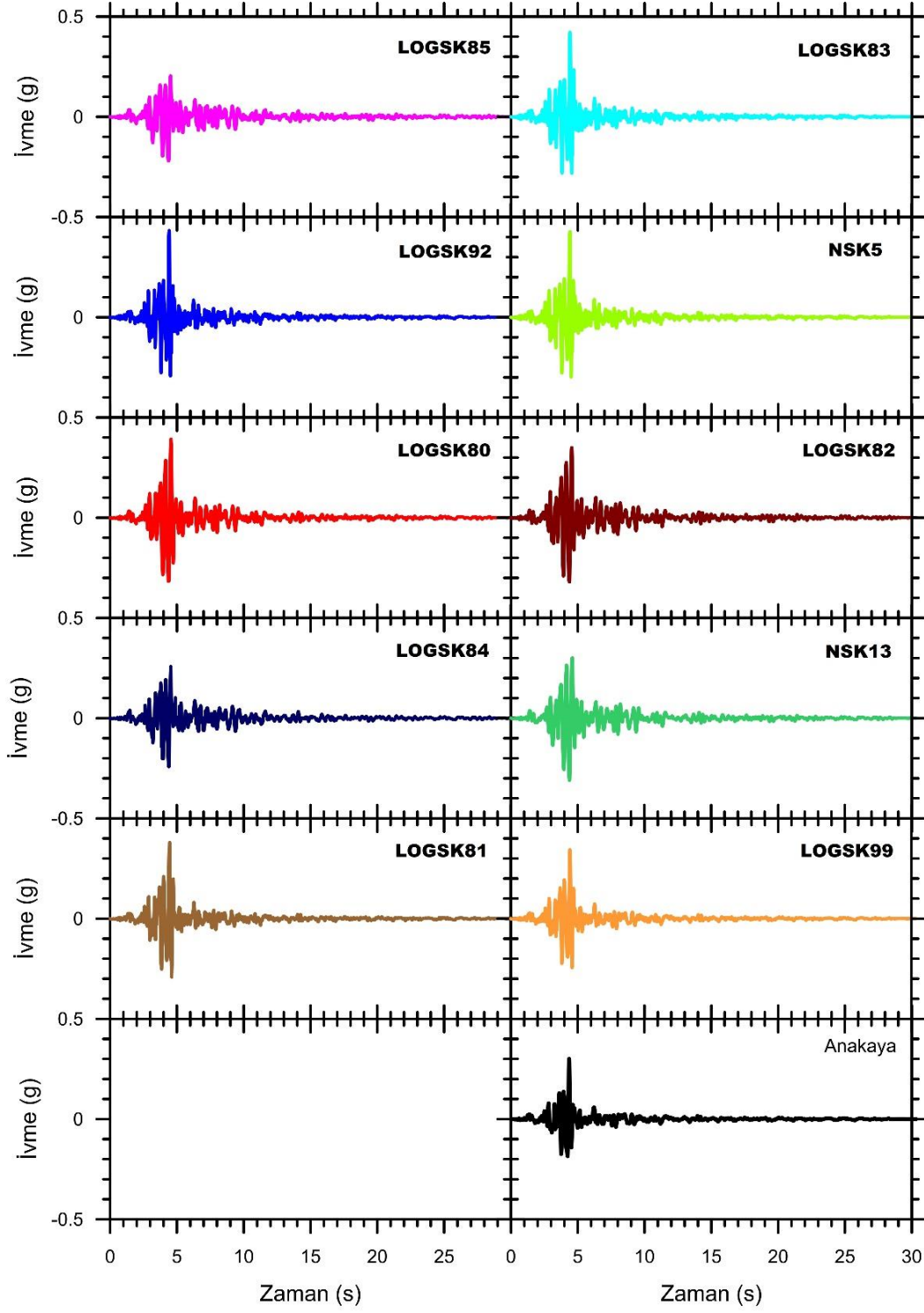
F6. Bölge 4 için Imperial Valley 2 1940 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



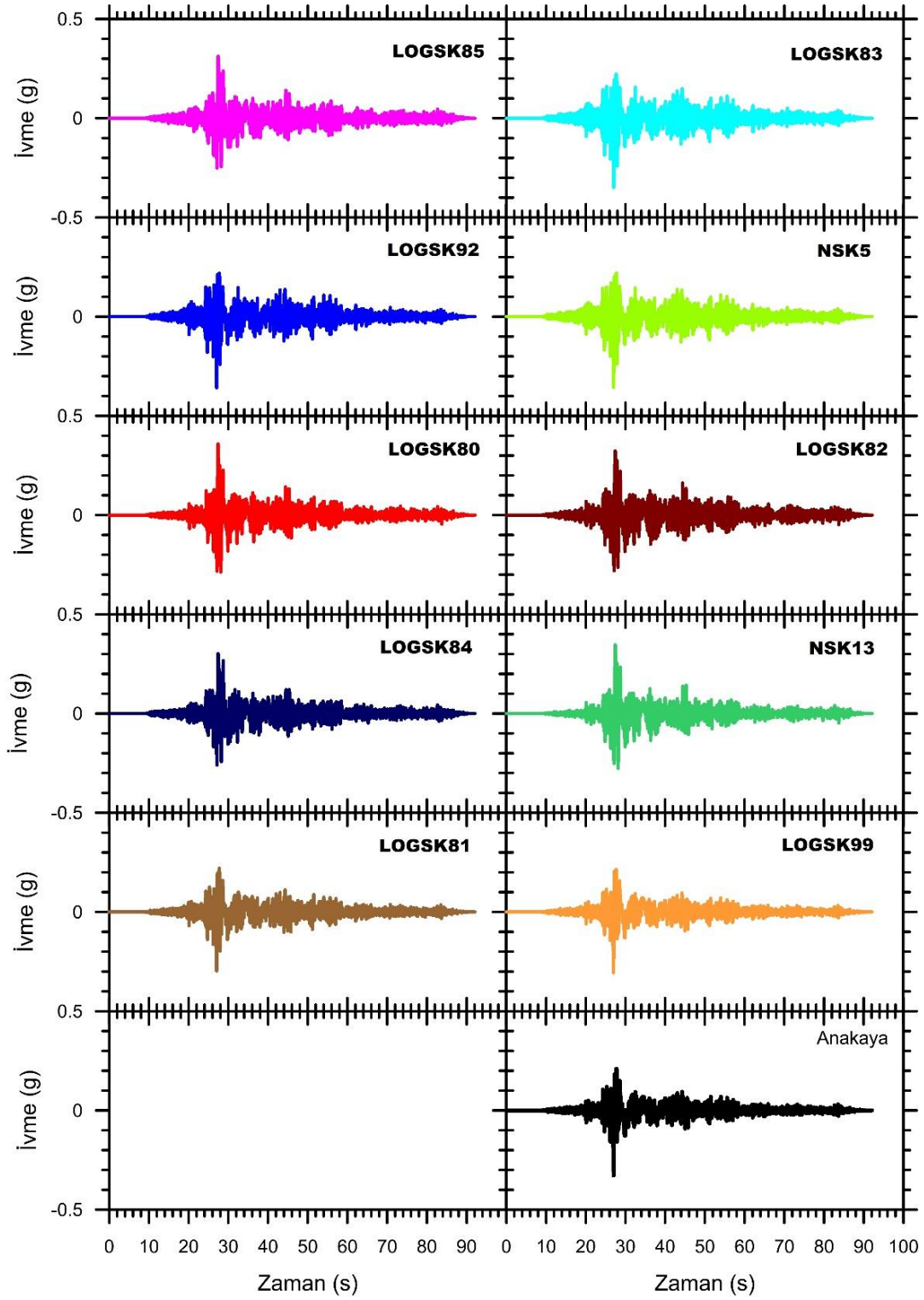
F7. Bölge 4 için Loma Prieta 1 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



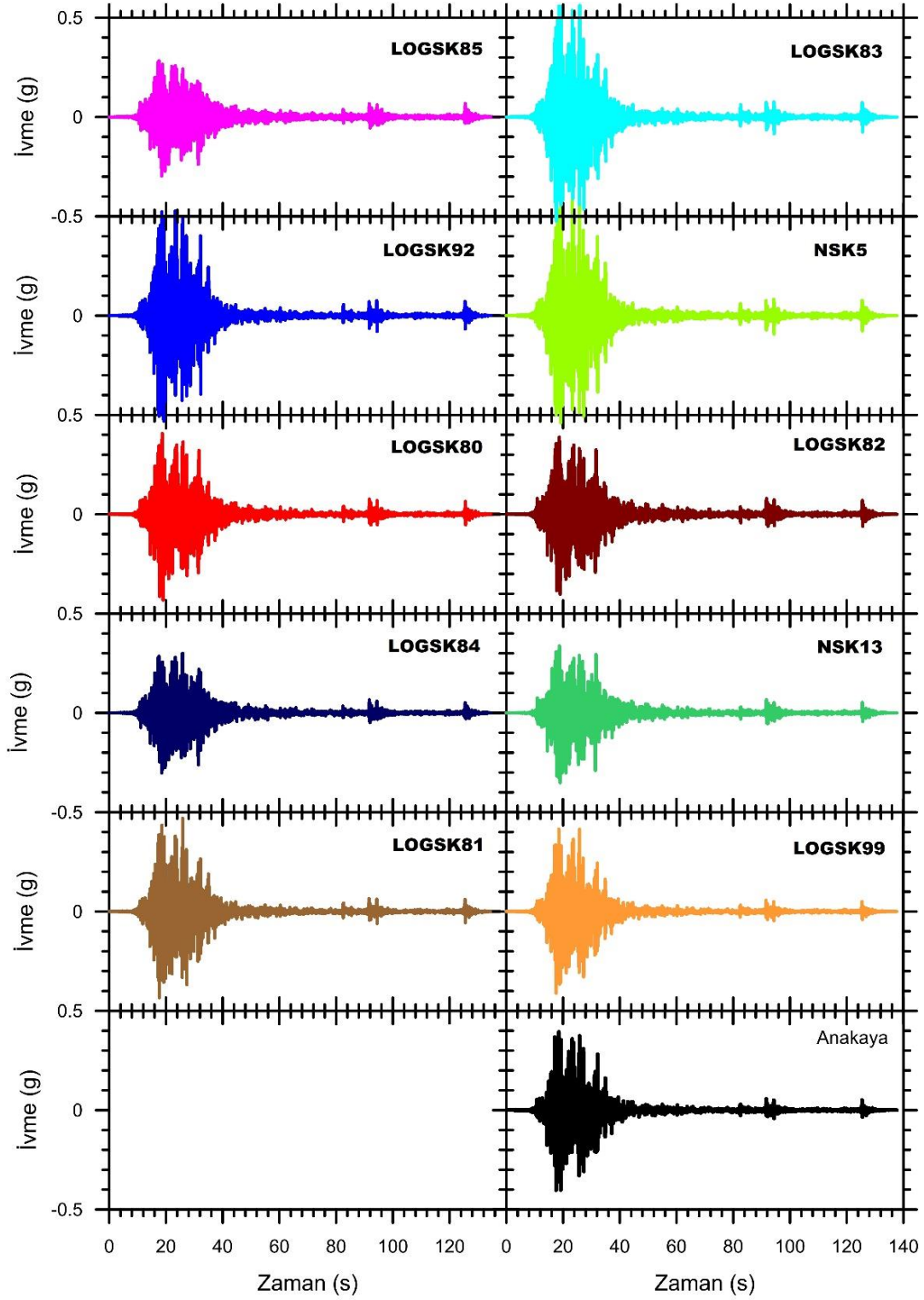
F8. Bölge 4 için Loma Prieta 2 1989 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



F9. Bölge 4 için Parkfield 1966 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



F10. Bölge 4 için Denali Alaska 2002 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri



F11. Bölge 4 için Darfield New Zeland 2010 deprem verisine göre doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikler

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Ebru Civelekler

Doğum Yeri ve Tarihi: Bandırma / 08.09.1986

Öğrenim Durumu:

Lisans: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 2005-2009 (Lisans) (Bölüm Birincisi)

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (Geoteknik), 2007-2009

Yüksek Lisans: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2012 (Geoteknik)

Yüksek Lisans Tezleri: Akdeniz, E. "Eskişehir Zemini İçin Kayma Dalgası Hızı (Vs) ile Standart Penetrasyon Sayısı (SPT)Arasındaki İlişkinin Modellenmesi", Anadolu Üniversitesi, 2012.

Yayınları:

A-Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

Civelekler, E., Pekkan, E., Güney, Y., "The Application of GIS in Visualization of Geotechnical Data (SPT-Soil Properties): A Case Study in Eskisehir-Tepebasi, Turkey", International Journal of GEOMATE, 2020. (Değerlendirmede)

Akdeniz, E., Mutlu, S., Pekkan, E., Tün, M., Avdan, U., Güney, Y., Tuncan, A., 2011, "Determination of 3D Modelling Method of Soil Classes", International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM), 20-25 June 2011, Albena, Bulgaria.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında (proceedings)

Basılan Bildiriler:

Civelekler E., Okur D.V., Afacan K.B., "Eşdeğer Analiz Yöntemi İle Zeminin Dinamik Davranışının Değerlendirilmesi: Eskişehir Odunpazarı Örneği", 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir (11-13 Ekim 2017)

Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Ecevitoğlu, B., 2011, “Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli Tepebaşı Belediyesi’ne Bağlı Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

Orhan, A., **Akdeniz, E.**, Ever, G., Öztürk, G., Kuşan, H. and Bilir, T., 2010, “Evaluation of Standard Penetration Resistance at a Subsection of Eskişehir City Using Anfis Model”, 7th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 18-22 October 2010, Adana-Turkey.

B- Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Civelekler, E., Okur, D.V., Afacan, K.B., “Eşdeğer Analiz Yöntemiyle Zeminin Dinamik Davranışının Değerlendirilmesi: Eskişehir Örneği”, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler, UDMSK Özel Sayısı, 2018.

Akdeniz, E., Mutlu, S., Güney, Y., Özdemir, V., “Zemin Etüt Raporlarının Esaslara Uygunluğunun Değerlendirilmesi: Eskişehir Örneği”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2012.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler:

Civelekler, E., Okur D.V., Afacan, K.B., “Eşdeğer Analiz Yöntemi ile Belirlenen Zeminin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği”, 7. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.

Mutlu, S., **Akdeniz, E.**, Avdan, U., Pekkan, E., Tün, M., Güney, Y., Ecevitoğlu, B., 2011, “Zeminin Sismik Özelliklerinin Coğrafi Veri Tabanı Tasarımı”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ-Ankara.

Akdeniz, E., Avdan, U., Pekkan, E., Tün, M., Güney, Y., 2012, “Zeminin Geoteknik Özelliklerinin Konumsal Veri Tabanı Tasarımı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi, 4 - 5 Ekim 2012, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Pekkan, E., **Akdeniz, E.**, Güney, Y., Tün, M., Avdan, U., “Eskişehir İli Tepebaşı Bölgesi'nin Sıvılaşma Potansiyelinin CBS Kullanılarak Değerlendirilmesi”, 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 3-5 Ekim 2012, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

Akdeniz, E., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Güney, Y. “Ülkemizde yapılan Zemin Etüt Çalışmalarının Değerlendirilmesi”, Sondaj Sempozyumu Bildiri Özleri, Aralık 2011, Ankara.

Görev Aldığı Projeler

Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., **Akdeniz, E.** ve ... 2013 ; “Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı Ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması”, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Proje No:080240.

Aldığı Ödüller

Eskişehir Osmangazi Üni. Müh.Mim.Fak.Jeoloji Müh. Bölümü 2005-2009 Dönemi Bölüm Birinciliği

Eskişehir Osmangazi Üni. Müh.Mim.Fak. Bahar Dönemi Şeref Öğrenci Belgesi

Eskişehir Osmangazi Üni. Müh.Mim.Fak 2008-2009 Güz Dönemi Yüksek Şeref Öğrenci Belgesi

Eskişehir Osmangazi Üni. Müh.Mim.Fak. 2008-2009 Bahar Dönemi Şeref Öğrenci Belgesi